

UNIVERSIDAD DE GRANADA



**Implementación de secuencias de enseñanza de
ácido-base por indagación y modelización en la
formación de profesorado de ciencias de
secundaria**

Implementation of acid-base instructional sequences
based on inquiry and a modelling teaching approach
for secondary science teacher training

Luisa López Banet

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Luisa López Banet
ISBN: 978-84-1117-729-0
URI: <https://hdl.handle.net/10481/80678>

UNIVERSIDAD DE GRANADA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales

TESIS DOCTORAL

Implementación de secuencias de enseñanza de ácido-base por indagación y modelización en la formación de profesorado de ciencias de secundaria

Programa de Doctorado en Ciencias de la Educación (B22.56.1)

Luisa López Banet

Dirigida por:

Dra. María Rut Jiménez Liso

Dr. Francisco Javier Perales Palacios

Granada, 2023

Tesis doctoral financiada por los proyectos PGC2018-097988-A-I00 (IP Luisa López Banet) y PID2020-116097RB-I00 ambos financiados por: FEDER / Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI) de España-Agencia Estatal de Investigación (AEI, doi: MCIN/AEI/10.13039/501100011033) así como los proyectos UAL2020-SEJ-D1784 propio de la Universidad de Almería y P20_00094 proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía, todos financiados con fondos FEDER.



Con la finalidad de optar a la mención de Doctorado Internacional, se incluyen el resumen y las conclusiones en inglés, de la misma forma que se indican en la versión en castellano.

Agradecimientos

Este trabajo es el resultado de una amplia variedad de colaboraciones por lo que, antes de comenzar con su descripción, me gustaría aprovechar este espacio para agradecer a todas las personas que han contribuido a completarlo.

En primer lugar, quiero destacar la atención personal e implicación continua en esta tesis de mis directores, la profesora María Rut Jiménez Liso y el profesor Francisco Javier Perales Palacios, así como sus generosas aportaciones, el tiempo dedicado a su elaboración y sus interminables cualidades profesionales y personales que me han permitido disfrutar tanto durante este periodo, por lo que me gustaría mostrarles mi más sincero agradecimiento. Desde el primer congreso del área al que pude asistir, la profesora Jiménez Liso se convirtió en una de mis mayores referentes, junto con el profesor Perales, a quien pude conocer también en mi estancia en la Universidad de Granada. En el momento en el que les propuse optar por segunda vez a realizar una Tesis Doctoral no dudaron en impulsarme a ello, por lo que les estoy enormemente agradecida. Esta Tesis Doctoral es el resultado de la excelente dirección de ambos destacados investigadores del área de la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

La estancia de investigación en la Universidad de Almería bajo la supervisión de Rut constituyó un periodo de aprendizaje muy productivo en el que también pude coincidir con otros profesionales del área. Me gustaría agradecer a Rafa López-Gay y a María Martínez Chico su dedicación en todo momento, así como invitarme a asistir a sus clases en las que tuve la oportunidad de vivenciar prácticas docentes que motivan y sorprenden al alumnado. A Miguel Romero y a los miembros de Sensociencia, por acogerme durante este tiempo. A Fran Castillo, por ayudarnos con su experiencia.

A todo el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada, por permitirme desde el primer momento formar parte de su equipo. A David Aguilera, por sus consejos y análisis de los datos estadísticos recogidos en esta investigación. A Paco y a José Miguel, por sus propuestas que han contribuido a mejorar este trabajo. A Pilar y Javier, por su afecto y disposición. A Carmen y Bea, por acompañarme este tiempo.

Al personal investigador del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales porque sus ideas forman parte de este trabajo, así como a las compañeras, compañeros y todo el profesorado participante en la Escuela de Doctorado, por compartir sus

conocimientos, contribuir a tener un gran recuerdo de ese momento y ayudarnos en este proceso formativo.

A las compañeras y compañeros del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Murcia: Almudena, Ana, Carlos, Carmen María, Enrique, Francisco Javier, Gaspar, Isa, Isabel, José Martínez, José Orenes, Leandro, Luis, Magdalena, Manuel, M^a Victoria, Mercedes, Nono y Patricia. A Enrique Banet, por todo. A Marina, por hacer siempre todo tan fácil y con tanta ilusión, es una verdadera suerte poder contar con ella para todo.

A Pedro, por resolver las dudas matemáticas de esta tesis y por impulsarme a coordinar el Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria. Al Centro de Estudios sobre la Memoria Educativa (CEME), a las compañeras y compañeros de la Facultad de Educación con los que he tenido la oportunidad de realizar trabajos en colaboración y a todo el personal de servicios.

A todo el alumnado, de Almería y de Murcia, que ha formado parte en las intervenciones desarrolladas en esta Tesis Doctoral.

A todas y todos los expertos de ámbito internacional sin quienes habría sido imposible optar a la mención de Doctorado Internacional, así como contribuir a la extensa difusión de esta investigación: Justin Dillon, Pedro Reis, Cristian Merino, Mónica Baptista, Agustín Adúriz y Athanasios Pappous.

A mis amigas y amigos, familia, hermana, hermano, las personas que me rodean y las que no están presentes, que también están.

A mis hijos y a Álvaro, por comprenderme y apoyarme incondicionalmente.

A mi padre, que nos ayuda en todo lo que necesitamos.

A mi madre, por estar siempre.

A mis padres

Índice

Resumen	17
Abstract.....	19
Presentación	21
Motivación	24
Introducción.....	27
Capítulo I	35
I. Marco teórico.....	37
I.1 Introducción	37
I.2 Formación del profesorado.....	38
I.3 Elementos para el diseño de secuencias.....	40
<i>I.3.1 Naturaleza de la Ciencia</i>	40
<i>I.3.2 Enfoques de enseñanza basados en las prácticas científicas de indagación y modelización</i>	43
<i>I.3.4 Perspectiva STEAM</i>	45
I.4 Elementos para la evaluación de secuencias en la formación del profesorado.....	47
<i>I.4.1 Prácticas clave</i>	48
<i>I.4.2 Auto-percepciones del aprendizaje cognitivo, conductual y emocional</i>	51
I.5. A modo de recapitulación.....	55
Capítulo 2	59
2. Objetivos y marco metodológico	61
2.1 Propósitos y objetivos de investigación.....	61
2.2 Problemas de investigación	62
2.3 Hipótesis de investigación	63
2.4 La investigación de diseño como marco metodológico	64
2.5 Estrategias de la investigación	68
Capítulo 3	75
3. Publicaciones I y II	77
3.1 Introducción	77
3.2 Publicación I	78
3.3 Publicación II	79
3.4 Publicación en prensa.....	79
Changing how we teach acid-base chemistry: a proposal grounded in studies of the history and nature of science education	80
Abstract.....	80
1 Introduction	81
2 Objectives and Purposes	82
3 Why Teach the Topic of Acid-Base?.....	83
4 Acid-Base Historical Development.....	84
5 Conventional Acid-Base Teaching.....	86
5.1 Consequence I: Students' Alternative Conceptions.....	87
5.2 Consequence II: Difficulties in Transferring and Applying Knowledge	88
5.3 Consequence III: Misunderstanding About the Development of a Historical Model	90
6 Explicit Approach to NoS Teaching	91
7 Implicit Approach to NoS Teaching	96
7.1 Inquiry-Based-Teaching Proposal	96
7.2 Model-Focused-Teaching Proposal for Lower Secondary Level.....	98
7.3 Connected Key Aspects of Acid-Base Model-Focused Teaching for Upper Secondary Level (or University Degrees).....	101

8 Conclusions	103
References.....	105
Cambiar la forma de enseñar las reacciones ácido-base.....	114
Publicación en prensa: diseño de la secuencia MBI para ESO	121
3.5 Conclusiones.....	125
Capítulo 4.....	127
4. Publicación III	129
4.1 Introducción	129
4.2 Miradas STEAM desde la necesidad: el caso de la sensopíldora chicles y pH.....	131
Resumen.....	132
Palabras clave	132
Objetivo	135
La indagación como enfoque de enseñanza.....	135
Contexto de la intervención.....	137
Preguntas que guían este artículo.....	137
Descripción de la intervención: zoom necesario en los diseños.....	138
Zoom tecnológico necesario	139
Zoom matemático necesario	140
Modelización química: un zoom artístico necesario.....	142
En conclusión	146
Referencias.....	149
4.3 Conclusiones.....	155
Capítulo 5.....	157
5. Publicación IV	159
5.1 Introducción	159
5.2 Emotional and cognitive preservice science teachers' engagement while living a model-based inquiry STEM sequence about acid-base.....	160
5.3 Conclusiones.....	170
Capítulo 6.....	173
6. Conclusiones/ Conclusions	175
6.1 Introducción	175
6.2 Conclusiones generales.....	176
6.3 Limitaciones y líneas de investigación futuras	181
6.4 Introduction.....	183
6.5 General Conclusions	184
6.7 Limitations of the Present Study and Future Lines of Research.....	188
Capítulo 7.....	189
7. Referencias.....	191

Resumen

La Tesis Doctoral *Implementación de secuencias de enseñanza de ácido-base por indagación y modelización en la formación de profesorado de ciencias de secundaria*, elaborada por compendio de publicaciones, recoge propuestas de enseñanza de contenidos ácido-base por indagación y modelización, fundamentadas de acuerdo con la investigación basada en el diseño (IBD), así como los resultados de su implementación con estudiantes de secundaria y profesorado de ciencias en formación.

En la primera y segunda publicación se presentan las propuestas de enseñanza elaboradas de acuerdo con criterios de validez, utilidad y confiabilidad, con la finalidad de reforzar empíricamente los principios de diseño. En concreto, se describen enfoques explícitos e implícitos de la naturaleza de la ciencia, haciendo uso del desarrollo histórico del dominio ácido-base en secuencias de actividades por indagación y modelización que pueden ser utilizadas como referencia por el profesorado de Educación Secundaria y Bachillerato.

En la tercera publicación se describen los ciclos iterativos de diseño, implementación, evaluación y rediseño que llevaron a adoptar un enfoque STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) de la secuencia de actividades, al implicar la resolución de un problema de manera integrada entre distintas disciplinas. El estudio de caso tras la puesta en práctica con alumnado de Educación Secundaria mostró la necesidad de construir un modelo científico que explique el pH de la boca al masticar chicle, incluyendo miradas desde la tecnología, las habilidades de diseño, la modelización matemática y el arte.

En la cuarta publicación se recoge la última etapa de la investigación basada en el diseño, que incorpora los resultados de la implementación de dichas secuencias de actividades de enseñanza por indagación y modelización con un enfoque implícito de la naturaleza de la ciencia con profesorado en formación inicial de las Universidades de Almería y Murcia. En concreto, se han evaluado las dimensiones cognitiva, conductual y emocional del compromiso de docentes de ciencias en formación hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base, resultantes de la implementación de las secuencias por indagación y modelización. Los resultados muestran la naturaleza de las relaciones entre el compromiso emocional del profesorado en formación y el aprendizaje de

contenidos mediante enfoques de enseñanza basados en las prácticas científicas de indagación y modelización.

Como conclusión global se puede establecer que la propuesta planteada cumple los criterios de la IBD al ser válida para la enseñanza del contenido científico actual, provechosa para su implementación en diversos contextos educativos y confiable para alcanzar los objetivos propuestos.

Abstract

The doctoral thesis *Implementation of acid-base instructional sequences based on inquiry and a modelling teaching approach for secondary science teacher training* has been prepared using a compendium of papers. The methodology is based on design-based research (DBR) and a model-based inquiry instructional sequence, as well as the results of its implementation with students from the early-secondary level and science teachers in training.

In the first and second publications, the teaching proposals elaborated according to the criteria of validity, utility, and reliability are presented with the purpose of empirically reinforcing the principles of design. In particular, explicit and implicit science teaching approaches are described, making use of the historical development of the acid-base domain in sequences of activities for inquiry and modelling that can be used as a reference by secondary and high school teachers.

The third publication describes the iterative cycles of design, implementation, evaluation, and redesign that led to the adoption of a science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) approach for the sequence of activities. This involved the resolution of a problem in an integrated manner between different disciplines. The case study of its implementation with secondary education students showed the need to build a scientific model that explained the pH of the mouth when chewing gum and included technological, design, mathematical modelling, and artistic perspectives.

The fourth publication presents the last stage of the design-based research. It incorporates the results of the implementation of the above-mentioned sequence of teaching activities by inquiry and modelling using an implicit approach to the nature of science. The participants were teachers in initial training at the universities of Almería and Murcia. The cognitive, behavioural, and emotional dimensions of the commitment of science teachers in training towards the learning of acid-base content, resulting from the implementation of the sequences by inquiry and modelling, were evaluated. The results show the nature of the relationships between the emotional commitment of teachers in training and content learning through teaching approaches based on scientific practices of inquiry and modelling.

It has been established that the proposed sequence meets the DBR criteria as it is valid for teaching current scientific content in various educational contexts and sufficiently reliable to meet the proposed objectives.

Presentación

La Tesis Doctoral desarrollada en esta memoria es el resultado del análisis de las dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de contenidos relevantes para la enseñanza de la química en Educación Secundaria, el diseño de propuestas consistentes con las orientaciones actuales para la enseñanza de las ciencias y su puesta en práctica durante la formación inicial del profesorado, así como con alumnado de secundaria.

La memoria ha sido elaborada por compendio de publicaciones y se organiza en orden cronológico en función de los objetivos específicos y estudios realizados (Figura 1).

Tesis Doctoral			
Presentación, motivación personal e introducción			
Capítulo 1	Marco teórico		
Capítulo 2	Objetivos, hipótesis y metodología		
Capítulo 3	Artículos 1 y 2	Análisis <i>Investigación teórica</i>	<i>Trasponer los enfoques explícito e implícitos en secuencias de actividades por indagación y modelización</i>
Capítulo 4	Artículo 3	Diseño <i>Investigación teórica</i>	<i>Evaluación formativa y estudio de caso narrativo. Análisis de las conexiones STEAM de la secuencia MBI</i>
Capítulo 5	Artículo 4	Puesta en práctica <i>Investigación empírica</i>	<i>Evaluar las dimensiones cognitiva, conductual y emocional del compromiso de docentes tras la implementación</i>
Capítulo 6	Conclusiones generales e implicaciones didácticas		

Figura 1. Organigrama en el que se recogen los capítulos que componen Tesis Doctoral y los objetivos específicos que se abordan en cada uno

La fundamentación teórica de cada uno de los objetivos de investigación se desglosa en los diferentes capítulos de la Tesis Doctoral. Sin embargo, todos ellos se enmarcan en las especificaciones actuales de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, por lo que, en el primer capítulo, se describe la revisión bibliográfica global de la investigación por medio de un sumario de las ideas más

relevantes que sirven de apoyo al trabajo. En el siguiente capítulo, se establecen los objetivos y problemas de la investigación, así como los aspectos de la metodología basada en el diseño que han sido abordados en cada uno de los estudios realizados. A continuación, se presentan las publicaciones en revistas especializadas en el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales que conforman el compendio de este trabajo en los respectivos capítulos para, finalmente, establecer las aportaciones a la tesis en su globalidad en el capítulo de conclusiones. Esta investigación ha derivado en las publicaciones en revistas de relevancia internacional y alto índice de impacto, como avalan los índices de calidad, que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Publicaciones que componen la tesis doctoral.

	Publicaciones	Índices de calidad
Capítulo 3	<p>Artículo 1 Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L. y Dillon, J. (2020). Changing How We Teach Acid-Base Chemistry: A Proposal Grounded in Studies of the History and Nature of Science Education. <i>Science & Education</i>, 29(5), 1291 - 1315. 10.1007/s11191-020-00142-6</p>	<p><i>Indexación</i> Social Sciences Citation Index (SSCI); Arts & Humanities Citation Index (AHCI); Science Citation Index Expanded (SCIE)</p> <p><i>Categorías</i> Education & Educational Research – SSCI; History & Philosophy Of Science – SCIE; History & Philosophy Of Science – AHCI</p> <p>JCR (2020): 2.144 (Q1- HISTORY & Philosophy of Science; Q3- Education & Educational Research)</p>
	<p>Artículo 2 Jiménez Liso, M. R, López Banet, L. y Dillon, J. (2021a). Cambiar la forma de enseñar reacciones ácido-base. Del modelo de Arrhenius al modelo de Lewis. <i>Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales</i>, 103, 31-37. https://www.grao.com/es/producto/revista-alambique-103-enero-21-tipos-de-reacciones-quimicas-al103</p>	<p><i>Indexación</i> CARHUS, CINDOC (ISOC), DIALNET, DICE, ERHI, IN-RECS, LATINDEX, REDINED y RESH. Revista con el sello de calidad de revistas científicas españolas (FECYR 2011)</p>

Capítulo 4	<p>Artículo 3 López-Banet, L., Perales, F. J. y Jiménez-Liso, M. R (2021b). STEAM views from a need: the case of the chewing gum and pH sensopill (Miradas STEAM desde la necesidad: el caso de la sensopíldora chicles y pH), <i>Journal for the Study of Education and Development / Infancia y Aprendizaje</i>, 44(4). 10.1080/02103702.2021.1927505</p>	<p><i>Indexación</i> Social Sciences Citation Index (SSCI)</p> <p><i>Categorías</i> Psychology, Educational – SSCI; Psychology, Developmental – SSCI</p> <p>JCR (2020): 0.854 (Q4) SJR (2021): 0.33 Q3 (Education)</p>
Capítulo 5	<p>Artículo 4 López-Banet, L., Aguilera, D., Jiménez-Liso, M.R. y Perales-Palacios, F.J. (2021a). Emotional and Cognitive Preservice Science Teachers’ Engagement While Living a Model-Based Inquiry Science Technology Engineering Mathematics Sequence About Acid-Base, <i>Frontiers in Psychology</i>, 12, 719648. 10.3389/fpsyg.2021.719648.</p>	<p><i>Indexación</i> Social Sciences Citation Index (SSCI)</p> <p><i>Categorías</i> Psychology, Multidisciplinary - SSCI</p> <p>JCR (2020): 2.988 (Q2) SJR (2021): 0.873 (Q1)</p>

En el siguiente apartado, se describen las motivaciones que originaron el realizar esta investigación desde el punto de vista personal y profesional.

Motivación

Esta investigación surge como consecuencia de la necesidad de continuar la investigación de un tema de interés que constituye uno de los pilares de la química y que, habiendo sido estudiado previamente por multitud de expertos, entre los que se encuentra la profesora María Rut Jiménez Liso, presenta implicaciones en su enseñanza derivadas de una amplia variedad de dificultades de aprendizaje. Asimismo, su estudio viene justificado por encontrarse presente en la vida diaria de todas las personas, implicar controversias socio-científicas, estar recogido en todos los planes de estudios y permitir abordar la enseñanza de la naturaleza de la ciencia.

En relación con la justificación personal al escoger este tema de investigación, además de por los motivos expuestos, surge por diferentes acontecimientos. En primer lugar, mi trayectoria docente e investigadora se inició en el área de Química y defendí mi tesis doctoral en Química Bioinorgánica (*Nuevos complejos de níquel(II) y cobre(II) conteniendo el ligando (3,5-dimetil) pirazolilborato. Magnetismo, luminiscencia y redes supramoleculares*) en 2012, y desde hace más de una década inicié mi labor profesional en el área de Didáctica de las Ciencias experimentales. En este campo, tuve la oportunidad de coincidir con la profesora María Rut Jiménez Liso en el XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales, donde presentaba los primeros trabajos en el área, y con el profesor Francisco Javier Perales Palacios, al haber sido contratada, con posterioridad, en el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada. Finalmente, durante una estancia de investigación en la Universidad de Almería, surge la necesidad de elaborar este trabajo cuando, en el seno del grupo Sensociencia, pude vivenciar una secuencia de indagación que pretendía contribuir a solventar la problemática de la enseñanza de los contenidos ácido-base. Es por ello por lo que mi interés se centra en investigar una temática en la cual la profesora María Rut Jiménez Liso es experta junto con la extensa implicación en el área del profesor Francisco Javier Perales Palacios. Por tanto, la presente tesis doctoral pretende aportar un mayor conocimiento sobre los aspectos señalados anteriormente.

A nivel profesional, la elaboración de una segunda Tesis Doctoral puede verse como una propuesta de adaptación al área donde desarrollo mi labor profesional, pero ahora con la perspectiva que me proporciona el trayecto recorrido, puedo

decir que ha sido un proceso formativo **elegido y consciente** que recomiendo a todos los que se incorporen a la Didáctica de las Ciencias Experimentales desde otras áreas.

Los enfoques actuales para la enseñanza de la química establecen que los conceptos de química fundamental se introduzcan según sean necesarios para comprender los problemas sociales, económicos o ambientales relevantes, como el calentamiento global o las fuentes de energía alternativas. Se propone centrar la atención en la enseñanza de cómo es el pensamiento y cuáles son los modos de razonamiento en química para poder comprender cómo esta disciplina ha permitido a la humanidad interactuar con más éxito con su entorno, incluyendo la discusión de las implicaciones socio-éticas de la manipulación química y la resolución de problemas reales en diversas áreas (Talanquer, 2013). El informe del Consejo Nacional de Investigación de EE.UU. (National Research Council, 2003) destaca las fuentes de energía, los problemas ambientales, la vida y la medicina, y el diseño de materiales como los desafíos más importantes. Estos contenidos permiten que la enseñanza de la Química esté centrada en desarrollar las herramientas teóricas y prácticas necesarias para responder cuestiones y aplicar ideas y técnicas en la investigación de problemas relevantes (Talanquer y Pollard, 2010), en los que, para abordarlos, es necesaria la integración de conocimientos de distintas materias. Una estrategia adecuada para cultivar la alfabetización científica y mejorar las creencias de la ciudadanía es el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad, el cual se centra en situaciones en las que la ciencia tiene un papel destacado, como la toma de decisiones sobre cuestiones sociocientíficas (Zhang y Campbell, 2012).

Muchos proyectos e informes de investigación internacionales optan por enfoques de enseñanza de indagación basada en modelos (MBI) para promover el aprendizaje de las prácticas científicas e involucrar al alumnado en el diseño y desarrollo de su propia investigación, por las ventajas que presenta en cuanto a la motivación y mejoras en el aprendizaje de las características de la actividad científica. Las actividades MBI consideran el aprendizaje como un proceso dinámico destinado a construir conocimientos de tipo descriptivo, explicativo y predictivo, y conducir a una evolución de las ideas mientras se formulan preguntas sobre eventos naturales (Khan, 2007; Windschitl et al., 2008; Schwarz et al., 2009). Por esta razón, la indagación y la modelización se consideran dos de los propósitos de la educación a los que las disciplinas científicas deben contribuir para involucrar al alumnado en la práctica de la ciencia.

Para poder desarrollar estos enfoques de enseñanza, los docentes demandan formación (inicial o permanente) adecuada (Martínez-Chico et al., 2013), contextualizada y cercana a la realidad del aula (Bryan y Abell, 1999; Darling-Hammond y Bransford, 2005), que les aporte enfoques de enseñanza alternativos a la práctica docente tradicional y que aprendan enfoques de enseñanza ligados a las prácticas científicas de indagación y de modelización que les puedan servir de modelos (Martínez et al., 2013).

La capacitación docente, el desarrollo profesional y los materiales educativos evidencian problemáticas en los programas de formación del profesorado, que deberían promover una enseñanza orientada hacia el compromiso emocional y cognitivo. Las concepciones sobre el proceso de aprendizaje consideradas por el profesorado tienen repercusión sobre el papel que consideran que deben desempeñar en su función docente (Porlán et al., 2010) y están relacionadas con la formación docente recibida.

De acuerdo con los antecedentes considerados, una propuesta para la formación de docentes que considere, además de los contenidos científicos, aprender a hacer ciencia, conduciría a una mejor comprensión de estos, evitando el enfoque tradicional en la enseñanza. En ese sentido, en el siguiente apartado tiene por finalidad justificar la necesidad de ampliar el conocimiento en el campo de estudio.

Introducción

La relevancia del conocimiento científico se pone de manifiesto en las situaciones y contextos que proporciona la vida diaria que implican tener que comprender y valorar con espíritu crítico una gran cantidad de información científica. La enseñanza de las ciencias puede ayudar a tomar decisiones responsables y valorar cómo las ciencias pueden impactar positiva y negativamente en la sociedad, por ejemplo, para evitar un mal uso de la energía, la contaminación, las consecuencias de una alimentación inadecuada, la falta de ejercicio o la ingesta inadecuada de ciertos medicamentos. La ciudadanía debe poner en práctica continuamente las destrezas de investigación necesarias para procesar la información y tomar decisiones acordes a sus necesidades (MEC, 2006; BOE, 2013; MEFP, 2022).

Todo ello no tiene únicamente repercusión en la vida de cada individuo, sino que presenta amplias implicaciones para la comunidad a través del impacto de la actividad humana en el entorno. Algunos ejemplos podrían ser la aparición de un nuevo virus causante de la reciente pandemia (Abril et al., 2021), tomar decisiones frente a cuestiones de ámbito sociocientífico (Reis, 2020), como las vacunas o los alimentos transgénicos (López-Banet et al., 2020; Ruiz et al., 2021) o analizar críticamente anuncios con mensajes pseudocientíficos (Jiménez-Liso et al., 2000). Es por ello por lo que la ciudadanía debe actuar democráticamente, y de forma argumentada, en temas con carácter científico que presentan repercusión en toda la comunidad, tomando decisiones y desarrollando su responsabilidad individual y cívica (Reis, 2020). Por tanto, conocer la utilidad de la ciencia ayuda a apreciar su importancia y asegura que el conocimiento científico sea usado correctamente.

Como personas que aprendemos, sobre educación en general y ciencias en particular, es central para el progreso contemplar los objetivos globales de desarrollo sostenible (ODS) que se encuentran en el informe de las Naciones Unidas (UN, 2016). En los mismos, que serían los sucesores de los objetivos de Desarrollo del Milenio, se incide en una serie de aspiraciones intergubernamentales a través de un amplio rango de reglamentos de distintas áreas, como la educación, la salud, el crecimiento económico, el cambio climático, la biodiversidad, la igualdad de género, el agua y el saneamiento. La educación tiene un papel clave en los objetivos de desarrollo sostenible (Tabla 2) que,

además, están directamente relacionados con la alfabetización científica (ODS3, ODS4, ODS5, ODS13).

Tabla 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo
ODS2: Poner fin al hambre
ODS3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades
ODS4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos
ODS5: Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas
ODS6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos
ODS7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna
ODS8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos
ODS9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación
ODS10: Reducir la desigualdad en y entre los países
ODS11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles
ODS12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
ODS13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos
ODS14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos
ODS15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad
ODS16: Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas
ODS17: Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible

Entre los objetivos de desarrollo sostenible que persiguen las Naciones Unidas (UN, 2020) cabe mencionar la igualdad de género como derecho humano fundamental. Según la UNESCO (2019), la presencia de profesorado especializado en ciencias podría mejorar el interés de las niñas en las materias STEM (del acrónimo en inglés “Science, Technology, Engineering and Mathematics”), además de hacerlas más propensas a elegir una carrera profesional en un área STEM. En concreto, la enseñanza de la química se encuentra en una posición privilegiada para contribuir al logro de este objetivo de ODS desde una perspectiva de inclusión, igualdad y diversidad (Mehta et al., 2018). Este aspecto debe estar presente en la formación del profesorado, tanto en las actividades diseñadas durante su formación como en su futuro profesional.

Resulta pertinente, por tanto, contextualizar la enseñanza de las ciencias en aspectos de la vida cotidiana que permitan alcanzar los ODS e incorporarlos en la formación de profesorado de Química. Por estos motivos, optamos por justificar la necesidad de una formación inicial de docentes eminentemente práctica que contemple los ODS requeridos en una ciudadanía activa.

En los siguientes apartados se describen numerosas aportaciones y resultados de la investigación educativa en relación con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la incidencia que estas aportaciones han tenido en las orientaciones curriculares, y algunos de los estudios más destacados que han puesto de manifiesto la formación que tiene y debería tener el profesorado para llevar a cabo una enseñanza que considere, como uno de sus objetivos destacados, el desarrollo de la competencia científica del alumnado. Para comenzar, se presenta una breve referencia histórica.

Las primeras referencias que destacaron la importancia que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias debería prestar a las actividades basadas en la investigación se pueden situar un siglo atrás (Dewey, 1916), retomadas algo más tarde por Bachelard (1938, 1974). Sin embargo, estos puntos de vista no comenzaron a tener repercusión en la actividad docente del profesorado hasta la década de los 50, años en los que, como reacción a la enseñanza básicamente conceptual, claramente predominante en las aulas, comienza a tomar cuerpo lo que se denominó “teoría del aprendizaje por descubrimiento”, que proponía la necesidad de formar al alumnado en los procesos de la ciencia, desde niveles educativos elementales.

Según señala Cordón (2009), estos planteamientos tuvieron una amplia repercusión en las aulas durante los años 60 y 70 del siglo pasado, como consecuencia de que fueron asumidos por las reformas curriculares que se llevaron a cabo durante esos años, en particular, en países anglosajones, como USA y el Reino Unido, a través de proyectos como Science Curriculum Improvement Study, Science A-Process Approach, Physical Science Study Committee, Chemistry-An Experimental Science, Chemical Bond Approach Project o Earth Sciences Project.

De acuerdo con estos enfoques educativos, el currículo de ciencias se debería centrar, fundamentalmente, en el aprendizaje de las destrezas básicas (observación, clasificación, comunicación) y de investigación (diseño y desarrollo de estrategias de investigación, interpretación de resultados y elaboración de conclusiones) que caracterizan a la actividad científica, relegando el aprendizaje

conceptual a un papel secundario. Es decir, según Pozo y Gómez (1998), se podría afirmar que el eje vertebrador del currículo sería la enseñanza y aplicación del método científico.

Sin embargo, la visión inductiva y empirista de la ciencia que fundamentaban, y transmitían, estos enfoques educativos fueron, primero, cuestionados y, después, modificados como consecuencia de los cambios de paradigma que supusieron las nuevas teorías sobre la epistemología de las ciencias que, en el ámbito de la enseñanza, dieron paso a los enfoques cognitivos del aprendizaje. Las tres teorías de aprendizaje más comúnmente identificadas (Watkins, 2003) consideran este proceso con la finalidad de adquirir información por la instrucción de otros (“siendo enseñado”), para que el alumnado de sentido a las nuevas experiencias y a la información por medio de su propio esfuerzo (individualmente) o para implicarle en dar sentido a la información y a las nuevas experiencias al construir su propio aprendizaje junto a otros (aprendizaje como construcción de conocimiento con otros). La primera de estas perspectivas teóricas sobre el aprendizaje, descrita como una visión conductista del mismo, ha predominado en la primera mitad del siglo XX. En su versión más simple, el aprendizaje era considerado como algo que podría ser recibido ya hecho por otros sin tener en cuenta sus ideas y habilidades previas. Sin embargo, los resultados de la investigación, especialmente de Piaget desde mitad del siglo XX, condujeron a reconocer que los escolares desarrollan sus ideas desde su nacimiento y que llegan a la escuela no con cabezas vacías que deben ser llenadas mediante la instrucción del profesorado, sino con ideas que ya han construido previamente mientras tratan de dar sentido a su experiencia con el mundo que les rodea. Esta construcción activa de ideas continúa en los años escolares y de ellas depende el aprendizaje. Además, el cerebro influye en las experiencias de aprendizaje y, al experimentar cambios con el tiempo, lo que se puede aprender va a depender de los conocimientos previos. Por tanto, es el alumnado quien da sentido a las nuevas experiencias, partiendo por las ideas y habilidades existentes, coincidiendo con una visión cognitiva constructivista y participación activa en la construcción de su aprendizaje (Harlen, 2018).

Más recientemente se ha reconocido que el aprendizaje no es solo un asunto individual, sino que tiene lugar a través de la interacción social. Esta es la base de la perspectiva socio-constructivista del aprendizaje, una visión desde la que la comprensión resulta al dar sentido a nuevas experiencias con otros, más que trabajando individualmente. En un grupo colaborativo, un aprendiz forma parte

de una experiencia compartida, que ayuda a comprender y a comunicar el resultado, como una contribución dentro del grupo de discusión. Existe una interacción hacia y desde los individuos al grupo como un conocimiento que es construido conjuntamente a través de la interacción social y el diálogo, y donde el lenguaje desempeña un papel importante en este proceso (James, 2012; Harlen, 2013). Asimismo, algunas investigaciones (Paivio, 1986) han demostrado que existen diferentes canales para procesar la información, de tipo visual y verbal, y que existe un límite en cuanto a la información que puede ser procesada a través de un único canal, por lo que la utilización de múltiples canales puede incrementar la cantidad de información que se puede atender. Estudios que exploran las condiciones implicadas en favorecer la memorización confirman, por ejemplo, que anotar un problema y representar cómo podría resolverse, mejora la capacidad para su resolución (Howard-Jones, 2007).

A partir de los nuevos planteamientos epistemológicos y psicológicos, se han deducido importantes implicaciones educativas para profesorado, investigadores y responsables de las orientaciones curriculares, que proponían que los nuevos modelos para la enseñanza de las ciencias durante la educación obligatoria, deberían implicar al alumnado, en la práctica de la ciencia, es decir en actividades que implicasen la indagación y la investigación escolar (Jaber y Hammer, 2016), con los objetivos de que, como señalaba Hodson (1996), el alumnado aprenda ciencias, aprenda a hacer ciencia y aprenda sobre la ciencia. Estas orientaciones deberían contribuir a solucionar algunas deficiencias que se aprecian en relación con la educación de la ciudadanía (Duschl, 1997), es decir, mejorar su alfabetización científica, con independencia de que vayan o no a estudiar titulaciones que se pueden incluir en este campo del saber.

Estos modelos de enseñanza reconocen que el papel que debería desempeñar el alumnado en las clases, cuando se le propone llevar a cabo actividades de investigación, debería ser el de científico escolar que, con el trabajo en equipo y la orientación del profesorado, construye sus conocimientos, y no el de un científico en un proceso real de investigación (Jiménez, 1992; Izquierdo et al., 1999; Pro, 2000). Es decir, se alejan claramente de las premisas que fundamentaban el aprendizaje por descubrimiento, en el que el alumnado llevaba a cabo las actividades de manera autónoma y mediante una visión inductiva de la construcción del conocimiento científico. Por tanto, uno de los objetivos destacados en la formación del alumnado para permitir que, como parte de una ciudadanía responsable, comprenda los aspectos científicos y tecnológicos del mundo que nos rodea, debería centrarse en ser competente en

ciencias. Esto implica ser enseñadas por el profesorado y aprendidas por el alumnado, habilidades, destrezas y estrategias que caracterizan a la actividad científica, tanto cognitivas, como manipulativas, comunicativas y de investigación, desde niveles educativos elementales y teniendo en cuenta sus posibilidades intelectuales. Los contenidos y enfoques para la enseñanza de las ciencias deben, por tanto, enriquecer y prolongar la curiosidad del alumnado, contribuir a desarrollar ideas científicas (ideas de ciencia) y a comprender la ciencia (ideas sobre ciencia), desarrollar destrezas y habilidades implicadas en la investigación científica, fomentar actitudes de y hacia la ciencia y la utilización de la evaluación para alcanzar los objetivos previstos (Harlen, 2010).

Sin embargo, aunque la competencia científica se erige hoy como una meta prioritaria dentro de la educación básica y alfabetización científica de todas las personas, la consecución de tal propósito está todavía lejos de ser logrado. Estas circunstancias se han puesto de manifiesto en Europa y, sobre todo, en España, mediante los resultados de las evaluaciones PISA (Programme for International Student Assessment) que, en los informes correspondientes (OCDE, 2000, 2006, 2017) señalan, por ejemplo, que las destrezas científicas adquiridas por alumnado para resolver, de manera eficaz, preguntas o problemas que implican la puesta en práctica de la competencia científica son insuficientes y se sitúan por debajo de la media de los países de la OCDE. Asimismo, la investigación educativa ha destacado que el nivel de desarrollo de la competencia científica en el alumnado que cursa la enseñanza obligatoria no es satisfactorio.

Estos resultados se atribuyen a distintas causas, entre las que se encuentra la falta de formación del profesorado para llevar a cabo una enseñanza eficaz orientada a desarrollar estos aprendizajes en las clases de ciencias siendo todavía abundantes los modelos de enseñanza tradicionales. Dichos modelos se basan en la transmisión de información y en la memorización de los contenidos de aprendizaje, cuyas referencias fundamentales son la “autoridad académica” del profesorado y de los libros de texto, principales recursos educativos utilizados en las aulas. Asimismo, los materiales curriculares que utiliza el profesorado no contemplan la enseñanza de los distintos contenidos de forma adecuada con el objetivo de desarrollar la competencia científica. Es destacable que los modelos tradicionales han persistido a pesar de que las distintas orientaciones curriculares han contemplado, como objetivos básicos en la formación de estudiantes, el desarrollo de destrezas que caracterizan a la actividad científica y, como consecuencia de la adaptación a la normativa europea, las competencias

científicas, con diferentes denominaciones en la LOE, la LOMCE o la actual (MEFP, 2022).

Como consecuencia de los deficientes resultados obtenidos en pruebas de evaluación de la calidad educativa del alumnado, así como la influencia de la propia experiencia como estudiantes en el proceso de formación del profesorado, se hace necesario considerar las estrategias adecuadas que puedan afectar tanto en las prácticas profesionales como en el aprendizaje del alumnado (Furman et al., 2020). Es destacable que, durante su formación inicial, el profesorado de primaria suele carecer de experiencias previas en actividades de investigación escolar (Murphy et al., 2017), lo que dificulta que realice esta clase de tareas con escolares de primaria (Uum et al., 2016). A conclusiones similares han llegado otros estudios sobre los obstáculos que se presentan al profesorado de secundaria para innovar las prácticas de laboratorio tradicionales (Tamir y García, 1992; García-Barros et al., 1999). Como advierten Azcárate y Cuesta (2005), esta escasa experiencia del profesorado en relación con el desarrollo de actividades prácticas que pueden incidir en el aprendizaje de la competencia científica por parte del alumnado, no sólo es un problema del profesorado novel, sino también de quienes presentan más años de ejercicio profesional.

Otros trabajos señalan que esta falta de formación también sería responsable de la inseguridad del profesorado para poner en práctica enfoques basados en la investigación, lo que le hace afirmar que serían las dificultades contextuales las que impedirían la realización de actividades prácticas. Así, García et al. (1995) ponen de manifiesto que un número relevante de docentes piensa que los principales obstáculos que se encuentran en las aulas para el desarrollo de las actividades prácticas sería la falta de material, el excesivo número de estudiantes o la escasez de bibliografía específica y actualizada, sin cuestionar su propia preparación para llevarlas a cabo de manera eficiente. El profesorado en ejercicio, aunque concede suficiente importancia a las actividades prácticas, reconoce el escaso desarrollo de éstas en las aulas (García, et al. 1999; Martínez y García, 2002; Cano y Cañal, 2006). Esta circunstancia también sería responsable de la consideración demasiado “científica” que parte del profesorado tiene de las actividades prácticas o experimentales, de manera que los lleva a considerar que no es posible realizar investigaciones durante la ESO, ya que son difíciles de realizar y el alumnado no tiene suficientes capacidades para llevarlas a cabo, por lo que opta por desarrollar la enseñanza mediante transmisión del profesorado y la utilización de los libros de texto. En opinión de un buen número de docentes en ejercicio con dilatada experiencia profesional y que han participado en

proyectos de innovación educativa, esta orientación conceptual de la enseñanza sería consecuencia no solo de la formación academicista que han recibido y de la deficiente preparación didáctica, sino también de optar por enfoques educativos que les son más cómodos y sencillos, aunque esta situación les produzca cierta insatisfacción (Banet, 2007).

Algunos estudios, como los llevados a cabo por Martínez et al. (1993) y García et al. (1995), resaltan que el profesorado de educación primaria durante su formación inicial considera las prácticas de laboratorio como una verdadera asignatura pendiente, en consonancia con los puntos de vista ingenuos, muy extendidos entre el profesorado, que destacan el necesario carácter práctico de la enseñanza como solución para los numerosos problemas educativos (Gil et al., 1991). Es decir, existe *“la creencia ingenua de que la mera actividad práctica por sí misma puede conseguir efectos radicales en el aprendizaje de los alumnos”* (Campanario y Moya, 1999, p. 181), punto de vista que es compartido por un gran número de docentes y que es atribuible a deficiencias en su formación. Actualmente, se recomienda que el profesorado se centre no solo en el conocimiento del contenido, sino también en el conocimiento procedimental y epistémico, así como en la comprensión científica de los fenómenos con su debida interpretación (Bellová et al., 2018). La resolución de problemas, la obtención de conclusiones, el diseño de experimentos y la transferencia de conocimientos pueden fomentar destrezas de pensamiento de orden superior, así como la transición de la clase magistral al aprendizaje centrado en el alumnado (Avargil et al., 2012).

Teniendo en cuenta los aspectos señalados en esta primera parte de presentación, motivación e introducción de la Tesis Doctoral, a continuación, se comienza con un capítulo de fundamentación de este trabajo en el que se establecen los principales hitos de la Didáctica de las Ciencias, así como el nicho de investigación que justifica la necesidad, originalidad y novedad del estudio realizado. Las conclusiones de la amplia y actualizada revisión bibliográfica permitirán enfocar el *tema de investigación* en el contexto de la información disponible y seleccionar las herramientas para el análisis en la investigación realizada.

Capítulo 1

Marco teórico

I. Marco teórico

I.1 Introducción

Los aspectos mencionados en la introducción de esta Tesis Doctoral nos llevan a plantearnos como cuestión fundamental *¿qué formación debe recibir el profesorado para promover el desarrollo de la competencia científica en la educación obligatoria?* Con objeto de aproximarnos a la respuesta a esta pregunta, tan amplia como compleja, en este capítulo se analizan los obstáculos más destacados que, en relación con el profesorado, ha identificado la investigación educativa. Asimismo, se describen las propuestas que permiten contribuir al desarrollo profesional y serán consideradas para el desarrollo de esta investigación. En concreto, en el siguiente esquema se representan los puntos que van a ser abordados en este capítulo (figura 1.1).

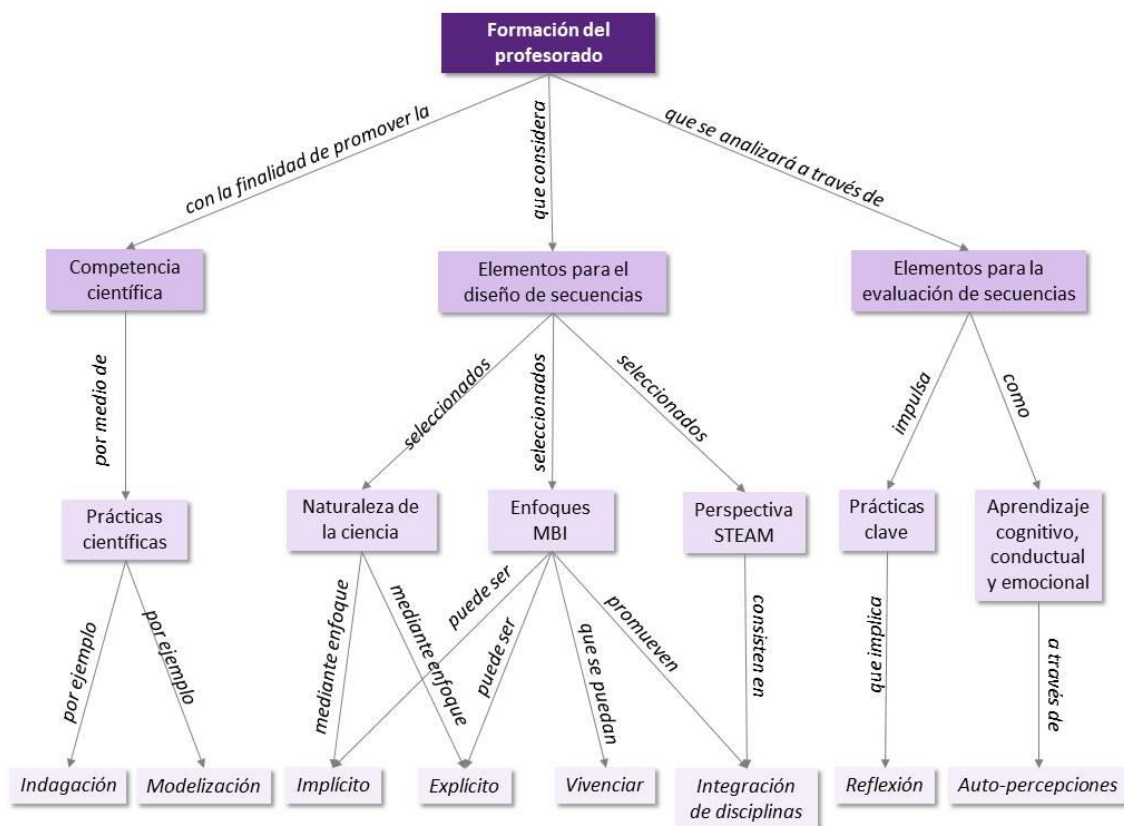


Figura 1.1 Mapa conceptual de los elementos que se abordan en el capítulo 1.

Por tanto, el aspecto general a tratar está referido a la formación que presenta el profesorado de Educación Secundaria para poder contribuir al desarrollo de la competencia científica en el alumnado de esta etapa educativa.

I.2 Formación del profesorado

El desarrollo en las aulas de la competencia científica puede verse obstaculizado por algunas circunstancias que acompañan la labor educativa, como aquellas de origen institucional, contextuales, como el elevado número de estudiantes por aula, o de materiales, entre otras (Kim y Tan, 2011). El empleo inadecuado del desarrollo histórico de las teorías científicas puede provocar confusiones entre los diferentes significados de un mismo término o utilizar “estrategias didácticas” como el razonamiento causal secuencial. En este sentido, el aprendizaje de los procesos ácido-base mejoraría con el empleo adecuado de algunos conceptos y términos en los libros de texto o materiales escritos. Con ello se evitaría, entre otras cosas, perspectivas distorsionadas de la naturaleza de la ciencia o una visión ahistórica y aproblemática de la ciencia (De Manuel, 1997); De Manuel et al., 1998a, 1998b, 1999; Jiménez y De Manuel, 2002).

Sin embargo, las dificultades más relevantes tienen que ver con la formación del profesorado para diseñar e implementar actividades de enseñanza orientadas a que el alumnado aprenda a “hacer ciencia”. En consecuencia, la investigación educativa también ha intentado analizar en qué medida es adecuada la preparación que recibe el profesorado durante su formación inicial en la Universidad, o durante su posterior desarrollo profesional, para fomentar la competencia científica en su alumnado utilizando recursos didácticos adecuados.

Las carencias en la formación del profesorado también explicarían que, cuando se llevan a cabo trabajos prácticos en las clases de ciencias, éstos sean muy escasos (Nieda, 1994; Sanmartí, 2002), predominando los experimentos ilustrativos (Caballer y Oñorbe, 1997) o actividades que requieren un bajo nivel de indagación y fomentan el desarrollo de destrezas manuales, más que el de las superiores, como la formulación de hipótesis o el diseño de investigaciones (Bastida et al., 1990; Tamir y García, 1992; Hodson, 1996). Incluso, algunos docentes creen que están desarrollando investigaciones, aunque en realidad no sea así (Jaén y García-Estañ, 1997; Capps, Shemwell y Young, 2016), confusión

que, según señala Nieda (2006), no se ha solucionado con las sucesivas reformas curriculares que han tenido lugar en España.

Asimismo, el profesorado de secundaria no siempre incluye prácticas científicas en las sesiones de laboratorio (Boesdorfer y Livermore, 2018) o alinea las estructuras de actividades de enseñanza con las recomendaciones de los estándares de ciencias de la próxima generación o *Next Generation Science Standards* (Criswell y Rushton, 2014). Los estudios relativos a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias han demostrado que docentes de física y química en formación a menudo optan por enfoques de enseñanza centrados en el profesorado y en el contenido, mientras que en otras materias científicas suelen parecer más abiertos y orientados al alumnado (Markic et al., 2008). Las concepciones influenciadas por prácticas tradicionales que no están en consonancia con la teoría educativa moderna, como la falta de participación de los estudiantes en el establecimiento de sus propias ideas científicas, o el control excesivo del docente sobre la realización de la tarea frente a la comprensión de esta, representan un factor limitante en la implementación por parte del profesorado de actividades de investigación. Por estas razones, mejorar la comprensión del profesorado de estas actividades podría fomentar su mayor inclusión en las clases de ciencias (Donnelly et al., 2014) y la aplicación de enfoques de enseñanza de ciencias orientados al cambio de metodología (Schwarz y Gwekwerere, 2007).

Los enfoques de enseñanza orientados a promover la participación del alumnado en la indagación y modelización implican una formación especializada del profesorado. El planteamiento y puesta en práctica supondría desarrollar las capacidades para enfrentarse a problemas o cuestiones de carácter científico, formular explicaciones y modelos personales justificados en experiencias o conocimientos previos, buscar pruebas que permitan confirmar o refutar las explicaciones y analizar e interpretar la información y los datos recogidos, adaptando las explicaciones inicialmente formuladas o el modelo planteado a la nueva información, mejorando con ello su validez (NRC, 2000). Sin embargo, más que implementar prácticas aisladas, que suelen ser habituales en las aulas (Capps et al., 2016; Ireland et al., 2014; Kuhn et al., 2017), estos enfoques de la enseñanza considerarían la indagación no solo como un medio, sino también como una de las finalidades de la educación, a la que deberían contribuir las disciplinas científicas (Abd-El-Khalick, 2012). De esta manera, se presenta el aprendizaje como un proceso dinámico, orientado a construir conocimientos descriptivos,

explicativos y predictivos, produciendo una evolución de las ideas de quienes aprenden mientras se preguntan sobre un suceso natural (Stewart et al., 2005; Windschitl y Thompson, 2006; Schwarz, 2009). Asimismo, la puesta en práctica de estas secuencias permite ofrecer recursos para promover la participación del alumnado en las prácticas científicas de diseñar experimentos, modelización y argumentación (Crujeiras y Jiménez, 2018).

El nivel de guía del profesorado es esencial en este proceso y su papel debe estar orientado a apoyar y ser activador de la capacidad de pensar y razonar del alumnado, con la finalidad de que elabore argumentos basados en evidencias, constituyendo un predictor positivo de la comprensión de las ideas científicas y efectos de esta metodología (Romero-Ariza, 2017). Los resultados de las investigaciones educativas establecen la necesidad de evitar las dificultades de aprendizaje asociadas a un elevado grado de apertura de las investigaciones escolares (Ferrés et al., 2015), siendo necesario tener en cuenta que las indagaciones autónomas originan menos efecto que las guiadas (Aguilera et al., 2018; Romero-Ariza, 2017). Sin embargo, las exigencias de articular este tipo de enseñanza son altas y muchos docentes no sienten confianza para llevarlo a la práctica y no consideran que dispongan de estrategias suficientes para desallorar este tipo de instrucción (Crawford, 2007). Por tanto, es pertinente identificar estas dificultades y apoyar a los docentes a la hora de ponerlas en práctica en el aula (Crujeiras y Jiménez, 2015).

I.3 Elementos para el diseño de secuencias

Los programas de formación inicial deben incidir en promover aprendizajes que contribuyan a establecer las diferencias necesarias entre distintos enfoques de enseñanza. En este apartado describiremos los criterios que consideramos fundamentales para incorporar en el diseño de secuencias de actividades con la finalidad de ser implementadas durante la formación inicial del profesorado.

I.3.1 Naturaleza de la Ciencia

Desde hace más de 30 años se ha insistido en que la enseñanza de los contenidos conceptuales de una disciplina científica debe llevar aparejado el cambio metodológico y actitudinal (por ejemplo, Burbules y Linn, 1991; Duschl y Gitomer, 1991; Gil, 1993). Estos planteamientos se han concretado en propuestas

educativas como, por ejemplo, la realizada por Lawson (1994) para educación primaria, que denominó Learning Cycle, en la que reivindica situar al mismo nivel el conocimiento declarativo (saber qué) y el conocimiento procedimental (saber cómo). Más recientemente, otros programas educativos que proponen una metodología basada en la investigación destacan que, para implicar al alumnado en la construcción de conocimientos científicos, es importante que cuestione sus concepciones sobre los fenómenos de estudio, diseñe experiencias para la búsqueda de pruebas y utilice modelos científicos con los que contrastarlas y cuestionarlas (Steward et al., 2005; Khan, 2007; Schwarz y Gwekwerere, 2007).

Numerosas contribuciones en el campo de la educación científica destacan la importancia de enseñar cómo “hacer ciencia” en el aula e involucrar al alumnado en actividades relacionadas con las destrezas manipulativas, comunicativas y cognitivas (Jaber y Hammer, 2016) como parte esencial de la competencia científica. Las experiencias en las que se aprende a través de la investigación tienen en común que todas parten de una experiencia nueva, de una cuestión sobre algo que podría ser familiar, de un problema a resolver o de algo que llama la atención y curiosidad o captura el interés del alumnado. En estas actividades se observan y se exploran fenómenos o materiales y se ofrecen oportunidades para sugerir cuál podría ser la respuesta a partir de las ideas de experiencias previas. El reto consiste en comprobar si la predicción es correcta y planificar una manera de comprobarlo, lo que implica imaginar lo que ocurrirá al cambiar algo, recoger datos para ver si eso que se ha imaginado finalmente ocurre, interpretar lo que se ha encontrado y reflexionar sobre si la idea inicial ha resultado útil o si es necesario probar otra idea. La enseñanza y aprendizaje basados en la investigación implican una visión constructivista del aprendizaje, como un proceso en el que se puede dar sentido a una experiencia nueva mediante el propio esfuerzo y utilizando ideas propias (Harlen, 2018). El interés por estos enfoques educativos también han tenido repercusión en España con propuestas interesantes, como el modelo de resolución de problemas por investigación (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983; Ramírez et al., 1994), que propone el desarrollo de la enseñanza de las ciencias mediante el planteamiento de situaciones problemáticas abiertas, que sean relevantes para el alumnado, la comprobación de sus propias hipótesis y el contraste de la nueva información (Gil, 1987; Gil et al., 1988; Segura, 1991), estrategias que promoverían el cambio metodológico y actitudinal en la enseñanza de las ciencias (Gil, 1993). Este enfoque es concebido como un método de indagación, que fomenta el trabajo en grupos cooperativos, que sitúa al alumnado frente a situaciones abiertas contextualizadas, que deben

reformular y definir con precisión, identificar lo que saben y lo que necesitarían conocer en relación con la tarea que tienen que resolver, enunciar y contrastar posibles soluciones alternativas, así como proceder para llegar a una posible solución.

En ese sentido, se han identificado beneficios potenciales al aprender naturaleza de la ciencia a través de enseñar la metodología científica, desafiar mitos relacionados con el funcionamiento de la ciencia y diferenciar entre observaciones y leyes científicas idealizadas (Niaz, 2009). La estrategia Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) convierte los contextos en el eje a través del cual se desarrolla el aprendizaje, estableciéndose como contenido curricular que se armoniza con una reflexión sobre la naturaleza de la ciencia a través de enfoques basados en la indagación y la modelización (Caamaño, 2018). Asimismo, especialistas en educación científica coinciden en que el proceso de investigación debe reflejar una ciencia real. La resolución de un problema particular como parte de la educación científica permite vincular los fenómenos naturales y sus cambios provocados por la actividad humana, y conlleva un aprendizaje más profundo al incluir contenidos de tipo procedimental y epistémico (Bellová et al., 2018).

La contextualización de las prácticas científicas por medio de controversias socio-científicas resulta útil tanto en términos de aprendizaje de las ciencias como de desarrollo cognitivo porque favorece la comprensión de qué es la ciencia y cómo se produce (su contenido, los procesos y su naturaleza). Además, se promueven competencias (cognitivas, sociales, políticas, morales, éticas) esenciales para una ciudadanía activa y responsable ante las controversias socio-científicas (Reis, 2013). En su desarrollo, el alumnado aprende no solo el conocimiento, sino también determinadas destrezas científicas en cada práctica, reconociendo un amplio espectro de métodos implicados en ciencias, en contraposición de un método universal (Halawa et al., 2020). Además, la investigación educativa también recomienda impulsar la enseñanza del conocimiento de la naturaleza de la investigación científica mediante actividades prácticas que van más allá de reproducir una receta, apuntando al desafío cognitivo, e incluso creativo, de optimizar un procedimiento y discutir el papel tanto de la evidencia científica como de su interpretación (Strippel y Sommer, 2015).

Las investigaciones sobre lo que piensa el profesorado, sus creencias sobre NdC, o de una manera menos declarativa y cercana a su realidad educativa, la conexión entre este conocimiento y lo que realmente se durante la práctica educativa (Leden et al. 2015), concluyen que la enseñanza de la NdC conduce a múltiples

beneficios en el alumnado. Por tanto, las creencias epistémicas de los docentes tienen potencial para impactar en el aprendizaje (Sosu y Gray, 2012), de manera que un programa de formación debe considerar el pensamiento epistémico (Erduran y Kaya, 2019) y proporcionar el marco necesario para desarrollarlo.

Nouri et al. (2019) recomiendan ampliar la orientación de los formadores de profesorado de ciencias para la enseñanza de la NdC con la finalidad de inspirar una gama más amplia de estrategias de enseñanza. Una de esas recomendaciones implica el diseño de actividades de aula sobre NdC, tanto explícita como implícitamente (Duschl y Grandy 2013), y el uso de enfoques reflexivos para la enseñanza y el aprendizaje de NdC. En este sentido, estudios recientes han mostrado la utilidad de implementar secuencias de enseñanza de prácticas auténticas durante la formación inicial del profesorado, al presentar un enfoque didáctico claro y reconocible que conecta el conocimiento científico con los fenómenos cotidianos promoviendo, además de conocimiento epistemológico (Jiménez-Liso et al., 2019). Estos enfoques abren un abanico de posibilidades para el profesorado. Por ejemplo, proponer actividades generales explícitas, vinculadas a un tema específico de contenido científico, para desarrollar la comprensión del alumnado de un aspecto de la visión sobre el consenso de la NdC (Lederman 2007; McComas 2006).

Las actividades didácticas relacionadas con la historia de la ciencia pueden ser útiles para mejorar el conocimiento implícito y explícito de qué es la ciencia y cómo se construye. Esta historia de los temas de la química presente en el currículo permite el diseño de prácticas científicas auténticas mediante el enfoque implícito (Burgin y Sadler, 2016). El uso de este recurso durante la formación del profesorado puede contribuir a la comprensión de la naturaleza de la ciencia y permitir que el profesorado en formación conozca y asimile los recursos adecuados con los que introducir este contenido en su propia aula de forma holística (Acevedo-Díaz et al., 2017).

1.3.2 Enfoques de enseñanza basados en las prácticas científicas de indagación y modelización

Las prácticas científicas juegan un papel relevante en la enseñanza de las ciencias actual y diversas investigaciones apoyan enfoques de enseñanza por indagación basada en modelos (Jiménez-Liso et al., 2018) y actividades encaminadas a fomentar la argumentación del alumnado ante cuestiones sociocientíficas

(Christenson y Chang, 2014; Ruiz et al., 2021; Zidny et al., 2021). Una indagación adecuadamente diseñada contribuye a promover la alfabetización científica. En este sentido, es deseable enfatizar el papel de las ideas explicativas en la construcción de teorías y modelos que dan sentido a lo que nos rodea. Asimismo, es esencial que las cuestiones den sentido a ideas científicas clave y promuevan la construcción de teorías y modelos científicos que permitan explicar las evidencias disponibles por medio de contextos significativos, que impliquen cognitiva y emocionalmente al alumnado y promuevan el desarrollo de destrezas, conocimiento científico y una visión adecuada de la ciencia. Además, la argumentación y modelización permitirían desarrollar la actividad cognitiva y el aprendizaje significativo en actividades de indagación de calidad, al involucrar al alumnado en el razonamiento, la explicación de evidencias y el contraste y evaluación de ideas alternativas. Por tanto, la implementación de una indagación de calidad en el aula debe incluir actividades para promover el pensamiento crítico, la argumentación y la modelización en el alumnado, siendo necesaria una formación específica del profesorado en este ámbito (Romero-Ariza, 2017).

A pesar de los resultados anteriores, la metodología habitual utilizada en la enseñanza de la química y los contenidos básicos seleccionados como referencia a lo largo de los años se ha mantenido prácticamente intacta (Talanquer, 2013), por lo que debe abordarse desde una nueva perspectiva. Se requiere una formación docente específica para ofrecer recursos que promuevan la participación del alumnado en las prácticas científicas (Crujeiras y Jiménez, 2018). Con estas finalidades formativas y con objeto de que la enseñanza pueda responder a las demandas señaladas por la investigación educativa se han propuesto enfoques basados en la indagación y en la investigación (IBSE, MBI) para la formación de profesorado, que promueven el aprendizaje integrado de contenidos de ciencias y permiten comprender cómo funciona la ciencia (Kenyon et al., 2008; Martínez-Chico, 2013). En España, Martínez-Chico et al. (2014) describen alguna situación en la que formadores del profesorado desarrollan enfoques de enseñanza de las ciencias por indagación, aunque concluyen que esto no es lo habitual en la mayoría de las universidades del país y señalan una brecha entre los resultados de la investigación educativa sobre la enseñanza de las ciencias y lo que se traslada al aula.

Las estrategias para la formación del profesorado que incluyan actividades de indagación y modelización podrían promover la reorientación de los enfoques de enseñanza considerados por el profesorado en formación (Schwarz y

Gwekwerere, 2007). Estos enfoques hacen que el profesorado tome conciencia de cómo se aprende ciencia. Incluso, se ha demostrado que la implementación de enfoques de enseñanza de indagación y modelización en la formación inicial del profesorado lleva a considerar la inclusión de prácticas científicas como actividades docentes en su futuro profesional (Jiménez-Liso et al., 2019). En concreto, en dicho estudio los autores implementaron una secuencia de indagación basada en modelos para involucrar al profesorado en la secuencia de indagación que resulta de la pregunta "¿por qué se esparce sal en las carreteras cuando nieva?". El profesorado en formación actuaba como aprendiz, experimentando el aprendizaje de contenidos científicos a través de prácticas científicas, y como pensador, reflexionando sobre los contenidos aprendidos, tanto conceptuales como procedimentales. A lo largo de la secuencia, de 1 hora y 30 minutos de duración, el profesorado en formación tiene la posibilidad de realizar predicciones sobre la temperatura, reflexionar sobre la utilidad del modelo cinético particular de la materia para explicar lo sucedido, diseñar experimentos para recolectar los datos necesarios y razonar a partir de los resultados obtenidos para reformular un modelo nuevo y más adecuado al fenómeno de estudio.

1.3.4 Perspectiva STEAM

Una educación más competencial conlleva superar la división disciplinar (OECD, 2016) y considerar una mayor coordinación entre el profesorado de diferentes asignaturas (Martín-Páez et al., 2019). Asimismo, un modelo deseable para la enseñanza los contenidos, además de resaltar aspectos procedimentales y actitudinales, debe reflejar las relaciones de interdependencia entre los contenidos y presentar relaciones con problemas que tengan sentido y sean relevantes, tanto para las ciencias como para el contexto profesional y social (Rivero et al., 2020). Es posible que los conocimientos y capacidades se encuentren interconectados a través de un problema complejo que supere las disciplinas individuales, avanzando desde enfoques que consisten en la de suma de disciplinas a enfoques inter o transdisciplinares. En concreto, las disciplinas de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la matemática y el arte se diluyen para considerar STEAM como una única meta disciplina (Simarro y Couso, 2018). Por tanto, la educación STEAM debería coordinar la integración de disciplinas que aparecen naturalmente cuando se abordan situaciones reales y complejas (Romero-Ariza et al., 2021)

Los objetivos de la educación STEAM se centran en capacitar al alumnado para desarrollar destrezas como la colaboración, la creatividad, la comunicación, la innovación y la resolución de problemas (Graham, 2021). La indagación sobre controversias socio-científicas permite comprender y aplicar contenidos científico-tecnológicos, considerando aspectos sociales y éticos que evidencian el pensamiento divergente y creativo durante la toma de decisiones (Levinson, 2018; Romero-Ariza et al., 2018). Por tanto, el potencial de una educación STEAM permite ofrecer una educación integrada y holística al alumnado del siglo XXI. Sin embargo, la escasa formación del profesorado constituye una de las barreras hacia su implementación, por lo que se precisa diseñar propuestas docentes viables en los programas de formación del profesorado (Bautista, 2021).

En este sentido, es posible influir en la autoeficacia y prácticas docentes relacionadas con la implementación de un modelo educativo STEAM que utiliza contextos significativos, integrando resultados de aprendizaje de las distintas materias. Para ello se requieren modelos especializados de alta calidad que enfrenten al profesorado a su realidad y capacidades, con la finalidad de poder adquirir destrezas y estrategias que les permitan desarrollar un tipo particular de aprendizaje en los estudiantes. La metodología basada en la indagación, la utilización de controversias socio-científicas que aborden la información pertinente y contextos de aprendizaje significativo, así como la integración de valores y aspectos culturales fundamentales constituyen características que favorecen el desarrollo profesional del profesorado en un entorno STEAM. Asimismo, es importante que la implementación permita transferir el aprendizaje al aula, los recursos de enseñanza ofrecidos sean de utilidad y promuevan impacto positivo en el aprendizaje del alumnado (Romero-Ariza et al., 2021).

Es importante que los programas de formación ofrezcan la oportunidad de intercambiar ideas y experiencias entre los participantes. Las prácticas docentes centradas en el estudiante mediante la discusión y explicitación de ideas, utilizando contextos relevantes como controversias socio-científicas, e integrando conocimiento, valores y destrezas relevantes en el mundo actual, han mostrado resultados positivos en la evolución del profesorado hacia el modelo de educación STEAM. Este enfoque ofrece interesantes posibilidades con las que cuestionar los modelos educativos predominantes y los resultados de aprendizaje deseados. Además, está enfocado al desarrollo profesional que integra armónicamente conocimientos, destrezas y valores, y prepara

adecuadamente a las personas para enfrentarse a los desafíos sociales y ambientales actuales. La aplicación de este enfoque durante la formación inicial conlleva un impacto positivo en la autoeficacia para implementar con éxito las metodologías asociadas con el modelo propuesto (Romero-Ariza et al., 2021).

I.4 Elementos para la evaluación de secuencias en la formación del profesorado

El desarrollo profesional del profesorado se puede ver favorecido por ciertos elementos, como ofrecer recursos de enseñanza útiles para su implementación en el aula, promover la transferencia a la práctica, conducir a mejorar el aprendizaje del alumnado y permitir la reflexión sobre la práctica (Romero-Ariza, 2021). Por tanto, para guiar al alumnado en su aprendizaje teniendo en cuenta las orientaciones de la Didáctica de las Ciencias, es necesario promover en la formación del profesorado, acostumbrado a las clases tradicionales, la capacidad para implementar actividades que estén adecuadamente secuenciadas y sean consistentes con estos enfoques educativos (Donnelly et al., 2014; Cruz-Guzmán et al., 2017).

Algunos autores han ido más allá sugiriendo que el profesorado en formación pueda participar en ciclos de planificación, enseñanza y reflexión sobre sus experiencias en los centros educativos (Zemba-Saul, 2009; Parker, 2006). Una herramienta valiosa en el proceso de diseño educativo lo constituye la práctica auténtica en sí misma como fuente de inspiración, resultando ser exitosa para impulsar al profesorado en el diseño de actividades contextualizadas (Prins et al., 2018). Asimismo, diferentes investigaciones han demostrado la importancia y efectividad, durante la formación inicial, de experimentar secuencias instruccionales innovadoras que sirvan como modelos de enfoques de enseñanza (Wandersee et al., 1994; Jiménez-Liso et al., 2021b). Es posible alcanzar modificaciones sustanciales (Milner et al., 2012) si el propio enfoque de enseñanza permite al profesorado en formación adquirir competencias siguiendo las mismas orientaciones que van a implementar con sus estudiantes (van Zee y Roberts, 2001; van Zee, 2006; Wee et al., 2007). Tales secuencias deben ser consistentes con el aprendizaje integrado del contenido, las estrategias de enseñanza y las ideas del alumnado sobre el contenido que se aborda.

1.4.1 Prácticas clave

Algunas investigaciones han mostrado que tanto el profesorado en formación como en activo, cuestionan la pertinencia de los programas de formación por ser demasiado abstractos y teóricos, y desarrollarse de manera descontextualizada y alejada de las aulas (Bryan y Abell, 1999; Darling-Hammond y Bransford, 2005), demandando una preparación que relacione la ciencia con lo cercano y cotidiano, y que dé la oportunidad de “vivir en primera persona” los enfoques de enseñanza que pretendemos que utilicen en sus clases (NRC, 2000; Windschitl, 2003; Bhattacharyya et al., 2009; Pilitsis y Duncan, 2012; Abd-El-Khalick, 2012).

Es importante asumir que la integración de los contenidos de la materia a enseñar con el conocimiento pedagógico y las observaciones realizadas en las prácticas de enseñanza no es tarea fácil, por lo que las propuestas de formación deben tener necesariamente como referente el conocimiento profesional docente deseable. Para ello, se hace necesario que el profesorado en formación tenga oportunidades para poner en práctica nuevas propuestas y reflexionar sobre sus resultados (Rivero et al., 2020). En este sentido, la formación inicial debe incidir en ciertas prácticas docentes, necesarias para desarrollar la competencia profesional del profesorado, por lo que es fundamental atender a las prácticas centrales o prácticas clave de enseñanza, elementos que deben ser considerados para que un programa de capacitación docente resulte adecuado de acuerdo con los resultados de la investigación educativa. Las prácticas clave de enseñanza constituyen un aspecto central sobre las que la formación del profesorado y el desarrollo profesional deben estar organizados para aprender desde la práctica, ya que están enfocadas a conocer y atender las necesidades del alumnado (McDonald et al., 2014).

Las prácticas clave o prácticas centrales de enseñanza se fundamentan en una serie de principios que facilitan potencialmente al profesorado en formación la complejidad del proceso de enseñanza. Estas prácticas se caracterizan por poder ser desarrolladas por profesorado en formación en diferentes currículos, estar fundamentadas en pruebas, tener potencial para mejorar los logros alcanzados por el alumnado y preservar la integridad y complejidad de la enseñanza (Grossman et al., 2009). Se trataría de un intento de aprender las posibilidades y limitaciones de la formación docente para actuar sobre la incoherencia entre lo que el profesorado en formación aprende y lo que sería capaz de hacer durante la enseñanza. Una formación inicial hacia las prácticas clave podría promover

que el futuro profesorado fuera capaz de desarrollar conocimientos significativos para la enseñanza juntamente con su capacidad para realmente implementar una enseñanza ambiciosa en el aula (McDonald et al., 2014). El cambio en la preparación de docentes para involucrarlos totalmente en las prácticas clave y la representación de la práctica requiere un cambio significativo en la formación del profesorado (Grossman et al., 2008).

En términos de Grossman et al. (2018), el enfoque de la formación inicial incorporando las prácticas clave de enseñanza requiere la representación (cuando les hacemos vivir la secuencia), la descomposición (cuando reflexionamos sobre cómo hemos aprendido) y la aproximación a la práctica (cuando les pedimos que lo lleven al aula y evalúen el efecto). En este sentido, es evidente la necesidad de orientar los programas de formación docente más hacia la práctica, integrándola con la teoría y la reflexión (Kitchen y Petrarca, 2016). La experiencia directa tiene la capacidad de impulsar al profesorado en formación a desarrollar una filosofía para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias respaldada por evidencias y experiencias personales, de forma dinámica, con la expectativa de poder continuar evolucionando para incorporar experiencias educativas en el futuro profesional (Crawford, 2007). De esta manera es posible reducir la brecha entre la teoría y la práctica por medio de una visión constructivista del aprendizaje, dotando de importancia a la capacidad del profesorado para construir su propio conocimiento (Korthagen, 2010).

El profesorado, al comenzar su formación inicial, tiene su propia experiencia y puntos de vista sobre la docencia al haber sido los propios usuarios de lo que tienen que aprender (Sanmartí, 2001). Por tanto, en este momento ya presenta una serie de conocimientos, valores, creencias, roles y actitudes, tanto sobre las ciencias como sobre su enseñanza, desde las que es necesario partir (Mellado, 2003). En relación a la enseñanza de la ciencia como indagación, la visión personal del profesorado en formación está compuesta por su conocimiento de la indagación científica, por la enseñanza basada en la indagación y por sus creencias sobre la enseñanza y el aprendizaje, constituyendo un fuerte predictor su práctica real de la enseñanza de ciencias y diseño de programas innovadores (Crawford, 2007).

Por tanto, la formación del profesorado requiere una mayor capacidad para trabajar las inquietudes del profesorado en formación, motivarles en la reflexión sistemática, interacción con el resto del grupo y ayudar a observar holísticamente. La esencia para que tenga lugar un cambio real debe ser

transformar aspectos inconscientes, que influyen en el aprendizaje, en conscientes y ampliar la zona de bienestar (Korthagen, 2010), ya que “Conscientemente, enseñamos lo que sabemos; inconscientemente, enseñamos quiénes somos” (Hamachek, 1999, p. 209).

Al incorporar la reflexión sobre la práctica pedagógica (Gauche et al., 2007) durante la formación del profesorado, se hace posible experimentar enfoques alternativos a los tradicionales y que se evidencie explícitamente nuestra manera de aprender y enseñar. Debido a esta interacción entre lo que el profesorado hace y lo que piensa, el impacto de la formación docente va a depender de la influencia en sus creencias (Fives y Buehl, 2012; García et al., 2019; Torre y Casanova, 2008). De hecho, estudios recientes en educación científica establecen un posible vínculo entre las creencias del profesorado sobre el conocimiento científico y su práctica en el aula (Guskey, 2020). Se requieren investigaciones que tengan como objetivo cambiar las concepciones y reorientar la enseñanza de las ciencias (Markic y Eilks, 2008), y concienciar, a través de la autorreflexión, en relación a que sus creencias pueden influir en sus decisiones y acciones que realizan (Markic et al., 2008). Por tanto, con independencia de lo acertados que puedan ser los planteamientos que prescriben las propuestas curriculares, los cambios en educación dependen de lo que piensa y hace el profesorado en sus clases Fullan (1991), algo tan simple y a la vez tan complejo.

En este sentido, las creencias del profesorado son la clave de la motivación docente para cambiar sus prácticas hacia unas más innovadoras (Khader, 2012). Estos puntos de vista tienen que ver con la cultura que sobre enseñar y aprender tienen el profesorado y el alumnado (Ireland et al., 2014), más acostumbrados a las clases tradicionales, que son distintas a las prácticas educativas basadas en la enseñanza por investigación (Donnelly et al., 2014), así como con la manera de enseñar que han conocido durante su formación inicial. Estas circunstancias podrían dificultar que el profesorado comparta y se encuentre comprometido con el desarrollo de la competencia científica en la enseñanza de las ciencias y que docentes que se incorporan a los centros educativos se adapten a ciertas “rutinas docentes” predominantes.

Asimismo, estudios sobre las relaciones que se establecen entre las percepciones de la autoeficacia, las creencias y la práctica docente parecen mostrar que la autoeficacia y las prácticas en el aula pueden experimentar niveles más altos de desarrollo, mientras que la modificación de las creencias es más compleja (Romero-Ariza et al., 2021). En particular, las creencias personales están

fuertemente arraigadas y resultan más resistentes al cambio (Löfström y Poom-Valickis, 2013) cuando los niveles de partida son elevados (De Coito y Myszkal, 2018). Sin embargo, se ha comprobado que es posible producir cambios a más largo plazo como consecuencia de su relación con las prácticas profesionales y las experiencias vividas (Guskey, 2020).

1.4.2 Auto-percepciones del aprendizaje cognitivo, conductual y emocional

Las reacciones emocionales del alumnado hacia las ciencias fueron estudiadas por Gardner (1975), quien ya indicaba que la necesidad de desarrollar más investigaciones sobre aspectos afectivos en la educación. En concreto, destacaba que, como resultado de su encuentro con la ciencia, la última meta debe consistir en estimular la alegría, la sorpresa, la satisfacción y el placer. Ciertas sustancias químicas presentes en el cuerpo humano están relacionadas con las emociones y tienen un efecto influyente en la función de las conexiones neuronales (Zull, 2004). Las más relevantes son la adrenalina, que afecta a la velocidad del corazón para prepararse a acciones inusuales y la dopamina, relacionada con el sentimiento de placer y satisfacción. En este sentido, existe una relación estrecha entre sentir y pensar, expresada en la satisfacción que se siente al resolver un problema difícil o en la frustración de no ser capaz de comprender algo. El placer no es únicamente un premio por completar una tarea exitosamente sino una motivación para enfrentarse a más tareas (Harlen, 2018).

A pesar de que los aspectos afectivos, actitudinales y emocionales influyen en la construcción del conocimiento científico, la enseñanza y aprendizaje de las ciencias tradicionales suelen destacar la verdad y la objetividad como elementos que la caracterizan, excluyendo los valores afectivos, culturales y sociales. Conceptos de tipo afectivo como la identidad personal, la autoestima o la autoconfianza determinan los nuevos aprendizajes y el desarrollo profesional, por lo que es necesario usarlos activamente como factores humanos de apoyo al aprendizaje. Asimismo, los sentimientos y las emociones tienen capacidad de dirigir las cogniciones (aprendizajes) y las conductas, en la toma de decisiones y resolución de conflictos (Vázquez y Manassero, 2007).

Estudios recientes han identificado que las emociones negativas pueden interrumpir el aprendizaje, por ejemplo, experimentar fracaso podría ocasionar falta de motivación para continuar mejorando, por lo que aprender a manejar las reacciones emocionales es fundamental. De acuerdo con Hitonn y Fischer (2010),

las estrategias sugeridas para reducir su impacto negativo parten de reinterpretar el valor de la prueba, pues lo importante no es el resultado final sino promover continuar aprendiendo. Esto conectaría con la práctica clave de explicitar las ideas del alumnado, cuya finalidad no consiste en que el alumnado proporcione una respuesta correcta, sino la estimulación del pensamiento (McDonald et al., 2014). Además, la respuesta de otros a nuestras sugerencias o ideas también puede afectar a nuestros propios sentimientos y a nuestra disposición a aportar más ideas, por lo que ayudar en el aprendizaje implica reconocer esta relación y tener en cuenta estas emociones. Como docentes, debemos encontrar maneras de hacer que el aprendizaje recompense intrínsecamente, haciendo sentir emociones positivas, y que el alumnado sea consciente de esos sentimientos. Para alcanzar esta meta, necesitamos que las clases y evaluaciones conduzcan a algún progreso en el alumnado, provocando sensación de dominio y éxito, así como trabajar temas y actividades que atraigan al alumnado (Harlen, 2018).

Las emociones son desencadenadas generalmente por acontecimientos relacionados con metas importantes y controlan las prioridades de cada individuo (Oatley y Jenkins, 1992). Una emoción es una reacción subjetiva que depende de lo que es importante para nosotros y está influenciada por la experiencia individual y social (Mellado et al., 2014). Asimismo, Goleman (1996) establece que la motivación positiva está vinculada con el rendimiento, por lo que las personas que tienen capacidad para automotivarse para la consecución de una meta son más productivas y efectivas. Por tanto, las emociones pueden favorecer o dificultar la capacidad para planificar el modo de alcanzar un objetivo determinado, estableciendo los límites y determinando los éxitos que podemos alcanzar.

En el caso del profesorado en formación, en concreto de la especialidad de Física y Química, se ha identificado que presenta emociones tanto positivas como negativas, correspondientes a las que sintieron en su etapa de estudiantes durante la Educación Secundaria hacia estas materias. Estas emociones se podrían transferir del profesorado al alumnado, resultando un problema para el aprendizaje si se trata de emociones negativas hacia los contenidos de Física y Química. Por el contrario, las emociones positivas se relacionan con una mayor autoeficacia durante la formación inicial del profesorado (Mellado et al., 2014).

Es necesario que el profesorado sea consciente de las emociones durante su formación y que esta conciencia comience a influir en su comportamiento. Este hecho es importante debido a que el profesorado no se suele guiar por funciones

racionales y conscientes, sino por ciertos aspectos que median entre la percepción y el comportamiento, como formas de procesamiento de información tácitas, holísticas, irracionales e integrales. Es por ello por lo que la reflexión debe centrarse en aspectos menos conscientes y racionales, promoviendo la consideración de las dimensiones de pensamiento, sentimiento, deseo y actuación, así como sus interrelaciones. Esta ampliación del conocimiento tácito o implícito incorpora conceptos como la emoción implícita o la actitud implícita (Korthagen, 2010).

En este sentido, el itinerario cursado durante la educación secundaria previa al acceso a los estudios universitarios constituye un elemento predictor de las emociones que fueron experimentadas al aprender ciencias en la escuela. En el caso de estudiar contenidos de Física o Química, el profesorado de Educación Primaria en formación inicial de las ramas de Humanidades y Ciencias Sociales experimenta más emociones negativas, como la desesperación y la frustración, que quienes provienen de un itinerario científico, los cuales reportan emociones más positivas, como el entusiasmo y el interés. En relación con las expectativas de hombres y mujeres hacia la enseñanza de Física y Química, no han sido identificadas diferencias significativas. Por tanto, el desarrollo de programas de intervención emocional parece ser especialmente importante sobre los contenidos de ciencias, en el caso de profesorado de Educación Primaria, entre los que se han encontrado relevantes dificultades cognitivas y emocionales (Brígido et al., 2013). Las emociones sentidas por profesores de primaria en formación inicial son mayoritariamente negativas al abordar contenidos relacionados con la física o la química y el impacto de la formación sobre las emociones positivas es escaso. Sin embargo, las emociones negativas son menores al enseñar en comparación con las que tenían como estudiantes de secundaria al aprender física o química. Por otro lado, parece que las emociones que experimentan mujeres y varones son similares (Brígido et al., 2010).

Asimismo, aprender a ser docente de ciencias es una práctica social que está impregnada de emociones (Bellocchi et al., 2014). Las mujeres suelen informar con menor frecuencia emociones positivas que los varones al enseñar contenidos de Física y Química. Esta situación implica la necesidad de que puedan autorregular sus emociones (preocupación, nerviosismo, estrés) para evitar que puedan bloquearlas cuando enseñan ciencia (Borrachero et al., 2014), por lo que formar profesorado emocionalmente competente le permitirá diagnosticar y autorregular sus emociones (Brígido et al., 2010; Costillo et al., 2013). Las

competencias emocionales permiten comprender, expresar y regular adecuadamente los fenómenos emocionales y favorecen procesos como el aprendizaje o la solución de problemas. En concreto, las competencias emocionales se componen de la conciencia y regulación emocional, la autonomía personal, la inteligencia interpersonal y las habilidades de vida y bienestar. La adquisición de competencias emocionales conlleva consecuencias positivas en el comportamiento, lo que ha contribuido a aumentar el interés por estudiar su influencia en el ámbito educativo (Bisquerra y Pérez, 2007).

A pesar de las evidencias expuestas, el papel de las emociones, el compromiso con las prácticas científicas en su conjunto y las conexiones específicas no se ha investigado exhaustivamente (Sinatra et al., 2015). Sin embargo, el método de enseñanza se considera la razón más influyente en las emociones predominantes que se han sentido durante la enseñanza, por lo que deben ser promovidos aquellos que consiguen que el alumnado se encuentre más enganchado. El rendimiento emocional aumenta cuando se implementan metodologías innovadoras que implican al alumnado para que participe. En este sentido, la gamificación o las actividades prácticas durante la formación del profesorado conducen a emociones dinámicas, es decir, aquellas que conllevan actitudes proactivas hacia la materia y el gusto por lo que están aprendiendo. Un ejemplo sería la sorpresa, que se trataría de una emoción positiva y dinámica. La satisfacción o el aburrimiento, que suelen darse con la enseñanza tradicional, consistirían en emociones estáticas por no conducir a necesitar nada más. La sorpresa es escasamente destacada en la enseñanza tradicional (Sanchez-Martin et al., 2018). Los modelos transmisivos conducen a mostrar la ciencia como un conjunto de verdades acabadas que privan de experimentar la emoción de construir conocimiento en su correspondiente momento histórico (Mellado et al., 2014), por lo que se suele considerar a las ciencias como el polo opuesto de las humanidades que ha difuminado el carácter humano de la ciencia por no tener en cuenta aspectos básicos de la educación, como las emociones, los sentimientos, la moral, la historia o la personalidad (Vázquez et al., 2005).

Algunos estudios demuestran que la indagación basada en modelos implica situaciones emocionales que afectan al aprendizaje científico, por lo que resulta pertinente identificar qué relaciones se establecen al promover este enfoque de enseñanza (Inkinen et al., 2020; Milne y Otieno, 2007). Durante la formación inicial, las actividades de indagación y modelización pueden incrementar las emociones experimentadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje y promover

que el profesorado reflexione y sea consciente de cómo se aprende. Se han encontrado evidencias actuales que indican que el profesorado en formación es consciente de haber entendido los fundamentos de la práctica científica y experimentado emociones positivas, como satisfacción e interés, cuando aprenden mediante enfoques de enseñanza por indagación y modelización (Jiménez-Liso et al., 2019). En este sentido, la aplicación de procesos científicos conlleva una mezcla de emociones, como la curiosidad o la confianza, en la experimentación y representación de datos, o alegría, orgullo y gratificación, al aplicar lo aprendido al resolver un problema (Mellado et al., 2014). Castillo (2022) ha identificado que las emociones de confianza e interés coinciden con valores de mayor percepción de aprendizaje, y la concentración y satisfacción las que contribuyen al flujo.

I.5. A modo de recapitulación

Como conclusiones destacadas del marco teórico anterior se podrían señalar que, aunque desde la investigación educativa se han desarrollado notables esfuerzos y realizado propuestas para que los enfoques de enseñanza por indagación sean implementados en las aulas durante la educación obligatoria, los resultados obtenidos muestran que los aprendizajes del alumnado en relación con la competencia científica no han mejorado sensiblemente (Jiang y McComas, 2015; Archer et al., 2010; Woods-McConney et al., 2016). Asimismo, se ha puesto de manifiesto que la formación del profesorado mejoraría con el marco de prácticas clave de enseñanza para que los docentes puedan ser capaces de llevar a cabo la enseñanza de las ciencias de manera coherente con las recomendaciones de la investigación didáctica para que el alumnado desarrolle la competencia científica. La toma de decisiones viene determinada tanto por factores afectivos como de tipo científico, por lo que si uno de los objetivos de la alfabetización científica es desarrollar esta capacidad se necesita considerarlos como parte de la evaluación de la calidad de la educación científica (López-Banet et al., 2020; Vázquez y Manassero, 2007). Por tanto, se considera necesario tener un mayor conocimiento sobre los resultados educativos en relación con la formación del profesorado, con objeto de promover iniciativas eficaces y coherentes con estas finalidades formativas.

Como se ha descrito a lo largo de este capítulo, la formación inicial del profesorado de secundaria resulta un proceso muy complejo que no se puede

satisfacer con la formación tradicional, debido a que el contexto actual en el cual se debe ejercer la profesión ha sufrido cambios profundos relacionados con el valor de las ciencias en la sociedad. Cada docente debe tomar decisiones conscientes durante toda su trayectoria profesional, por lo que la formación inicial no debe proporcionar “recetas” sino preparar para reflexionar y pensar sobre los criterios que van a condicionar la toma de decisiones, en las que afectarán las concepciones, actuaciones, emociones y valores, lo que requiere un proceso de consciencia y autorregulación metacognitiva para poder reorganizarlas y desarrollar su propia intervención educativa. Por tanto, la percepción de las emociones favorables al cambio va a influir en el cambio en las formas de pensar y actuar, así como en la aceptación de nuevas prácticas (Sanmartí, 2001).

Es evidente la necesidad de reorientar los programas de formación inicial del profesorado, es decir, proponer marcos de referencia que sean útiles para que adquiera las capacidades científicas y didácticas que les permitan ejercer, con suficiente nivel de competencia, las tareas docentes que les corresponden en esta etapa de particular importancia educativa en la formación de las personas (Lewis et al., 2011). Es fundamental una formación específica del profesorado que integre los contenidos científicos con los conocimientos didácticos. Para lograrlo, se necesita diseñar secuencias de actividades relevantes para estudiantes y docentes que conecten este conocimiento con fenómenos cotidianos, con un enfoque didáctico que además promueva el conocimiento de qué es la ciencia y cómo se construye.

Para aprender a guiar al alumnado de Educación Secundaria a través de las diferentes fases de indagación y modelización será requisito implicar al profesorado en formación en actividades bien secuenciadas y coherentes con estos enfoques educativos (Uum et al., 2016; Donnelly et al., 2014; Cruz-Guzmán et al., 2017). Es recomendable que los docentes de secundaria experimenten secuencias de actividades de indagación y modelización que tengan sentido para ellos durante su formación inicial y reflexionen sobre lo que aprenden y cómo lo aprenden, para que sean conscientes de la utilidad y eficacia de estos enfoques educativos y dispongan de ejemplos de prácticas didácticas adecuadas para implementar en sus clases. Asimismo, el profesorado podrá tomar consciencia de las emociones experimentadas para que estas puedan comenzar a influir en su comportamiento (Korthagen, 2010). El desarrollo de un programa de intervención emocional en la formación inicial del profesorado podría ayudar a

tomar conciencia de su propia historia como estudiantes, y de cómo las emociones afectan la enseñanza de diferentes materias científicas, contribuyendo a que desarrollen, en un proceso metacognitivo, la capacidad de cambiar y autorregular esas emociones en su propio aprendizaje, en el de su alumnado y en la enseñanza. Por tanto, es necesaria más investigación para examinar las raíces de las emociones en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias para refinar el enfoque sobre contenidos específicos, las actividades y las estrategias (Brígido et al., 2013). Resulta fundamental proporcionar al profesorado de secundaria en formación un programa de apoyo para fomentar la conciencia de sus actitudes, creencias y emociones hacia la ciencia y su aprendizaje con la finalidad de mejorar su capacidad de autorregulación para cambiar esas actitudes y emociones (Mellado et al., 2014).

Una vez definido el tema, resulta pertinente concretar los *objetivos y problemas de investigación*, así como sus correspondientes *hipótesis*, que orientarán el *diseño experimental* que se ha abordado para realizar el estudio.

Capítulo 2

Objetivos y marco metodológico

2. Objetivos y marco metodológico

2.1 Propósitos y objetivos de investigación

Los anteriores antecedentes han permitido describir lo que se conoce hasta la actualidad sobre iniciativas eficaces para la formación del profesorado con la intencionalidad de promover una enseñanza de la química coherente con las finalidades educativas descritas desde el área de la Didáctica de las Ciencias, estableciendo un hilo conductor general de la tesis doctoral en su conjunto. De acuerdo con el marco teórico, es necesario completar los resultados y aportar nuevas evidencias de lo que se desconoce. Por tanto, el presente capítulo tiene por finalidad definir los objetivos y formular los problemas concretos a los que se considera necesario avanzar en su conocimiento para contribuir en este campo y que van a guiar la investigación.

En esta tesis se presenta como objetivo principal *el diseño e implementación de secuencias de enseñanza por indagación y modelización para implementar durante la formación inicial de docentes de secundaria y evaluarlas en función de las dimensiones cognitiva, comportamental y emocional del compromiso hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base*. Este objetivo general se puede subdividir en los objetivos específicos siguientes:

SO1. *Trasponer los enfoques explícitos e implícitos de la naturaleza de la ciencia utilizando el desarrollo histórico del dominio ácido-base en secuencias de actividades por indagación y modelización que puedan ser utilizadas como referencia para el profesorado.*

SO2. *Diseñar nuevas secuencias de enseñanza por indagación y modelización con la colaboración de expertos internacionales durante la realización de una estancia de investigación.*

SO3. *Analizar las conexiones con miradas STEAM de secuencias de actividades por indagación y modelización que permiten abordar la resolución de un problema de manera integrada entre las distintas disciplinas.*

SO4. *Planificar la implementación de secuencias STEAM de actividades de enseñanza por indagación y modelización con un enfoque implícito de la naturaleza de la ciencia con profesorado en formación inicial en dos contextos formativos diferentes (online síncrono en la Universidad de Almería y presencial en la Universidad de Murcia).*

SO5. Evaluar las dimensiones cognitiva, conductual y emocional del compromiso de docentes de ciencias en formación en ambos contextos (online-presencial, en la Universidad de Almería y de Murcia, respectivamente) hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base resultantes de la implementación de las secuencias por indagación y modelización.

2.2 Problemas de investigación

De acuerdo con McMillan y Schumacher (2005), la elaboración de esta tesis doctoral pretende dar respuesta al problema principal de investigación *¿Cómo diseñar, implementar y evaluar, en función de las dimensiones cognitiva, comportamental y emocional del compromiso hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base, secuencias de enseñanza por indagación y modelización para la formación inicial de docentes de secundaria?*

Este problema tan amplio se podría desglosar en los problemas concretos de investigación, a los que se les dará respuesta en cada uno de los diferentes capítulos. Asimismo, para la resolución de cada uno de los problemas será preciso elaborar una fundamentación teórica específica. En este sentido, el primer problema de investigación surge de la extensa bibliografía sobre conceptos erróneos relacionados con la enseñanza de los contenidos ácido-base en todos los niveles educativos, justificando la necesidad de un cambio de los enfoques pedagógicos habituales para enseñar el dominio ácido-base. Mientras que tradicionalmente estos contenidos se han basado en una enseñanza centrada en los conceptos implicados, en esta tesis doctoral se propone un enfoque más profundo y significativo que proporciona la oportunidad de reflexionar (implícita o explícitamente) sobre cómo se construye el conocimiento científico. Con esta finalidad se diseñará, implementará y evaluará una secuencia de enseñanza por indagación y modelización durante la formación inicial del profesorado de educación secundaria que implique la resolución de un problema real, con la participación de los conocimientos y disciplinas necesarias de manera natural.

Finalmente, nos centraremos en los niveles más internos del modelo de los niveles de reflexión (Korthagen, 2010) para que el profesorado sea consciente de las emociones experimentadas durante su puesta en práctica y que estas puedan influir en su comportamiento. Resulta de interés abordar el estudio heurístico de las tres dimensiones del compromiso (cognitiva, comportamental y emocional)

para evaluar propuestas educativas y el efecto sobre el aprendizaje del profesorado. En concreto, a continuación, se especifican los tres problemas de investigación (PI) que van a orientar la investigación:

PI 1. *¿Cómo se podrían traducir los enfoques explícitos e implícitos de NdC utilizando el desarrollo histórico del dominio ácido-base en secuencias de actividades que puedan ser utilizadas como referencia por el profesorado para desarrollar la competencia científica?*

PI 2. *¿Cómo se podría integrar las formas de hacer, pensar y hablar de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la matemática y el arte para contribuir a la alfabetización en el ámbito STEAM mediante la resolución de un problema de ácido-base?*

PI 3. *¿Permite una secuencia de actividades de indagación basada en modelos que el profesorado en formación inicial tome conciencia de la importancia de vincular lo cognitivo y lo afectivo en el aprendizaje para promover la competencia científica?*

Nuestra experiencia personal, docente e investigadora, los conocimientos sobre los modelos de formación del profesorado y el sistema educativo en nuestro país, así como las conclusiones que hemos extraído de la revisión bibliográfica realizada, nos permiten formular respuestas provisionales para los tres problemas planteados, como concretamos en el siguiente apartado.

2.3 Hipótesis de investigación

La investigación presentada en esta tesis doctoral permite contrastar la medida en la que pueden ser o no verificadas las siguientes hipótesis de investigación (HI):

HI 1. *Es posible diseñar propuestas didácticas con un enfoque explícito de la naturaleza de la ciencia (NdC) para niveles desde secundaria hasta universitarios a partir del hito histórico de 1923 sobre ácidos y bases. El enfoque implícito se promovería mediante un enfoque de indagación basado en modelos. Ambas propuestas permitirían contribuir a la adopción de visiones adecuadas de la ciencia y cómo se construye el conocimiento científico.*

HI 2. *Las diferentes aportaciones de la química, la tecnología, las habilidades de diseño, la modelización matemática y la aportación artística de cada disciplina del ámbito STEAM permitirían la resolución de un problema contextualizado en la vida cotidiana. La selección adecuada de un contexto convertiría en necesarias las miradas STEAM, evitando así el carácter sumativo multidisciplinar habitual.*

HI 3. *Es posible implementar con éxito una secuencia de actividades para la formación inicial de docentes de secundaria para enseñar ácido-base por indagación y modelización orientada hacia la construcción del conocimiento profesional, dando oportunidades para vivir experiencias coherentes de aprendizaje. La aplicación y desarrollo de esa secuencia de actividades conduciría a que el profesorado en formación inicial fuera consciente de lo que aprende, cómo aprende (enfoque de enseñanza), sus concepciones sobre NdC y cómo se siente (emociones), siendo valorado positivamente por quienes participan.*

Los objetivos, problemas e hipótesis de investigación se relacionan de la manera que se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Objetivos, problemas e hipótesis de investigación

Objetivos	Problemas	Hipótesis
SO1; SO2	PI1	HI1
SO1; SO3; SO4	PI2	HI2
SO5	PI3	HI3

Para llevar a cabo este estudio y comprobar las hipótesis que dan respuesta a los problemas planteados se ha diseñado una propuesta educativa fundamentada en los aspectos descritos en anteriores investigaciones, que va a ser contrastada mediante la metodología que se describe en el siguiente apartado.

2.4 La investigación de diseño como marco metodológico

Los capítulos que componen este trabajo presentan una metodología concreta que aparece fundamentada en cada uno de ellos. Sin embargo, para dar respuesta a los problemas de investigación se requiere una metodología global que permita diseñar una propuesta didáctica para el aprendizaje de los contenidos ácido-base, su implementación durante la formación inicial de docentes de secundaria y evaluación de la puesta en práctica en función del cambio de las dimensiones cognitiva, comportamental y emocional del compromiso hacia el aprendizaje. Con esta finalidad, el marco metodológico de toda la investigación se fundamenta en los aspectos clave señalados por la investigación basada en el diseño.

Los métodos de investigación basados en el diseño constituyen una metodología coherente para unir la práctica educativa y las necesidades de los destinatarios

con la investigación teórica (Castillo, 2022; Romero-Ariza, 2014; The Design-Based Research Collective, 2003). La primera tendría como objetivo proporcionar ideas para optimizar la calidad de una intervención, por lo que estaría orientada hacia los fines prácticos de una situación concreta. Sin embargo, la segunda tiene por finalidad la producción de conocimiento de carácter generalizable y pretende generar, articular y probar principios de diseño, reflejando aspiraciones más científicas o académicas. Estos principios se pueden referir tanto a las características de la intervención como a la manera en la que se debe desarrollar (Van den Akker, 1999). En este sentido, establecer el logro de una intervención educativa resulta complicado, ya que, si el éxito significa asegurar que promueve el aprendizaje, requiere estudiarla cuidadosamente en un contexto particular, por lo que la investigación en este modelo sería difícil de generalizar a otros entornos. Por otro lado, si el éxito implica poder afirmar que una intervención podría ser efectiva en cualquier contexto, entonces se deben estudiar los efectos en una variedad de entornos que permitan generalizar los resultados. Con esta finalidad, es necesario examinar las intervenciones educativas de manera holística, es decir, considerando que son el producto de las interacciones entre los materiales, el profesorado y el alumnado. Por tanto, debido a que la intervención tal como se desarrolla es un producto del contexto en el que se implementa, en un sentido importante, la intervención en sí misma constituye un resultado (The Design-Based Research Collective, 2003).

De acuerdo con Plomp (2013) la investigación basada en el diseño permite proponer y desarrollar una intervención como solución a un problema educativo complejo, así como avanzar en nuestro conocimiento sobre las características de estas intervenciones y procesos implicados en su diseño y desarrollo. Alternativamente, la investigación basada en el diseño es útil para planificar y desarrollar intervenciones educativas con el propósito de implementar o validar teorías. El proceso de investigación, para ambos casos, siempre incluye ciclos de diseño iterativo sistemáticos del análisis, diseño, evaluación y revisión de las actividades hasta alcanzar un equilibrio entre lo que se pretende lograr y la realización (figura 2.1).

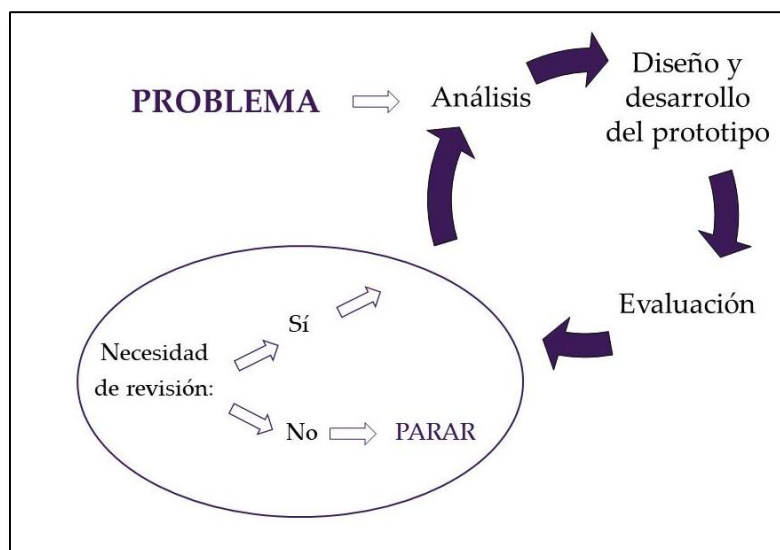


Figura 2.1 Ciclos de diseño iterativo sistemáticos.

Fuente: elaboración propia de acuerdo con Plomp (2013, p. 17).

La investigación basada en el diseño incluye los principios enunciados por Shavelson y Towne (2002):

- Plantear preguntas significativas que pueden ser investigadas.
- Vincular la investigación a la teoría relevante.
- Utilizar métodos que permitan la investigación directa de la cuestión.
- Proporcionar un hilo conductor de razonamiento coherente y explícito.
- Replicar y generalizar entre estudios.
- Divulgar la investigación para fomentar la crítica profesional.

El éxito último de la investigación basada en el diseño en su utilidad en contextos reales. La revisión de la bibliografía realizada por Guisasola et al. (2021) establece ciertos aspectos que la caracterizan. En primer lugar, el objetivo de esta metodología se basa en una intervención en un contexto educativo real, que considera las ideas alternativas a las científicas del alumnado y la dimensión social del aprendizaje de una temática concreta. El diseño se fundamenta en teorías e hipótesis sobre los procesos de aprendizaje con la finalidad de establecer una primera versión de las actividades que constituyen la secuencia. El análisis del contexto, resultados epistemológicos de la temática a abordar, el análisis de las ideas previas y la necesidad de promover habilidades y actitudes de la investigación científica permiten establecer los objetivos, dificultades y

demandas de aprendizaje para, finalmente, acordar las estrategias de enseñanza mediante una propuesta de trayectoria de aprendizaje para la construcción del conocimiento en el entorno educativo concreto. La implementación y recogida de evidencias empíricas permite evaluar si la hipótesis conduce a un mejor aprendizaje. En concreto, la evaluación se orienta hacia la mejora durante el proceso de la intervención, no exclusivamente los resultados finales. Finalmente, el análisis de la calidad de la secuencia se realiza en función de la claridad de las actividades, los problemas de temporalización y otros imprevistos inherentes al proceso de diseño de una secuencia innovadora. Asimismo, los resultados de aprendizaje deben ser analizados en función de la comprensión del alumnado y adquisición de destrezas científicas.

Por otro lado, la aplicación sistemática de los principios de la investigación basada en el diseño para orientar la formación inicial de profesorado contribuye a su desarrollo profesional al tener en cuenta las dificultades manifestadas los participantes. Asimismo, permite aportar nuevas evidencias que permiten establecer los principios de diseño y guiar el prototipo de la propuesta con la finalidad de mejorar la calidad de la educación científica, de acuerdo con los resultados obtenidos en su puesta en práctica (Cobo-Huesa et al., 2021). Por tanto, la IBD está orientada a medir la utilidad de los prototipos en contextos reales y explicar por qué los diseños funcionan, a diferencia del diseño de secuencias cuya finalidad se centraría en la creación de nuevas propuestas, sin necesariamente explicitar la conexión con las teorías subyacentes (Guisasola et al., 2021).

La investigación basada en el diseño permite encarnar materialmente supuestos teóricos acerca del aprendizaje y comprobar conjeturas sobre cómo deberían funcionar en un entorno concreto (Sandoval y Bell, 2004). El ciclo de instrucción implementado (planificación, enseñanza, reflexión) promueve la aplicación del conocimiento didáctico del contenido y retroalimentarlo por medio de las experiencias en el aula y contribuciones profesionales en un contexto concreto (Carlson y Daehler, 2019). Por tanto, la implementación de este ciclo durante la formación del profesorado de ciencias nos puede permitir relacionar la teoría con la práctica y evaluar la efectividad de la secuencia previamente diseñada desde la reflexión de las emociones vividas y la autorregulación del aprendizaje. Mediante el análisis retrospectivo del estudio de investigación, se podría rastrear si se cumplen dichas expectativas, con la finalidad de probar las predicciones iniciales, referidas tanto a los resultados esperados de la intervención como al funcionamiento de los andamiajes propuestos (Sandoval y Bell, 2004).

Centrándonos en el estudio realizado en la tesis doctoral, y de acuerdo con la metodología de investigación basada en el diseño (Plomp, 2013), que se compone por las fases preliminar, diseño, evaluación formativa y evaluación final del prototipo, que puede ser una secuencia de actividades (SEA) o un principio de diseño, en el capítulo 3 se realiza una investigación preliminar y diseño del prototipo mediante el análisis de las necesidades y del contexto, revisión de la literatura y establecimiento del marco conceptual y teórico del estudio. La fase del desarrollo del prototipo consiste en iteraciones de diseño (Capítulo 4), en la que cada una de ellas constituiría un micro-ciclo de investigación. De hecho, la propia evaluación formativa se considera la actividad más importante para la mejora y refinamiento de la intervención. La fase de evaluación (Capítulo 5) consiste en una evaluación sumativa con la finalidad de concluir si la solución o la intervención alcanza las especificaciones predeterminadas. Esta fase también engloba recomendaciones para la mejora de la intervención. De acuerdo con Guisasola et al. (2021), las herramientas que se deben utilizar en la evaluación deben ser escogidas por los investigadores, pues la metodología de investigación basada en el diseño no los concreta. En este sentido, es recomendable que los instrumentos permitan hacer explícitos diferentes aspectos, constituyendo métodos de evaluación sumativos (Guisasola et al., 2021; Nieveen, 2010).

2.5 Estrategias de la investigación

Una vez descritas y fundamentadas las características requeridas para nuestra propuesta didáctica a partir de la investigación basada en el diseño (objetivos SO1, SO2, SO3, SO4), se analizan los resultados de su puesta en práctica con alumnado del máster de formación del profesorado (SO5) de la Universidad de Almería (UAL) y de la Universidad de Murcia (UMU). A continuación, se recogen los parámetros de las acciones llevadas a cabo para abordar los problemas planteados en esta investigación.

a) *Población y contexto*: se utilizarían, por un lado, una selección de artículos de investigación educativa que permitirán abordar la fase preliminar y de diseño. En el caso de la evaluación formativa y la implementación participarán muestras de alumnado de 3º ESO y de profesorado en formación de las Universidades de Murcia y de Almería, que constituyen circunstancias únicas.

b) *Instrumentos de recogida de información*: se requiere, en función de la fase de investigación, el análisis documental sobre el desarrollo histórico y la enseñanza

convencional de los contenidos ácido-base, así como sobre los enfoques explícitos e implícitos de NdC, la guía observacional de la puesta en práctica y un autoinforme de autorregulación con escala Likert.

c) *Diseño de la investigación.* La investigación basada en el diseño se compone por las fases preliminar, diseño, evaluación formativa y evaluación final del prototipo. En el caso de la evaluación formativa y de implementación, debido a las posibles diferencias iniciales en las muestras de estudiantes y profesorado en formación, el desarrollo de la investigación respondería a un esquema como el que se muestra en la figura 6, en el que A, B y C representan los distintos grupos que participan y mediante X se representa la formación recibida. El diseño experimental es de tipo *ex post facto* (figura 2.2), en el que se examinan la variable dependiente y los datos retrospectivamente para establecer las causas, relaciones y sus significados. No se dispone de un grupo control, así como de la posibilidad para la aleatorización de la muestra (Cohen et al., 2005).

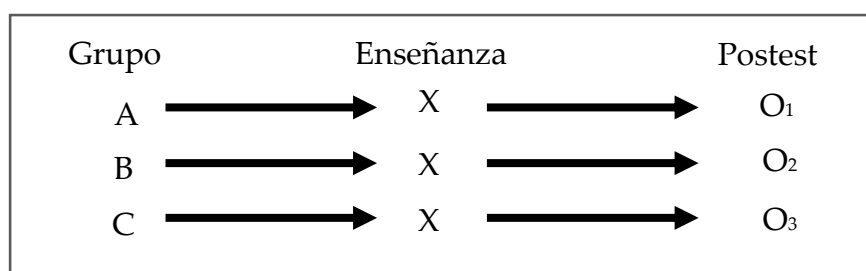


Figura 2.2 Diseño experimental de la investigación.

c) *Análisis de la información.* La información correspondiente a la fase preliminar será analizada atendiendo a los criterios definidos en el marco teórico relacionados con las consecuencias debidas a la utilización de metodologías de enseñanza tradicionales para el aprendizaje de los contenidos ácido-base, como las concepciones alternativas, las dificultades para transferir y aplicar el conocimiento y la comprensión del desarrollo de un modelo histórico. En relación al diseño, se tendrán en cuenta los elementos para reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia y la utilización de enfoques de indagación y modelización.

La evaluación formativa se realizará en función de la perspectiva STEAM, así como del desarrollo de determinadas prácticas clave durante la formación del profesorado. Con esta finalidad se va a considerar: (a) la validez, al analizar en

qué medida el diseño propuesto es coherente, permitiendo alcanzar los objetivos, y se basa en el conocimiento actual; (b) la utilidad, que estudia el grado en el que el diseño y la implementación permiten obtener resultados y herramientas que se pueden considerar valiosos y aplicables en otros contextos educativos; y (c) la confiabilidad, que permite establecer la medida en la que se puede confiar en el diseño, ya que la implementación es fehaciente con la propuesta planteada y se realiza de acuerdo con el diseño, así como los resultados de aprendizaje son los esperados, cumpliendo los objetivos establecidos, y permite reforzar empíricamente los principios de diseño en los que se ha fundamentado la propuesta (Tena y Couso, 2022).

En concreto, se ha optado por el estudio de caso al tratarse de un heurístico en su nivel más general como un enfoque que centra la atención durante el aprendizaje, construcción, descubrimiento o resolución de problemas. Se considera transparadigmático, es decir, relevante independientemente del paradigma de investigación, y transdisciplinario, al poder utilizarlo en cualquier área. Asimismo, involucra la delineación cuidadosa de los fenómenos para los cuales se están recolectando evidencias, entre ellos, eventos, conceptos, programas, procesos (VanWynsberghe et al., 2007).

El estudio de caso nos permite reflexionar sobre los registros tomados de la secuencia de actividades implementada con la finalidad de mejorar la comprensión de lo que dichos datos significan en torno a los aspectos seleccionados (Acher et al., 2007). Se trataría, por tanto, de una indagación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto de vida real, en el que los límites entre el fenómeno y el contexto no son claros (Yin, 2002). El poder de la investigación de estudio de casos de alta calidad se centra en el rigor, la validez y la fiabilidad (Hollweck, 2016).

El estudio de caso no requiere procedimientos específicos de recopilación de datos o proporcionar un plan de investigación concreto. Sin embargo, delinear la unidad de análisis resulta fundamental para construir la esencia del caso por lo que no es posible establecerla definitivamente al comienzo de la investigación, sino que debe ser enfocada a medida que avanza la investigación. Por otro lado, es destacable la posibilidad de realizar un análisis en profundidad como consecuencia del caso debido al tamaño pequeño de la muestra. Los estudios de caso se caracterizan por ser abordados en unas condiciones particulares o contextos determinados, donde la interacción en el aula se desarrolla naturalmente, reconociendo circunscribir las hipótesis a lo que ocurre

concretamente en los límites temporales y espaciales del caso, así como generar nuevas hipótesis. Por otro lado, utiliza habitualmente múltiples fuentes de datos que convergen en la investigación, facilitando la triangulación y resultados más precisos y permite que sean extensibles a otras situaciones (VanWynsberghe et al., 2007).

En nuestro estudio de caso narrativo, en relación con la perspectiva STEAM, se describen las conexiones binómicas entre los contenidos científicos especializados de cada una de las disciplinas integradas en el prototipo a través de los diferentes zooms en los diseños. En relación con las prácticas clave, se analiza si el diseño permite que el profesorado en formación reconozca la conexión entre la teoría y la práctica, y hacerlo consciente de la importancia de incluir las prácticas científicas como parte del proceso de enseñanza y aprendizaje. De esta manera, la puesta en práctica permitiría actuar sobre la incoherencia de lo que el profesorado en formación suele considerar y lo que podría hacer durante la enseñanza.

Finalmente, la implementación y evaluación del compromiso hacia las componentes emocional y cognitiva se abordará mediante una metodología cuantitativa descriptiva, no experimental, de tipo heurístico (Jiménez-Liso et al., 2020). Se realiza un análisis descriptivo de los datos recogidos sobre el conocimiento (mínimo, máximo, mediana, media y desviación estándar), así como un análisis de frecuencia para las diferentes emociones expresadas por los participantes. Además de los estadísticos habituales, los resultados serán sometidos a análisis estadísticos (SPSS), con objeto de determinar si existen diferencias significativas entre muestras independientes con la intención de identificar posibles relaciones entre conocimiento y emociones.

La tabla 2.2 permite relacionar las diferentes fases de la investigación basada en el diseño con las metodologías o estrategias, las muestras, los instrumentos de recogida de información y el análisis de datos realizado en cada investigación, así como su correspondencia con las publicaciones que componen la tesis doctoral.

Tabla 2.2 Elementos de la investigación

Fases	Artículo	Estrategia	Muestras	Instrumentos	Variables	Análisis de datos
Preliminar	1	Revisión bibliográfica	Artículos de investigación educativa	Análisis documental sobre el desarrollo histórico ácido-base y la enseñanza convencional	Concepciones alternativas, dificultades en transferir y aplicar conocimiento, comprensión del desarrollo de un modelo histórico	Descriptivo e interpretativo
	2					
Diseño	1	Diseño del prototipo	Artículos de investigación educativa	Análisis documental sobre los enfoques explícito e implícito de NdC	Elementos para el diseño (NdC y enfoques MBI) de secuencias	Descriptivo e interpretativo
	2					
	4		Profesorado UAL y UMU	Guía observacional		
Evaluación formativa	3	Estudio de caso narrativo	Alumnado de 3º de ESO	Guía observacional	Elementos para el diseño (Zoom en los diseños desde la perspectiva STEAM) y evaluación (prácticas clave) de secuencias	Descriptivo e interpretativo
Implementación y evaluación	4	Auto-percepción	Profesorado UAL y UMU	Autoinforme KPSI	Compromiso emocional y cognitivo	SPSS (mínimo, máximo, mediana, media, desviación estándar y diferencias significativas)

En este capítulo se han descrito los *objetivos* y *problemas de investigación* a los que pretendemos dar respuesta, así como las correspondientes *hipótesis* que han sido formuladas teniendo en cuenta los resultados de las investigaciones educativas previas disponibles. Asimismo, se ha definido la metodología de investigación basada en el diseño que ha permitido conducir el estudio abordado en la tesis doctoral en su conjunto. Los siguientes capítulos presentan los resultados de cada una de las *publicaciones* que componen la tesis doctoral.

Capítulo 3

Publicaciones I y II

3. Publicaciones I y II

3.1 Introducción

Innumerables situaciones de la vida cotidiana implican la utilización del conocimiento científico, junto con otras formas de conocimiento, para tomar decisiones sobre determinadas acciones. Es frecuente encontrar representaciones típicas de la ciencia en los medios de comunicación, problemas socio-científicos o afirmaciones científicas en nombre de expertos. En concreto, la presencia en la vida diaria de momentos en las que las personas deben usar conocimientos científicos sobre ácidos y bases son numerosas: alimentos ácidos o amargos, productos de limpieza que no debemos mezclar, control del agua de las piscinas o, recientemente, la utilidad del jabón para inactivar el coronavirus. Este conocimiento permite tomar decisiones sobre determinadas acciones que pueden implicar controversias sociocientíficas, por ejemplo, ante anuncios infundados sobre la salud, remedios caseros o la dieta alcalina, cuya relevancia justifica la presencia de estos contenidos en el currículo de secundaria, así como la necesidad de analizar su enseñanza y cómo mejorarla.

La enseñanza de los contenidos ácido-base suele concentrarse en el último curso de Bachillerato y girar en torno a los conceptos centrales de las teorías de Arrhenius y Brønsted-Lowry como ácido, base o neutralización. Ambas teorías se presentan habitualmente de forma simultánea y sin conectar con los fenómenos que pretendían explicar cuando se desarrollaron o con los problemas históricos que las inspiraron. De esta manera se pueden introducir ciertas inconsistencias que conducen a mezclar definiciones de las diferentes teorías (Gericke y Hagberg, 2010), generando o reforzando una gran variedad de dificultades de aprendizaje en el alumnado de secundaria. Por tanto, una formación para el profesorado específica en ácido-base que integre estos contenidos científicos con el conocimiento didáctico es esencial. Para lograrlo, es necesario diseñar secuencias de actividades relevantes para el alumnado y el profesorado que conecten estos conocimientos con los fenómenos cotidianos, con un enfoque de enseñanza que promueva, además, el conocimiento de qué es la ciencia y cómo se construye, objetivo principal de esta tesis doctoral.

El problema de investigación global de esta tesis doctoral (*¿Cómo diseñar, implementar y evaluar, en función de las dimensiones cognitiva, comportamental y emocional del compromiso hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base, secuencias de enseñanza por indagación y modelización para la formación inicial de docentes de secundaria?*) ha sido desglosado en diferentes subproblemas con la finalidad de analizar cuáles son los requisitos iniciales, así como las teorías subyacentes y las características del resultado esperado de una propuesta para la formación de profesorado en la enseñanza ácido-base, de acuerdo con la investigación basada en el diseño (IBD) (Romero-Ariza, 2014). En este capítulo se plantea la fase preliminar y diseño de la propuesta (Plomp, 2013), en la que se justificará la necesidad de abordar el problema de la investigación de diseño, a través de la definición de principios, elementos o herramientas de diseño (Castillo, 2022). En este sentido se ha realizado una revisión bibliográfica de las principales dificultades de aprendizaje del tema escogido y de propuestas que nos sirvan de punto de partida para nuestro diseño. También, como elemento epistemológico de diseño, se pretende dar respuesta al primer problema de investigación: *¿Cómo se podrían traducir los enfoques explícitos e implícitos de NdC utilizando el desarrollo histórico del dominio ácido-base en secuencias de actividades, que puedan ser utilizadas como referencia por el profesorado para desarrollar la competencia científica?* Nos centraremos en el análisis de algunas de las características de la intervención sobre el desarrollo histórico ácido-base a los efectos anteriores. Los artículos en los que se han publicado los resultados son los que se muestran a continuación.

3.2 Publicación I

El primer artículo ha sido publicado en la revista *Science and Education*. Agradecemos a la revista su autorización para reproducir en esta tesis doctoral la versión aceptada para su publicación.

María Rut Jiménez-Liso, Luisa López-Banet y Justin Dillon (2020). Changing how we teach acid-base chemistry: a proposal grounded in studies of the history and nature of science education. *Science & Education*, 29(5), 1291-1315. 10.1007/s11191-020-00142-6

La publicación final se encuentra disponible en:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-020-00142-6>

3.3 Publicación II

El segundo artículo se encuentra publicado por invitación de la revista “Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales”, por lo que agradecemos la oportunidad de habernos permitido difundir estos resultados, así como por reproducir su contenido en esta tesis doctoral.

María Rut Jiménez Liso, Luisa López Banet y Justin Dillon (2021). Cambiar la forma de enseñar reacciones ácido-base. Del modelo de Arrhenius al modelo de Lewis. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 103, 31-37.

La publicación final se encuentra disponible en:

<https://www.grao.com/es/producto/cambiar-la-forma-de-ensenar-las-reacciones-acidobase-al103100308>

3.4 Publicación en prensa

La propuesta realizada para traducir los enfoques explícitos de NdC en secuencias de actividades que sean de utilidad durante la formación del profesorado para desarrollar la competencia científica, y con motivo de la estancia internacional realizada bajo la supervisión de Pedro Guilherme Rocha dos Reis, en el Instituto de Educación de la Universidad de Lisboa, ha contribuido al diseño de otra secuencia que se encuentra incluida en otro artículo pendiente de publicación. Las características principales se encuentran descritas al final de este capítulo.

Por tanto, en la siguiente sección se presentan los artículos publicados, así como la secuencia planteada en colaboración con el profesor Pedro Reis durante la estancia correspondiente al doctorado internacional, que ha sido implementada durante la formación inicial del profesorado de Educación Secundaria de la Universidad de Murcia.

Changing how we teach acid-base chemistry: a proposal grounded in studies of the history and nature of science education

Maria Rut Jiménez-Liso¹, Luisa Lopez-Banet² and Justin Dillon³

¹Sensociencia Team. CEIMAR-University of Almeria. Spain ORCID 0000-0002-2175-1650 mrjimene@ual.es (Corresponding Author)

²Dpt. Science Education. University of Murcia. Spain ORCID: 0000-0002-1951-4242

³CRISTEME. University of Exeter. United Kingdom. ORCID: 0000-0001-5154-8306

Abstract

We propose explicit and implicit approaches for the teaching of acid-base chemistry based on research into the history and nature of science (NoS). To support these instructional proposals, we identify four rationales for students to understand acid-base processes: daily life, socio-scientific, curriculum, and history of science. The extensive bibliography on misconceptions at all educational levels justifies the need for a change from the usual pedagogical approaches to teaching the acid-base domain (traditionally involving conceptual-focused teaching) to a deeper and more meaningful approach that provides (implicitly or explicitly) a chance to reflect on how scientific knowledge is constructed. Controversial moments in science from 1923, when three researchers (Bronsted, Lowry, and Lewis) independently enunciated two theories from two different paradigms (dissociation and valence electron), underpin our first sequence with an explicit NoS approach for both lower secondary school and upper secondary or university levels. Our inquiry teaching cycle promotes the transformation of a hands-on activity (using cabbage as an indicator) into an inquiry, and subsequently, we use an historical model to propose a sequence of activities based on the modeling cycle of Couso and Garrido-Espeja for lower secondary school. Finally, we identify some implications for a model-focused teaching approach for upper secondary and university levels using more sophisticated models.

Keywords Acid-base; History of Science; Explicit-Implicit approaches; Inquiry; Modeling; Instructional Sequences

1 Introduction

Researchers in the area of the nature of science (NoS) often provide recommendations for teachers. It is usually suggested, directly or indirectly, that teachers should improve their knowledge about what science is and how it is constructed, so that they can transfer this knowledge to the classroom, transforming it into sequences of activities for their students. For example, Nouri et al. (2019) recommend a well-designed history of science (HoS) intervention to convey essential lessons about the NoS consensus described by McComas (2006) such as science depends on empirical evidence; cultural, political, and social factors influence science; or science has a tentative or fallible nature.

Many authors identify multiple potential benefits for learning NoS through such approaches: teaching scientific methods, challenging myths related to how science works, and differentiating between idealized scientific laws and observations (Niaz 2009). However, they also highlight that research involving rationales and strategies for teaching HOS is scarce and Nouri et al. (2019) recommend expanding science teacher educators' rationales for teaching HOS to inspire a broader array of orientations and teaching strategies. They also suggest paying special attention to instructors' orientation towards teaching HOS which may have an impact on their effectiveness.

Such recommendations usually arise from studies focusing on the benefits of NoS for students and research on what teachers think, their beliefs about NoS, or in a less declarative way and close to their educational reality, the connection (or otherwise) between this knowledge and what the teacher really does in their classes (Leden et al. 2015). One of those recommendations involves the design of NoS classroom activities: explicitly and implicitly (Duschl and Grandy 2013) and using reflective approaches to NoS teaching and learning. These approaches open up the range of possibilities for teachers. For example, proposing explicit general activities, linked (or not) to a specific issue of science content, to develop students' understanding of an aspect of the NoS consensus view (Lederman 2007; McComas 2006). Such an activity might involve the use of a mystery box to help students to learn about observation, interpretation, and argumentation (Cavallo 2007; Rau 2009). Another example involves scientific practices, such as the National Research Council's (2000) inquiry into the problem of the tsunami on the US West Coast or "Mrs Graham's" class which tackled the problem of leafless trees with explicit reflection such as metamodeling learning progression (Schwarz et al. 2009) on how science is built. In this paper, we use Garrido-Espeja and Couso's (2017) definition of a model which is a "small number of big or core ideas (Harlen 2010) that have the potential to explain a lot of different phenomena (Izquierdo-Aymerich and Aduriz-Bravo 2003), such as the particle model of matter" or, indeed, the chemical change model.

Implicit and explicit NoS teaching approaches (Duschl and Grandy 2013) have a place in the high school science curriculum (12–18 years old) because an initial study of what science is is often included. At the same time, in chemistry courses, some topics such as atomic structure, the periodic table, or acid-base are often introduced through their

historical developments. This history of chemistry topics present in curricula allows the design of authentic scientific practices (implicit approach Burgin and Sadler 2016).

The content overload in the Spanish science curriculum forces some teachers to dispense with developing the initial lesson about what science is and how it is built or with spending more time in deepening these NoS aspects when working on some historical development present in the curriculum, i.e. atomic structure, periodic table, etc. Thus, before deciding the approach on explicit or implicit teaching, the first teacher decision is to develop or omit this initial NoS lesson and the second is to decide whether to deepen or not the historical developments present in the curricula.

We turn now to address the issue faced by teachers: how to translate these NoS teaching approaches to sequences of activities on a specific topic? In this theoretical article examining teaching practice, we want to focus on the historical development of acid-base theories (Arrhenius, Bronsted-Lowry and Lewis) to analyse the steps to follow to design sequences of activities for different NoS approaches.

2 Objectives and Purposes

The main objective of this paper is to translate the explicit and implicit NoS approaches using the historical development of acid-base domain into activity sequences that can be used as a reference by teachers. In the next section we will outline the importance of teaching the topic of acids and bases because we understand that the first decision for a teacher is whether to spend time on the historical development of the acid-base domain present in chemistry curricula at secondary level, high schools and university level (in analytical and inorganic chemistry subjects).

Finally, we discuss how to design sequences of activities. We examine conventional teaching approaches to the topic and its consequences in terms of students' alternative conceptions and their difficulties to transfer and apply knowledge and to recognize acid-base models' limits of applicability. In this section, we will use research results (our own and others) from assessments of high school students, university students, both undergraduates and postgraduates, and pre-service teachers to show the common acid-base teaching (concept-focused teaching) approach and its consequences.

These discussions and an acid-base historical development (timeline in Section 4) will help us to analyse the current situation in order to scaffold the design of sequences of activities utilizing different NoS approaches:

1. We will propose NoS sequences with an explicit approach through controversial moments of the acid-base historical development for both lower secondary school and upper or university levels;
2. We will transform a hands-on activity (using cabbage as an indicator) into an inquiry for lower secondary level (Section 7.1) and from it;

3. We will propose a modeling sequence based on the modeling cycle of Couso (2020) and Couso and Garrido-Espeja (2017) using an historical model (Erduran 2001) for the same level (lower secondary school);
4. We will identify some implications about a model-focused teaching for upper secondary and university levels using more sophisticated models.

Finally, we will discuss the change in teachers' awareness of a model-focused teaching approach that extends and gives meaning to the usual concept-focused teaching. In short, in this paper, we are constructing a science teaching learning progression in a theoretical manner (Schneider and Plasman 2011) to build models using the history of acids and bases as a theme which could be used as a reference by teachers in their professional practice.

3 Why Teach the Topic of Acid-Base?

Acid-base chemistry is a traditional topic in high schools and universities. Key concepts are presented in analytical and inorganic chemistry subjects in virtually all Spanish and British universities. Acid-base processes also appear in other subjects such as ionic equilibria and chemistry lab work. In these subjects, they are often referred to as “acid-base reactions”, “acidbase titrations”, “ionic solutions”, and “acid-base theories”.

We have identified four categories of rationales why students need to understand acid-base processes: daily life; socio-scientific; curriculum; and HoS argument. We now discuss each in turn, briefly.

Acids and bases are commonly recognized by students and the general public. People know about acidic sweets, stomach acidity, antacids, etc. (Cros et al. 1986, 1988). Words such as “acid” and “neutral” are used in some TV advertisements (“Fairy is neutral and protects your hands”; “Johnson’s pH 5.5 has natural pH”). Nevertheless, understanding of acid-base concepts is still limited. Furthermore, the use of scientific concepts is increasing and highlighted in advertisements to show products both as beneficial or a matter of trust despite misunderstanding of scientific concepts (Jiménez-Liso et al. 2000). Thus, some acid-base contents are necessary to understand the phenomena encountered in *daily life*.

Pseudoscientists take advantage of the lack of awareness of the population about scientific expressions using it to promote “scientific credibility” to their unfounded proposals of health and home remedies. Poor science is common in advertisements about cosmetics and cleaning “with pH” products, all sorts of diets and foods that reduce acidity in your body to prevent or treat cancer, etc. Those adverts can serve us as a context to raise *socio-scientific controversies* (Evagorou and Osborne 2013; Sadler and Zeidler 2009) about medicalization (Domènech Calvet et al. 2015) or alternative treatments (Uskola Ibarluzea 2016).

Although acids and bases are encountered in students' daily life (and social networks), they are rarely taught well at primary school level. For example, in the Spanish primary school *curriculum*, chemical reactions are only exemplified through oxidations, combustions, and fermentations, with no mention of acid-base reactions. However, if combustion and oxidation are the most used examples of chemical changes, they lead to the establishment of some alternative conceptions such as "all chemical changes are irreversible" (Stavridou and Solomonidou 1998) or "mass is not conserved in chemical reactions" (Stavy 1990). Not surprisingly, some alternative ideas held by students closely match ideas held by people studying science many centuries ago (Wandersee 1986).

The curriculum rationale could be reinforced by the history of science rationale: the knowledge of historical models (Justi and Gilbert 1999a) and the context in which they were formulated could improve understanding of acid-base models, their limitations, and, as a consequence, the conditions required to select each model (Erduran 2001).

Taken together, these arguments justify why teachers need to develop acid-base content in their chemistry curriculum. In the next section, we justify why current acid-base teaching might be changed in order to improve understanding of scientific content.

4 Acid-Base Historical Development

Historical aspects of acid-base domain could constitute an educational resource of great relevance to prevent students seeing science as a finished product and to appreciate how some theories and explanations are provisional. For instance, the acid-base historical development would allow teachers to discuss with their students the limitations of each of the acid-base theories and why they were used in the past or still are used (Alvarado et al. 2015).

In this paper, we use three famous acid-base theories (Arrhenius, Bronsted-Lowry and Lewis), although the historical development of the acid-base domain is as long as the history of chemistry itself. Figure 1 represents a timeline of the acid-base domain showing links with the chemical change models presented by Justi and Gilbert (1999b) and also with some acid-base models reviews (de Vos and Pilot 2001) or history of science books (Taton 1957, 1959; Taton and Goupil 1961).

The historical development of a domain is usually introduced to students in a very condensed manner in order to focus on the last, the most useful or the longest surviving acid-base theories. In this first part of the paper, we only use acid-base "theories" as it is commonly called, but from Section 6, we will be called acid-base "model" to focus on the explanatory and predictive power of the models. This timeline could be a good illustration of the historical development of ideas which is broader than that usually presented to the students. On the left side of the timeline, we use the term pre-model (Justi and Gilbert 1999a) to indicate that an acid-base classification does not have to be explanatory.

In order to understand scientific models, we need to appreciate that they have been constructed to explain and predict phenomena, so the models are more than a descriptive account of the material world. In this sense, acid-base historical models are a good opportunity to understand how change has taken place in the scientific models over time.

Many of the situations where people encounter science involve the use of scientific knowledge, alongside other forms of knowledge, to reach decisions about action. This is often the case for lay people, who typically find science through media portrayals of socio-scientific issues, or through consultations with experts such as medical practitioners. Lay views of science tend to portray such issues as being easily resolved through simple empirical processes (e.g. Driver et al. 1996). This position, however, is often not sustainable, as illustrated by the following examples.

An example of science in the media is the case of enhanced global warming as a result of increased levels of carbon dioxide in the atmosphere due to the combustion of fossil fuels. It is not difficult to find widely different predictions in the media about the likely environmental impact of the burning of fossil fuels. These differences in predictions are based upon the application of models of the atmosphere. Resolving those differences involves a complex interplay between models, empirical evidence and methodological expertise. Understanding how such differences arise, and why they cannot be resolved quickly and simply, involves understanding something about the use of models.

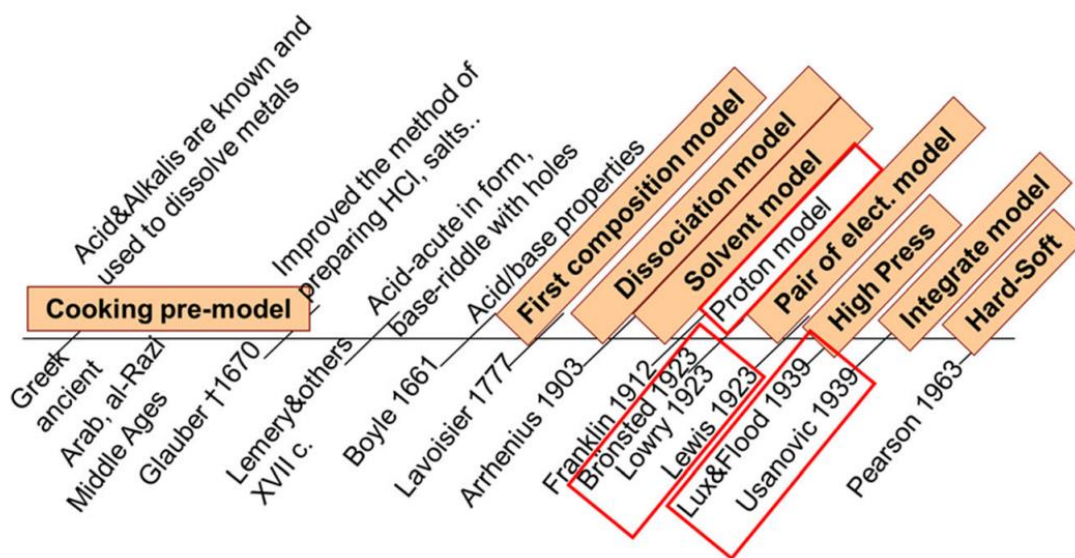


Fig. 1 Acid-base timeline

It is not only lay people who encounter science in situations that are characterized by uncertainty. Many experts will be faced with situations where scientific knowledge has to be drawn upon, alongside other considerations, to inform decisions about action in novel situations. A sad and recent example is the current scientific/political/cultural environment with COVID-19. The academic literature now includes several accounts of how experts have to create new knowledge in order to answer questions that emerge in specific situations. Another, much older example, is Brian Wynne's account of how

experts had to develop new knowledge about the impact of pollution following the Chernobyl accident impacting upon the milk produced by sheep which grazed on the Cumbrian fells (Wynne 1989). In order to appreciate why the available scientific knowledge may be inadequate to inform action in specific, local conditions, such experts need to understand something about the nature of models in science. So, to summarize, it is necessary to teach models at university level to make the following points:

- In order to have a sophisticated understanding of the conceptual content presented to them in chemistry degree programmes, students need to have some understanding of how the models are built.
- In addition, if the students develop this understanding of the nature of models, it may enable them better to understand situations involving uncertainty, whether as educated citizens, or if they go on to become professional scientists, in their professional practice.

These general arguments about teaching models can be exemplified in the case of acid/base models.

5 Conventional Acid-Base Teaching

Conventional chemistry teaching might begin with questions such as “What is an acid?” or “What is a base?”; “What happens when an acid is added to a base, and vice versa?”; “What does pH mean?”; “Is it always possible to reach pH=7 when an acid is added to a base?” Conventional teaching shows some concepts from Arrhenius and Bronsted-Lowry’s theories that we summarized in Fig. 2.

It is possible to recognize some differences between both theories in relation to considering acids and bases as substances (Arrhenius) or as the conjugated acid-base pairs (Bronsted-Lowry). As is normally mentioned, Arrhenius’, Bronsted-Lowry’s, and Lewis’ theories are usually presented together (Tarhan and Acar Sesen 2012). Acid-base *theories* are introduced in the style of a short story without any connection with the phenomena they want to explain or with the historical problems that inspired them.

By teaching these acid-base theories together we expose the combination of the acid-base concepts (acid, base, neutralization, etc.) of the three theories without appreciating a significant advance between them, which for many students could mean only a terminological change. Teachers (and textbooks) usually say that “Bronsted-Lowry extend the definition of acids and bases” (Nyachwaya 2016, p.510) given by Arrhenius. In this sense, Arrhenius’, Bronsted-Lowry’s and Lewis’ models are often presented several times in chemistry programmes, introducing some inconsistencies in their presentation that lead to “hybrid models” (Justi and Gilbert 1999a) and some concepts and their definitions are mixed in two or more models (Gericke and Hagberg 2010).

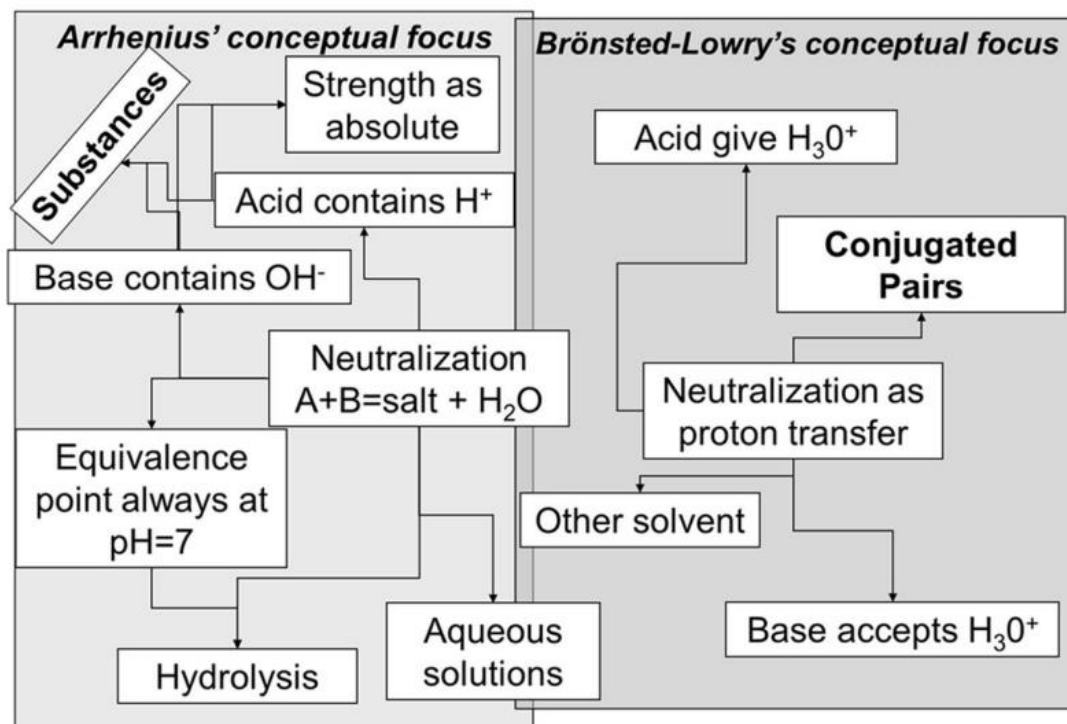


Fig. 2 Arrhenius and Bronsted-Lowry's conceptual focus

The science education literature is replete with examples of the consequences for students' learning of this typical way of teaching acid-base content focused on the definition of its concepts and with two or three *theories* introduced simultaneously. In the next sections we will use a review of research results (our own and others) on the understandings of high school students, university students (both undergraduates and postgraduates), and pre-service teachers in order to design some proposals focusing on two approaches, one NoS explicit and the other NoS implicit (Sections 6 and 7 respectively).

5.1 Consequence I: Students' Alternative Conceptions

There have been a number of studies into students' misunderstandings of acid-base phenomena (for example McClary and Bretz 2012; Nyachwaya 2016). Many students have difficulties in learning acid-base concepts and the presence of alternative conceptions (Hoe and Subramaniam 2016) can interfere with their understanding. For instance, students think that acids alone are associated with corrosiveness (Demircioğlu et al. 2005; Hoe and Subramaniam 2016; Özmen et al. 2009) and are more dangerous and reactive than bases (Hoe and Subramaniam 2016; Nakhleh and Krajcik 1994; Sheppard 2006). They also think that rain water in an unpolluted area is neutral or the solution formed after adding an acid and a base is always neutral (Banerjee 1991; Hoe and Subramaniam 2016; Scerri 2019; Schmidt 1991). As Quílez (2019) points out, many of these misunderstandings come from students' terminological difficulties. Therefore,

students do not understand why the degree of acidity or basicity of two acidic or basic solutions is different, although they have the same concentration (Alvarado et al. 2015). Moreover, a superficial correlation of chemical structures with acidity or basicity may explain why students believed that compounds containing H will produce H^+ and compounds containing OH will produce OH^- (Demircioğlu et al. 2005; Hoe and Subramaniam 2016).

Besides, the belief that a stronger acid is either the one that produces a higher hydrogen ion concentration, or that has more H in the formula, or an acid with a higher initial concentration (Demircioğlu et al. 2005; Hoe and Subramaniam 2016; Özmen et al. 2009; Ross and Munby 1991), reveals that students do not apply correctly the definitions of strong and weak to acids and bases (Garnett et al. 1995; McClary and Bretz 2012) and both equilibrium and incomplete dissociation of acid and bases are not considered. Similar problems are found with students' understanding of bases (Hoe and Subramaniam 2016).

Another issue is that students do not totally differentiate between the terms acidity and pH (Alvarado et al. 2015); they do not consider pH is providing information about both the H^+ and OH^- concentrations (Garnett et al. 1995), and show either a lack of consideration about the influence of variables such as the temperature or the solvent, using strength and concentration as if they were synonymous or having problems when they must differentiate between an acidbase reaction and a neutralization reaction (Alvarado et al. 2015).

Many of those alternative conceptions are consistent with students using the theory in other contexts to which Arrhenius proposed it. In the next subsection, we are going to look deeper into the difficulties linked to transferring knowledge to new situations or to recognizing the limits of each of the acid-base *theories*.

5.2 Consequence II: Difficulties in Transferring and Applying Knowledge

Based on our own results in the Spanish context (Author 2000), the consequences of acid-base conceptual teaching for both undergraduate and postgraduate chemistry degree students become evident due to (a) students' difficulties to transfer knowledge and (b) the problems recognizing the limits of applicability of acid-base theories:

- (a) *Transference of knowledge to new situations*. Despite having been taught about acid-base concepts many times, undergraduate university students ($n = 450$) from three Spanish universities showed weaknesses in their abilities to recognize an acid-base process and the proportion giving the correct answer decreased when the complexity of the theory applied increased:
- Most students (78%) recognized a proton transfer process as Bronsted's model.
 - 26% recognized the autoprotolysis of solvents (SO_2) as an acid-base process.
 - Only 12% considered the electron transference as in Lewis' process.
 - Less than 2% of the students applied all three theories.

Some Spanish university students explained that an electron transfer process (Lewis' model) or an autoprotolysis of solvents (SO_2) is not an acid-base process, for example, "It is not an acid-base process", "It is a redox process", or "It is not an acid-base process because there isn't H^+ or OH^- or H_3O^+ ". Thus, as in many occasions mentioned by other authors (Drechsler 2007; Drechsler and Van Driel 2009; Zoller 1990), the Bronsted-Lowry acid-base process is more recognized by students than other acid-base models. For us, this result is evidence that the university students did not transfer their knowledge about acid-base acquired to new situations, for example, the Lewis' acid-base electron transferences.

(b) *Applicability of acid-base models.* As a consequence of the previous result, it was expected that most of the graduates in their secondary education teacher Civil Service examination would cite Arrhenius', Bronsted-Lowry's, and Lewis' models (data from research on 50 exams). Nevertheless, in approximately 15% of the cases, the description was wrong. Only 52% of the candidate teachers identified the boundaries of Arrhenius' model, three-quarters made no comment on the limitations of Bronsted-Lowry's theory, and none recognized that there might be limitations in Lewis' theory and what they explicitly consider is the currently accepted one (Jiménez-Liso 2000), similar to the results founded by Yalcin (2011) with Turkish candidate teachers. Previous omissions of the limits of applicability of the different acid-base theories are worrying as regards that, if they passed this exam, they would be qualified as secondary education teachers in Physics and Chemistry. They do not usually follow any continuous professional training as teachers, a fact that also occurs in other countries such as England, France, Finland, and Cyprus, and could affect the quality of teaching and the improvement of the education system (Evagorou et al. 2015).

Teachers must have knowledge about teaching scopes and limitations of different acid-base models; nevertheless, most of them had not developed teaching strategies for this issue and only a few teachers said that they usually discussed the use of models of acids and bases in their teaching (Drechsler and Van Driel 2008). Although they recognized some difficulties of the students such as confusion between models, only a few emphasized the different models of acids and bases (Alvarado et al. 2015; Drechsler and Van Driel 2008). Moreover, despite some teachers believing that most students do not understand the use of models, they tried to teach it anyway in order to help the best students in their learning, hoping other students understand that simple models are not the whole truth (Drechsler and Van Driel 2008).

5.3 Consequence III: Misunderstanding About the Development of a Historical Model

By presenting two or three theories together, the Lewis and Bronsted-Lowry definitions are just that—definitions—and the validity of one of them does not automatically negate the other (although it may expand the set of substances which are classed as acids). The conceptual focused teaching mentioned above is insufficient because it comes from a purely theoretical perspective without any kind of application, reduced to the definitions instead of containing a clear explanation of their development (Cid Manzano and Dasilva Alonso 2012) and of the problems or phenomena that gave rise to new ideas.

The three favourite acid-base theories are presented as a collection of “agreed upon facts”, so students memorize them without questioning their relationship with other scientific knowledge (Justi and Gilbert 1999a), and focusing on the products rather than on the processes of science.

There is clear evidence that many problems learners have arisen from acid-base theories confusion. When several theories of acid-base are presented together to students the scope to produce confusion is expanded, above all if most learners have a very limited notion of the role of models in science (Driver et al. 1996; Grosslight et al. 1991; Taber 2001).

The role of a model in science is related to developing a scientific understanding of some phenomena, explaining them and predicting other related phenomena, then applying the new knowledge to novel situations or contexts (Izquierdo-Aymerich and AdurizBravo 2003; Oh and Oh 2011). So, the reason for explaining three (or more) acid-base theories together is not related to scientific understanding of the phenomenon. The reasons for introducing the three most used acid-base models together appears to be twofold: firstly, conceptual survival (a concept from past chemical curricula that is retained in modern chemical curricula) and, secondly, to show the history of a chemistry concept in a narrative manner. Thus, the emphasis is focused on the differences between each concept, a fact that does not promote a proper understanding of science, instead of comprehending the conditions when the models were built and, consequently, the limitations they have. No advantage is taken of the opportunities to get the students to reflect on the nature of science through the history of acid-base theories. On the contrary, they usually develop a distorted image of science itself and of how it is carried out.

Before we discuss teaching acid-base models in the chemistry curriculum, it is necessary to clarify terminology. Acid-base concepts, definitions, theories, and models are often used as synonymous. Students' mistakes often arise due to the ambiguous use of the terminology (Jiménez-Liso and de Manuel Torres 2002). To avoid this difficulty, we have adopted acidbase models as the correct terminology to refer to the models that explain and predict phenomena proposed by Arrhenius, Bronsted, and Lewis, because we understand that the theories in which they are included are the ionic dissociation theory, solvents theory, and valence electron theory respectively.

Considering that curriculum materials shape teachers' practice and characteristics (as their knowledge or beliefs) and students' opportunities to learn in science (Davis et al.

2016; Pareja Roblin et al. 2018), in the next section, we try to identify activity sequences, firstly with an explicit NoS approach using the timeline of the historical development acidbase models.

6 Explicit Approach to NoS Teaching

As Burgin and Sadler (2016) mentioned, the prevalent model for teaching NoS in school has been referred to as the explicit/reflective approach (Lederman 2007). In this approach, the priority object of study is to teach the great consensus about the nature of science (tentativeness, creativity, ...) to avoid the main distorted views of science. Typical activities using this approach are discussions about a “paper towel investigation”, about the “card exchange” (Cobern and Loving 2002), or about historical cases (readings or movies) (Aduriz-Bravo and Izquierdo-Aymerich 2009; Moreno et al. 2018) and scientific errors (Kipnis 2011) as a particular historical case or some historical controversies (Niaz 2009). All of these strategies for teaching are linked to some rationale, to educational purposes (Nouri et al. 2019). The acid-base timeline (Fig. 1) could link with the next curriculum purposes for specific educational levels (Table 1). More interesting than improving acid-base content understanding are the opportunities to advance the understanding of nature of science content using certain moments of the acid-base timeline, for example, the story of what happened with acid-base models in 1923.

In 1923, Bronsted and Lowry proposed their explanations about acid and base behaviour. Both knew Arrhenius’s model (1903) and a less famous one today: the solvent-solute model proposed by Franklin (1905). Some 21 years later, two researchers independently proposed a particular case of solvent model (proton model) where the water acts as solvent and its autoprotolysis as definition of acids (proton donor) or bases (accept protons).

Table 1 Opportunities to improve the understanding of scientific content using acid-base historical models (or pre-models)

Model	Possible curriculum purpose	Educational level
Greek Ancient; Middle Age, for example, Al Razi (XVII c); Glauber (†1670) Cooking pre-model (or Craft model in terms of de Vos and Pilot 2001)	Practical purposes: observations, classifications... To increase the experiential knowledge of students about the acid-base behaviour	Primary level
Anthropomorphic model as is described by Justi and Gilbert (1999b) Sour-acid salt is a simple body, acute in form, that	To link with chemical change models expressed by students and with school science models such as “parts model” described by Acher et al. (2007b) and	Lower secondary level

<p>ferments with alkalis and constitutes the essence of all mixtures. Acrid salt is a simple salt, with holes, that ferments with acids. Lemery's model on XVII c. (Taton 1964)</p>	<p>their pivotal ideas like transformations and conservation of "parts"</p> <p>To distinguish dilution (colour fading) and neutralization (Erduran 2007; Erduran and Kaya 2019, p. 40)</p> <p>To explain the colour of a homemade indicator in the presence of an acid or a base and their change with the mixed using drawings</p>	
<p>Affinity model based on acid-base properties. This model overcome the antagonism between acid and alkali (in opposition to the idea that acid was the universal agent) by Boyle in XVIIth century</p>	<p>Chemical change as substantial change: acid-base properties can help students to recognize different substances before or after a chemical change (Dominguez-Sales et al. 2007; Furió-Mas et al. 2007)</p>	<p>Lower secondary level</p>
<p>Lavoisier model (1775) or Priestley model (1772): first composition models (de Vos and Pilot 2001) called as synthesis context</p>	<p>Linked with Lemery's model could be a good introduction for a simple chemical formulation</p> <p>The introduction of these models is needed as a first conception to form the basis for an explanation of both the limitations in their applicability and also the advantages of the following models (de Berg 2011, 2014)</p>	<p>Since lower secondary level</p>
<p>Dissociation model (from dissociation theory) by Arrhenius (1903)</p>	<p>To link with Lemery's model, to introduce the "submicroscopic" level in chemical change and to explain other phenomena that are impossible with Lemery's model (i.e.</p>	<p>Since lower secondary level</p>

	<p>effervescence (Drechsler 2007; Jiménez-Liso et al. 2018)</p> <p>It is important that students recognize that, in this model, acid, base, neutralization, and strength are absolutes. A substance is an acid because it contains H⁺, independently of what it reacts with</p>	
Solvent model (based on solvent autoprotolysis; Franklin 1905).	The main purpose of this model is not to identify acid-base processes with aqueous processes	University level
Proton model (based on water autoprotolysis) given by Bronsted (1923) and Lowry (1923) independently	<p>It explains all the phenomena and events in chemical analysis (i.e. titrations)</p> <p>It introduces the concepts of equilibrium, reversibility, and the idea that acid, base, and strength are relative</p>	Upper secondary level
Pair electron model (based on electron valence theory of Lewis 1923)	<p>This model involves a big jump from the previous model. It needs a paradigm change from proton model to electron model</p> <p>At university level, is necessary linking this model to electron valence theory, to molecular structure, to covalent bond, etc. (Tarhan and Acar Sesen 2012)</p>	Upper secondary level
High pressures model (for reactions in high pressure such as on geological process) given by Lux and by Flood independently (1939)	Important to explain some geological phenomena (Ottonello and Moretti 2004).	University level (chemistry or geology degrees)

Integrate model (electron is interchanged, this model includes all chemical reactions like the acid-base process) (Usanowitsch 1939)	The sole meaning of this model is to show that there is only one chemical change theory (and different models). All the chemical reactions (redox, acid-base) are included in this model.	University level (chemistry degrees)
Hard-soft model (HSAB) by Pearson in 1963 Thermodynamic parameters of HSAB model by Drago in 1966	Based on Lewis' model, giving it a criterion about strength very it is most useful to organic chemical mechanism	University level (chemistry degrees)

We can use the original papers from Bronsted, Lowry, and Lewis to help them to answer the next questions that we can ask to our high school students (or university students):

– Why does emerge a limited model (proton model, Bronsted-Lowry model) after a broader model (Franklin model)?

We want to scaffold “the epistemic value of simplicity, referred to as Ockham’s razor, meaning that the simplest applicable model is the most elegant and the best” (Rollnick 2019, p. XIV). The solvent model proposed by Franklin (1905) was known by Bronsted and Lowry but they only used the water as solvent, so for solving their problems, they did not need a broader model and they specify it on a model more simple but more useful. In fact, it is the most widely used and known today because most acid-base reactions are aqueous.

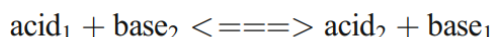
– A Danish researcher (Varde, Denmark) (Bronsted 1923) and the same year that (Lowry 1923) from Bradford (UK) propose the same proton model, how do you think it was possible for two researchers in different countries (without knowing each other) to propose an identical model?

Perhaps in our digital era this scenario is unthinkable: Two researchers producing identical researches without any previous contact, but in 1923, they heard from each other when they read the papers already published in two different journals. The scientific community recognized the merit of both of them and, thereafter, their model was named Bronsted-Lowry. What circumstances led both to propose the same theory? Bronsted (1923) started from the dissociation electrolytic theory of Arrhenius, which initially does not call into question his idea of acid ($A \rightarrow B + H^+$) and for which he tries to find a better definition of base: “It is the purpose of the present small contribution to show the advantages that come from a modified definition of a base” (Bronsted 1923, p. 718), specifically the difficulties in explaining the basicity of ammonia:

If we accept scheme ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH}$), as a suitable expression for characterizing bases, we will be forced to give a special definition of a base for each special solvent. However, in principle, acid and basic properties are independent of the nature of the solvent, and the concepts of acids and bases are in fact of such a general character that we must consider it a necessary requirement of these concepts in general to formulate a pattern independent of the nature of an arbitrary solvent (Bronsted 1923, p. 719)

and ends by concluding:

The equilibrium formulated in scheme (1) between hydrogen ion and the corresponding acid and base can be called a simple acid-base equilibrium. By mixing two simple systems, a double acid-base system and an acid-base equilibrium result that can always be formulated as follows:



This equilibrium includes a number of important reactions such as neutralization, hydrolysis, indicator reactions, etc. (Bronsted 1923, p. 728)

On a different path, Lowry (1923) knew the electron valence theory of Lewis (1923) and relied on it to distinguish two types of chemical affinity (polar and non-polar) and their links in organic and inorganic substances, which led to the need of proposing H_3O^+ as what is exchanged in acid-base reactions overcoming Arrhenius H^+ proposal, the difficulty of the basic character of NH_3 and the relative character of strong or weak acids depending on which substance they react with (Fig. 3).

– With the previous knowledge, students are willing to answer one last question: How do you think two models emerged in 1923 from three different people working independently and in different paradigms (proton or electron paradigms)? 1923 was a good year for the acid-base historical development. Lewis (1923) also raised his electron model (Fig. 4) under a totally different paradigm (based on his electron valence theory) and to solve a problem not contemplated by his contemporaries: acid-base behaviour in reactions without solvent, for example, in gas reactions.

Discussing with upper secondary students (or university students) these acid-base moments of a broad timeline, we could challenge the accumulative-linear and erroneous image of science.

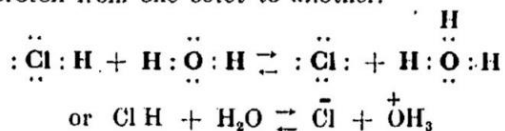
For university chemistry or geology degree students, similar questions could be posed using the 1939 and Lux-Flood models for reactions in high pressure such as on geological process (without any dissolution). And also for university chemistry students (pre- and post-graduated), another interesting controversy could be the qualitative and quantitative chemical approaches (Chamizo 2018) between Pearson (1963) who proposed empirically his hard and soft acid-base model and Drago (1973).

7 Implicit Approach to NoS Teaching

7.1 Inquiry-Based-Teaching Proposal

Barrow (2006) described inquiry firstly as an epistemic practice (Kelly 2008), secondly, as scientific skills that students should develop, and finally as a teaching approach. We remain with this last meaning of inquiry to propose an instructional sequence of activities. As there are a multitude of research proposals (Pedaste et al. 2015), we have specified our teaching approach in a cycle (Fig. 5 in orange) to connect it with the modeling cycle (Fig. 5 in green) proposed by Couso (2020) and Couso and Garrido-Espeja (2017).

The effect of mixing hydrogen chloride with water is probably to provide an acceptor for the hydrogen nucleus so that the ionisation of the acid only involves the transfer of a proton from one octet to another.



5. A base is best described as an acceptor of hydrogen nuclei. Even in the case of strong acids the addition of water, acting as an acceptor, is needed in order to develop acidity. A basic acceptor is also needed to promote the migration of a hydrogen nucleus in nitro-camphor and in the two forms of ethyl acetoacetate.

Fig. 3 Extracts from Lowry's (1923) paper (pp. 44 and 47)

In the acid-base domain, reactions can be followed with indicators from daily life such as red wine. When we use the red cabbage as an acid-base indicator, we generally emulate Boyle's descriptive pre-model in order to recognize the acid-base nature of some daily life products. In this way, we create (as Boyle did) a classification of acid, neutral, or basic substances.

We transform these hands-on activities about the acid-base classification to an inquirybased teaching where the steps will be easily recognizable by our students so that they become aware of how they have learned (learning and emotions self-regulation) and, therefore, can make an explicit debate about the phases of the inquiry, how they help to learn, and what emotions they felt during this sequence (step 7 in cycle orange, Fig. 5).

To do this, we begin with a familiar problem (chewing gum TV advertisement- <https://youtu.be/s9mODx3eru4>- *stops the acid attack, strengthens the tooth enamel and helps to keep your teeth strong and healthy* while in the image we can show that raise the pH of the mouth to prevent the formation of cavities (JiménezLiso et al. 2018) that engages students to explain their personal ideas: *chewing gum is the opposite of acids generated by food in the mouth, the TV ad does not tell the truth and the gum does nothing, warms and destroys the acids, more saliva is generated or the gum traps the remains of food*. The key moment in this sequence is the students' proposals for designs of experiments that allow them to find evidence to confirm or reject their hypotheses.

The experimental designs raised by our students facilitate the discussion about the usefulness of the designs (what did they measure? With what did they check?). For instance, some students proposed to put some food in a glass with water (to simulate the mouth) along with the gum and measure with pH paper, to which another group responded that they did not check the “before” and the “after” adding chewing gum, that is, the effect of chewing gum. Others suggested sucking pH paper after eating and again after chewing gum (López-Banet et al. 2021).

Taking measurements with a pH meter can be a conflict for the students with their expectations, both because the chewing gum does not raise the pH of the acid-dissolution (mouth simulation) and neither does adding water (dilute). This opens the option of deepening the mathematical conflict that involves a linear scale (pH values of 1–14) versus a logarithmic scale (which means pH) asking how much water would be necessary to raise the value by one point (López-Banet et al. 2021).

142 VALENCE AND THE STRUCTURE OF ATOMS AND MOLECULES

up hydrogen ion would be more general than the one that we used before, but it will not be universal. Another definition of acid and base in any given solvent would be the following: An acid is a substance which gives off the cation or combines with the anion of the solvent; a base is a substance which gives off the anion or combines with the cation of the solvent. So potassium amide is a base in ammonia, while potassium chloride would likewise be called a base in liquid hydrochloric acid.

Even this very broad definition is not entirely satisfactory. We are inclined to think of substances as possessing acid or basic properties, without having a particular solvent in mind. It seems to me that with complete generality we may say that *a basic substance is one which has a lone pair of electrons which may be used to complete the stable group of another atom*, and that *an acid substance is one which can employ a lone pair from another molecule in completing the stable group of one of its own atoms*. In other words, the basic substance furnishes a pair of electrons for a chemical bond, the acid substance accepts such a pair.

Fig. 4 Extract from electron valence theory book (Lewis 1923, p. 142)

However, as Osborne (2014) mentioned, hands-on activities, such as the acid-base classification using red cabbage indicator, are not normally accompanied by an interpretation or explanation of the phenomena. In our inquiry-based sequence, students built essential descriptive knowledge (acid-base reactions vs dilution with water or saliva) so that they now recognize the need to seek an explanatory model perfect to start the modeling cycle (Fig. 5).

7.2 Model-Focused-Teaching Proposal for Lower Secondary Level

The use of red cabbage as an acid-base indicator, often carried out by students aged up to 16 years old, is not accompanied by its possible explanation using models, keeping the explanation for higher levels (16–18 years old and university level). In this sense, the first introduction of an explanatory model is presented for 16–18-year-old students and, generally, Arrhenius or Bronsted-Lowry's model is used to present acid-base processes disconnected from those activities carried out (or not) during previous years (Jiménez-Liso et al. 2010). Therefore, if we focus the contents exclusively on the phenomenon and the identification of substances, we are only increasing the students' experiential field, but not their ability to explain phenomena they observe or to foresee what is going to happen in new situations.

Some hands-on activities about properties of acids and bases emphasize the teaching and learning of chemical knowledge through models and modeling by the formulation, evaluation, and revision of chemical models. When we ask students to express what they think happens “inside” by adding a base to an acid and observing changes in the colour of the indicator or changes in pH values, their initial models are unsatisfactory for some explanatory reasons (steps 1 and 2 in modelling cycle; Fig. 5 in green; Couso 2020; Couso and Garrido-Espeja 2017). Students may have difficulties when it comes to expressing these initial models through drawings, most often represent non-explanatory circles, and only some of them point differently to acids or bases indicating that it is acidic when acids “predominate” over the bases and vice versa (López-Banet et al. 2021). Despite these difficulties of the students in explaining “what happens inside”, we cannot consider these initial models as students' alternative conceptions described in Section 5.1 for two reasons: firstly, students' alternative conceptions were the product of punctual and “academicist” knowledge and, secondly, the difficulty for the initial models to be explanatory is the initial step to become aware of the need to build a model, that is an idea that helps explain a phenomenon (change of colour of acid-base reactions with indicator) and to predict new ones (for example the bubbles when we add bicarbonate to the vinegar).

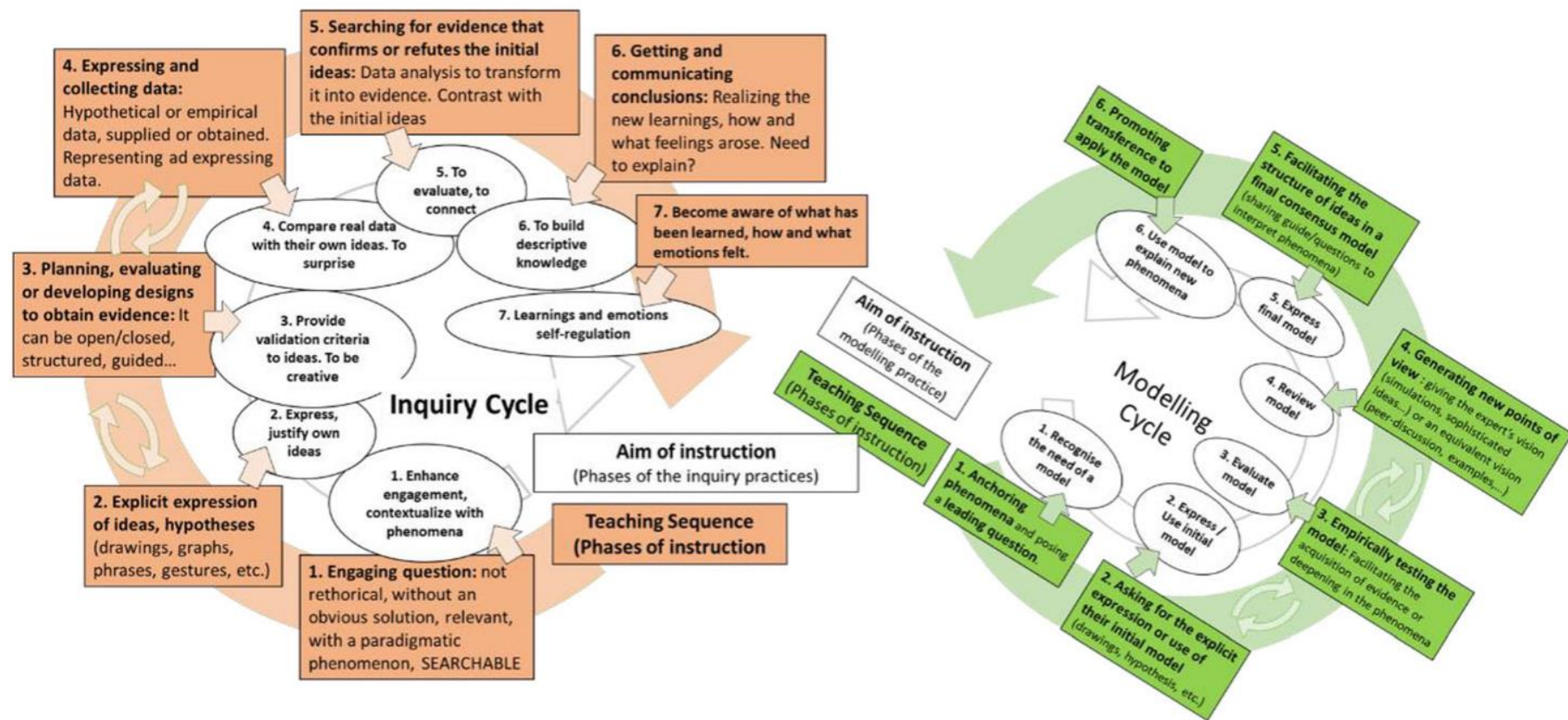


Fig. 5 Cycles of inquiry (in orange; Jiménez-Liso et al. 2019 and Jiménez-Liso 2020) and modeling (in green; Couso 2020; Couso and Garrido-Espeja 2017) of teaching sequences and their aims of instructions (phases of the scientific practices)

Students are expected to relate properties of a substance to its shapes, in a similar way to Nicolas Lemery's model (Erduran 2007; Erduran and Kaya 2019). This seventeenth-century scientist explained that acids consist of keen particles that prick the tongue when they are tasted, differing both in length and in mass from one another. On the other hand, alkalis have pores where the acid points entering into do strike and divide them when oppose the motion of acids. So the difference of the points in acid substances is the cause why some acids can penetrate and dissolve well certain sort of mixts (Lémery 1697). Our version of this model is a PACMAN model (Jiménez-Liso et al. 2018) suggested sometimes by some of our students. They are able to reason as ancient scientist used to and to build their own explanations in a similar way about what happens in a microscopic level by means of descriptions of the reality (macroscopic level) and their intuitive thoughts.

This anthropomorphic model is already useful for students because it explains acid-base phenomena but it needs to be refined (steps 3 and 4 of the modeling cycle) because it does not serve them to explain a well-known experiment: why the balloon is inflated by adding bicarbonate to the vinegar. When students must construct a model to explain this precise knowledge of reality (what happens with the balloon), they introduce partial modifications to their useful models (Lemery or PACMAN model with triangles as acid) such as "bow ties" that fly when the PACMAN eats the triangles, and they argue on its validity (or not) according to the descriptive knowledge they already have. This process leads them to identify the insufficiency of their initial models, the useful of PACMAN model and its limits, and the need for refinement to explain the production of gases in acid-base processes. Figure 6 shows other alternative model based on the fighting idea to form a structure together that explain gases formation in an acid-base reaction, done by other students.

As it is necessary to help students to comprehend the nature of models, a possible strategy could be introducing an explanation similar to that one mentioned as past scientists did. The activities previously mentioned encourage pupils to express their own ideas, giving opportunities to evaluate and restructure them, in order to pass from their initial to more scientifically valid conceptual schemes ones. For instance, pupils draw representations trying to explain the way they perceive some common substances and they described their models in class to share their ideas, as drawing "bubbles" in acids and less bubbles or no bubbles in the base substances (Erduran 2003).

Lemery, PACMAN or fighting models are very anthropomorphic. However, these models allow quick connection with the chemical formulation and the Arrhenius model (Fig. 7 from Jiménez-Liso et al. 2018).

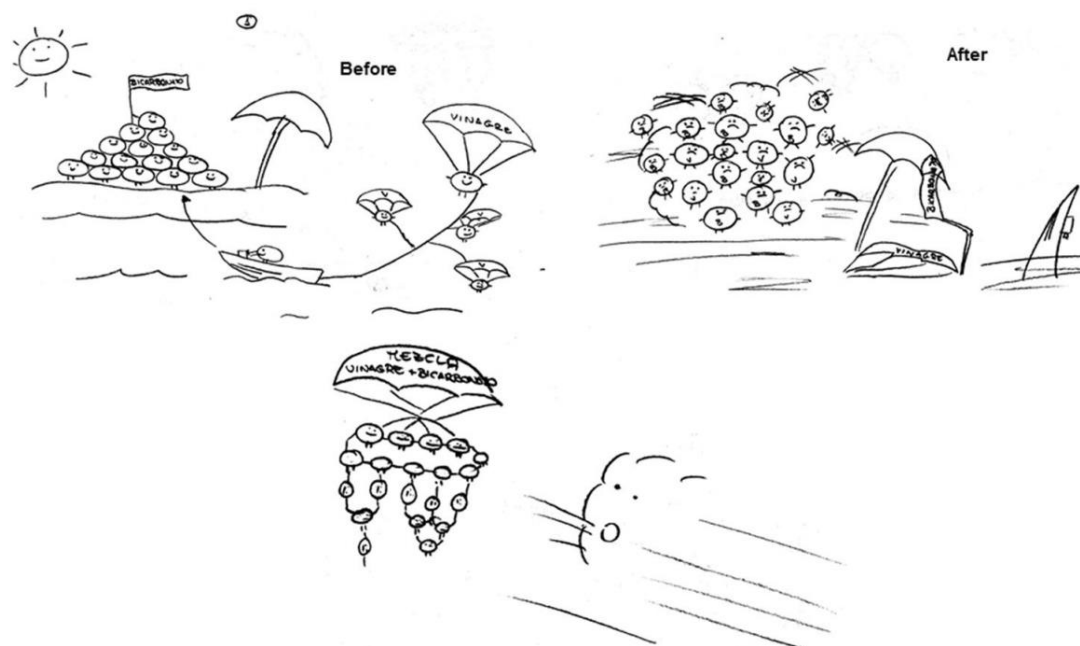


Fig. 6 Fighting idea to form a structure together that explain gases' formation in acid-base processes

7.3 Connected Key Aspects of Acid-Base Model-Focused Teaching for Upper Secondary Level (or University Degrees)

As Couso (2020) mentioned, a model-focused teaching would be to put students in the situation of building themselves “adequate enough” explanations, in other words, to construct school-based scientific models to describe the behaviour of the world and to comprehend how it works (Aduriz-Bravo and Izquierdo-Aymerich 2009; Izquierdo-Aymerich 2000). Instead of learning the models as the result of the scientific activity, it would be enough to focus on some specific big ideas (Harlen 2010) or key ideas (National Research Council 2012) that have the potential to explain a lot of different phenomena (Izquierdo-Aymerich and Aduriz-Bravo 2003). Thus, a model-based teaching approach offers instructional strategies for improving conceptual learning in science education (Shen and Confrey 2007) and permits students go beyond the idea of models as reproduction, allowing them to reach the vision that the relationship between model, experiment, and reality is dynamic and evolutionary (Tasquier et al. 2016).

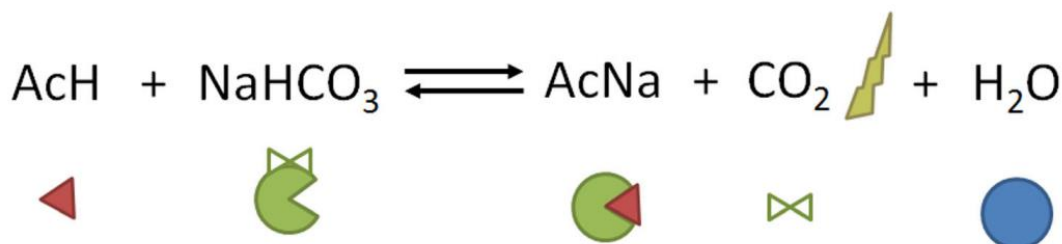


Fig. 7 Correspondence between the PACMAN model elements and chemical formulation (Jiménez-Liso et al. 2018)

In order to build a school science using more sophisticated models for upper secondary or university levels, as in our case, we talk about the model associated with phenomena using the concrete term “key connected aspects”, which should emphasize:

- *The purposes of each model:* for example, Arrhenius’ model is an explanation based on the classification of substances in acids or bases and their reactions, Bronsted-Lowry’s model is based on equilibrium, and Lewis’ model focus on a different paradigm, the electron theory. We want to emphasize on this idea because it changes the acid-base view, from the conceptual-focused teaching (Fig. 1) because we defined acid that contains H^+ (Arrhenius) or that donates H_3O^+ (Bronsted-Lowry) to a new view with an explanatory power of both models, which in the case of Arrhenius explains reactions between substances and Bronsted-Lowry explains equilibrium, balances, and, therefore, their reversibility (Fig. 8), as we will see below.
- *Acid-base characteristic from each scientific model:* our perceptions about acid-base definitions given in Fig. 1 change from acid-base as substances to the absolute acid and base properties based on their chemical composition in Arrhenius’ model (Fig. 8, left), from the acid-base pairs conjugated to the relative properties of substances in Bronsted-Lowry’s model (Fig. 8, right), or from acid-base as accept-donor pair of electrons (the electron paradigm) to its possibilities to explain solvent absence in Lewis’ model. These decisive acid-base characteristics are connected to the models’ educational purposes through a simplification of the historical scientific consensus models and it explains why some historical models can still be used to explain some phenomena (Table 1). The comparison and contrast of these key features, the nature, and purposes of models can be addressed in the teaching.

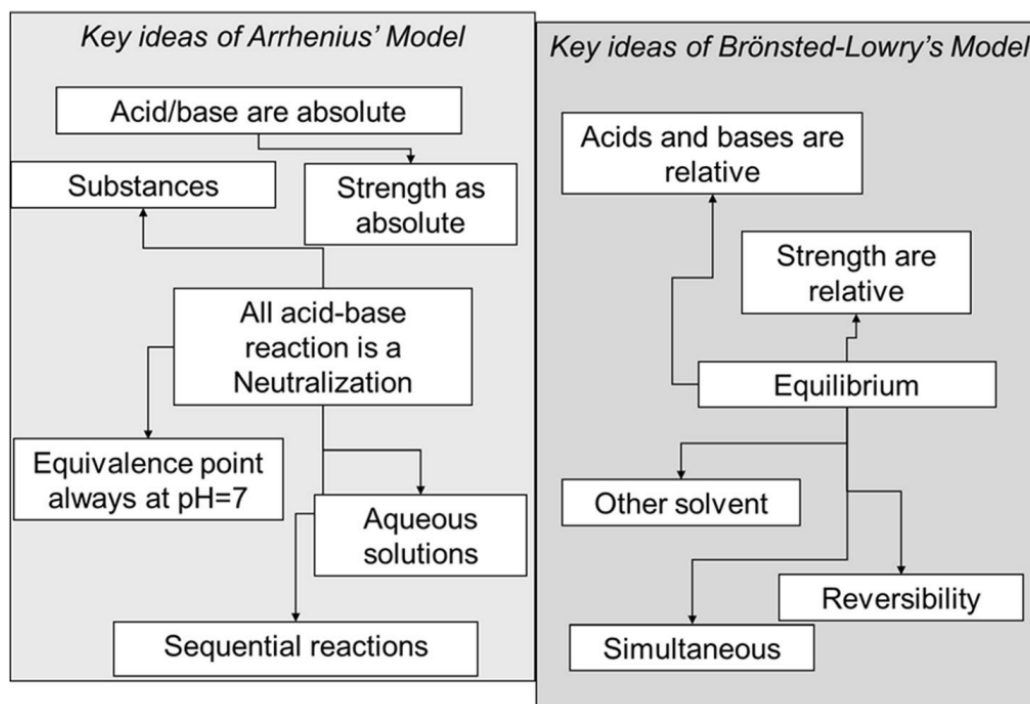


Fig. 8 Connected key aspects of Arrhenius’ and Bronsted-Lowry’s models

- *Scope, boundaries, and explanatory power*: for example, Bronsted-Lowry's model can explain not only the reason why a reaction between a strong acid and a weak base produces a $\text{pH} < 7$ solution without using hydrolysis concept but also that the reaction between a base and water is possible and that two acids (one stronger than other) can react (however a weak acid, according to Arrhenius' classification, reacts like a base). These explanations are not possible using Arrhenius' model.

It would not be prudent to discard a model that is easy to understand and is well applicable in many cases (Ockhams razor (Rollnick 2019)). For instance, many chemical reactions occur in aqueous solutions because many compounds have hydrogen or hydroxide ions. Thus, teaching the Arrhenius concept is important for the purpose of promoting the recognition of the meaning of the acid-base characteristic from this scientific model in science learning. However, for this purpose, the introduction of new concepts needs to be followed in order to overcome the limitations of the Arrhenius concept (Paik 2015). On the other hand, the key ideas from Bronsted-Lowry model emphasize five concepts: equilibrium, reversibility, simultaneous, and the relative strength of acids and bases, both in aqueous and non-aqueous solvent (Fig. 8). When acid-base reactions occur without solvent, for example, gases reactions, neither Arrhenius' model nor that Bronsted-Lowry's model serves to explain them, so we need other models such as Lewis' electron valance model or Lux-Flood model for geological hard pressure acid-base reactions.

8 Conclusions

The arguments put forward in this paper might convince teachers to deepen their teaching of acid-base processes, at all possible educational levels, by taking advantage of the presence of historical development in upper secondary and to cover the need to advance it to primary or lower secondary levels by the arguments involving the presence of acids and bases in our daily lives and on solving socio-scientific issues about health or the environment.

The extensive bibliography on alternative conceptions at all educational levels (including teachers and candidates to be) justify the need for a change in the usual way of presenting it that focuses on the presentation of definitions on acid, base, theirs reactions, pH, etc., in two or three "theories" presented together. This fragment of the history of science that survives in the current curriculum (in upper secondary and chemistry degree, university level) offers a very good opportunity for NoS teaching without overloading the already extensive and concentrated chemistry curriculum.

Thus, the main aim of traditional acid-base teaching is to learn the main concepts by means of conceptual-focused teaching and it is very far from making sense to the students, because it makes them look at the bricks and not in their usefulness as part of a larger and more beautiful castle (meaningful) and useful. Inquiry-based teaching (Section 7.1) and the model-conceptual teachings that were exemplified in this paper

(Sections 7.2 and 7.3) provide implicitly a chance to reflect on how science is constructed.

Whereas the conceptual-focused teaching only explains definitions and emphasizes on descriptions about behaviours (not always coordinated), model-focused teaching emphasizes on explanations, interpretations, and predictions (Stefani and Tsaparlis 2009). In this way, students should learn to use each model within its application domain to address different phenomena. Applicability of acid-base models should be better understood, and knowledge of acid-base models would be transferred to new situations, for example, to recognize a new process as an acid-base reaction.

In this paper (Section 7.3), we proposed that considering models include key ideas connected in a particular way they provide coherence to concepts. Both approaches are in conflict with each other, so this dual treatment is discussed: teaching isolated ideas in a conceptual-focused teaching or the relationship between connected key aspects through a model-focused teaching.

We have attempted to show the differences between NoS teaching approaches through several sequences of activities. First, one sequence with an explicitly NoS approach, as Lederman (2007) points as desirable, and then, three implicit approaches, similar to Duschl and Grandy's (2013) recommendations. These four sequences can help teachers to perceive the potential results of choosing one of those treatments in acid-base lessons, according to their own teaching goals. Also, this concretion in sequences of activities, which is the fundamental tools for teachers to teach, can encourage them to teach acid-base models in a way closer to the recommendations of NoS researchers.

As we pointed out in the introduction, by specifying the implicit-explicit debate in several sequences of activities, we are also offering, for science teacher training, a theoretical learning progression. Pre-service or in-service teachers in training could live inquiry and modeling sequences since Lemery to the more sophisticated models and it allows to place the implicit sequence one after this lineal progression to make explicit the awareness of how the science is built. Finally, as an agenda for future work, we could follow the steps outlined in this paper in order to develop an evaluation study about the efficiency of consensus NoS understandings of each implementation of our implicit, explicit-IBSE, explicit-modeling sequences, using frameworks such as Burgin and Sadler (2016).

Acknowledgements This work would not have been possible without the inspired discussions with Esteban De Manuel (Rut's PhD supervisor) and John T. Leach and the participation of IES Murgi students, their teachers Lucía, Isabel and Carmen.

Funding Information This work has been partially financed by the projects EDU2017-82197-P and PGC2018- 097988-A-I00 of the Ministry of Science and Innovation (MCI) of Spain, the State Research Agency (AEI) and the European Regional Development Fund (FEDER), and with a visiting scholar in the University of Exeter PRX19 / 00364 of the Ministry of Education of the Government of Spain.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- Acher, A., Arcá, M., & Sanmarti, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, *91*(3), 398–418. <https://doi.org/10.1002/sce>.
- Aduriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science and Education*, *18*(9), 1177–1192. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9189-3>.
- Alvarado, C., Cañada, F., Garritz, A., & Mellado, V. (2015). Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid–base chemistry at high school. *Chemical Education Research and Practice*, *16*(3), 603–618. <https://doi.org/10.1039/C4RP00125G>.
- Arrhenius, S. (1903). *Development of the theory of electrolytic dissociation*. Nobel Lecture. <http://atom.uwaterloo.ca/CHEM/History/arrheniuslecture.pdf>.
- Banerjee, A. C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, *13*(4), 487–494. <https://doi.org/10.1080/0950069910130411>.
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, *17*(3), 265–278. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>.
- Bronsted, J. N. (1923). Some remarks on the concept of acids and bases. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas*, *42*(8), 718–728. <https://doi.org/10.1002/recl.19230420815>.
- Burgin, S. R., & Sadler, T. D. (2016). Learning nature of science concepts through a research apprenticeship program: a comparative study of three approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, *53*(1), 31–59. <https://doi.org/10.1002/tea.21296>.
- Cavallo, A. (2007). Draw-a-scientist / mystery box. *Science and Children*, *45*(3), 37–39 https://search.proquest.com/openview/00cbd00e0fec0a79bcecc4501c468ea8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=41736&casa_token=GRbvrnJ7Mk8AAAAA:7tdMJuSB2MozjgpEM5Ln8hJbzLHxVgFKNIJZGpgZudDoKzwuOfqjZTcNtctTzqJwvd3VtR4kk43.
- Chamizo, J. A. (2018). *Química General. Una aproximación histórica* (Vol. 1). D.R. UNAM. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.3.70007>.
- Cid Manzano, R., & Dasilva Alonso, G. (2012). Estudiando cómo los modelos atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria [Analyzing how Atomic Models are being introduced in Secondary School textbook]. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y*

Divulgación de Las Ciencias, 9(3), 329–337. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i3.02.

Cobern, W. W., & Loving, C. C. (2002). The card exchange: introducing the philosophy of science. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 73–82). Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47215-5_4.

Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo [Learning school science involves building increasingly sophisticated models of world phenomena]. In D. Couso, M. R. Jimenez-Liso, C. Refojo, & J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 70–81). Penguin Random House Grupo Editorial <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>.

Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and modelling in pre-service teacher education: why we need both. In K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto, & J. Lavonen (Eds.), *Cognitive and affective aspects in science education* (pp. 245–261). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58685-4_19.

Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J., & Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 305–313. <https://doi.org/10.1080/0140528860080307>.

Cros, D., Chastrette, M., & Fayol, M. (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10(3), 331–336. <https://doi.org/10.1080/0950069880100308>.

Davis, E. A., Janssen, F. J. J. M., & Van Driel, J. H. (2016). Teachers and science curriculum materials: where we are and where we need to go. *Studies in Science Education*, 52(2), 127–160. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1161701>.

de Berg, K. C. (2011). Joseph Priestley across theology, education, and chemistry: an interdisciplinary case study in epistemology with a focus on the science education context. *Science & Education*, 20(7), 805–830. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9270-y>.

de Berg, K. C. (2014). International handbook of research in history, philosophy and science teaching. In M. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 317–341). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>.

de Vos, W., & Pilot, A. (2001). Acids and bases in layers: the stratal structure of an ancient topic. *Journal of Chemical Education*, 78(4), 494. <https://doi.org/10.1021/ed078p494>.

Demircioğlu, G., Ayas, A., & Demircioğlu, H. (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1), 36–51. <https://doi.org/10.1039/B4RP90003K>.

Domènech Calvet, A. M., Máquez Bargalló, C., Roca Tort, M., & Marbà-Tallada, A. (2015). La medicalización de la sociedad, un contexto para promover el desarrollo y uso de conocimientos científicos sobre el cuerpo humano [The medicalization of society as a context for promoting the development and use of scientific knowledge related to the hu]. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 33(1), 101–125. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1358>.

Dominguez-Sales, M. C., Furio-Mas, C., & Guisasola, J. (2007). Learning from the history and philosophy of science: deficiencies in teaching the macroscopic concepts of substance and chemical change. In R. Pinto & D. Couso (Eds.), *Contributions from science education research* (pp. 249–259). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5032-9_19.

Drago, R. S. (1973). Pearson's quantitative statement of HSAB [hard-soft acid-base]. *Inorganic Chemistry*, 12(9), 2211–2212. <https://doi.org/10.1021/ic50127a063>. Drechsler, M. (2007). *Models in chemistry education. A study of teaching and learning acids and bases in Swedish upper secondary schools* [Karlstad University]. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:6511/FULLTEXT01.pdf>

Drechsler, M., & Van Driel, J. (2008). Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acidbase chemistry. *Research in Science Education*, 38(5), 611–631. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9066-5>.

Drechsler, M., & Van Driel, J. (2009). Teachers' perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools. *Chemical Education Research and Practice*, 10(2), 86–96. <https://doi.org/10.1039/B908246H>.

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/31/3/023>.

Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>.

Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: an emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10(Butterfield 1949), 581–593. <https://doi.org/10.1023/A:1017564604949>.

Erduran, S. (2003). Examining the mismatch between pupil and teacher knowledge in acid–base chemistry. *School Science Review*, 84(308), 81–88.

Erduran, S. (2007). Bonding epistemological aspects of models with curriculum design in acid-base chemistry. In M. Izquierdo, A. Caamaño, & M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar. Ponencias* (Universita, pp. 41–72). Universitat Autònoma Barcelona. <http://edumat.uab.cat/didactica/files/compartits/28.pdf>

Erduran, S., & Kaya, E. (2019). In S. Erduran & E. Kaya (Eds.), *Transforming teacher education through the epistemic core of chemistry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15326-7>.

- Evagorou, M., & Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209–237. <https://doi.org/10.1002/tea.21076>.
- Evagorou, M., Dillon, J., Viiri, J., & Albe, V. (2015). Pre-service science teacher preparation in Europe: comparing pre-service teacher preparation programs in England, France, Finland and Cyprus. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1), 99–115. <https://doi.org/10.1007/s10972-015-9421-8>.
- Franklin, E.C. (1905). Reactions in liquid ammonia. *Journal of the American Chemical Society*. 27(7), 820-851. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01985a002>.
- Furió-Mas, C., Calatayud, M. L., & Bárcenas, S. L. (2007). Surveying students' conceptual and procedural knowledge of acid–base behavior of substances. *Journal of Chemical Education*, 84(10), 1717–1724. <https://doi.org/10.1021/ed084p1717>.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69–96. <https://doi.org/10.1080/03057269508560050>.
- Garrido-Espeja, A., & Couso, D. (2017). *Models and modelling as a training context: what are pre-service teachers' perceptions?* <https://pdfs.semanticscholar.org/68bf/832ad16a69a28224519cd48b7fc3706c4f69.pdf>.
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2010). Conceptual incoherence as a result of the use of multiple historical models in school textbooks. *Research in Science Education*, 40(4), 605–623. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9136-y>.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>.
- Harlen, W. (2010). Principles and big ideas of science education. In *Association for Science Education*. 978 0 86357 4 313.
- Hoe, K. Y., & Subramaniam, R. (2016). On the prevalence of alternative conceptions on acid-base chemistry among secondary students: insights from cognitive and confidence measures. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 263–282. <https://doi.org/10.1039/C5RP00146C>.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos [Epistemological foundations]. In P. Perales & F. J. y Cañal (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias [Didactics of experimental sciences: theory and practice of science education]* (pp. 35–64). Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M., & Aduriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12, 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>.
- Jiménez-Liso, M. R. (2000). *Contenidos relacionados con los procesos ácido-base: diagnóstico y propuestas didácticas al nivel universitario [Contents related to the acid-*

base processes: diagnosis and didactic proposals at the university level]. PhD thesis not published. University of Granada

Jiménez-Liso, M. R., de Manuel Torres, E., González García, F., & Salinas López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula [The use of the concept of pH in advertising and its relationship with the ideas that students handle: applications in the classroom]. *Enseñanza de Las Ciencias*, 18(3), 451–461. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21696>.

Jiménez-Liso, M. R., & de Manuel Torres, E. (2002). La neutralización ácido-base a debate [Acid-base neutralization in discussion]. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(3), 451–464. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21837>.

Jiménez-Liso, M. R., López-Gay, R., & Márquez, M. (2010). Química y cocina: del contexto a la construcción de modelos [Chemistry and cooking: from context to building models]. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 65(July), 33–44.

Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., & Salmerón-Sánchez, E. (2018). Chewing Gum and pH Level of the Mouth: A Model-based Inquiry Sequence to Promote Scientific Practices. *World Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.12691/wjce-6-x-x>.

Jiménez-Liso, M. R., Giménez-Caminero, E., Martínez-Chico, M., Castillo-Hernández, F. J., & López-Gay, R. (2019). El enfoque de enseñanza por indagación ayuda a diseñar secuencias: ¿Una rama es un ser vivo? [IBSE approach teaching helps design instructional: sequences: a tree branch is a living being?]. In J. Solbes, M. R. Jiménez-Liso, & T. Pina (Eds.), *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto*. (pp. 97–119). Tirant lo blanch.

Jiménez-Liso, M. R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación) [Learning school science involves learning to look for evidences to build knowledge (inquiry)]. In D. Couso, M. R. Jimenez-Liso, C. Refojo, & J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 60–69). Penguin Random House Grupo Editorial. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>.

Justi, R., & Gilbert, J. K. (1999a). A cause of ahistorical science teaching: use of hybrid models. *Science Education*, 83(2), 163–177. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199903\)83:23.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199903)83:23.0.CO;2-I).

Justi, R., & Gilbert, J. K. (1999b). The history and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science & Education*, 8(3), 287–307. <https://doi.org/10.1023/A:1008645714002>.

Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation* (pp. 99–117). Brill Sense. https://doi.org/10.1163/9789460911453_009.

Kipnis, N. (2011). Errors in science and their treatment in teaching science. *Science and Education*, 20(7), 655–685. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9289-0>.

Leden, L., Hansson, L., Redfors, A., & Ideland, M. (2015). Teachers' ways of talking about nature of science and its teaching. *Science and Education*, 24(9–10), 1141–1172. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9782-6>.

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–880). Lawrence Erlbaum Associates.

Lémeury, N. (1697). *Cours de Chymie* (E. Michallet (ed.)).

Lewis, G. N. (1923). *Valence and the structure of atoms and molecules* (Issue 14). Chemical Catalog Company, Incorporated.

López-Banet, L., Jiménez-Liso, M. R., & Perales, F. J. (2021). STEAM views from a need: the case of a sensopill gum and pH. *Journal for the Study of Education and Development*, 44(2), in press.

Lowry, T. M. (1923). The uniqueness of hydrogen. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 42(3), 43–47.

McClary, L. M., & Bretz, S. L. (2012). Development and assessment of a diagnostic tool to identify organic chemistry students' alternative conceptions related to acid strength. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2317–2341. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.684433>.

McComas, W. F. (2006). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. In W. F. McComas (Ed.). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-306-47215-2>.

Moreno, L., Zuñiga, K., Cofré, H., & Merino, C. (2018). Efecto (¿o no?) de la inclusión de naturaleza de la ciencia en una secuencia para el aprendizaje y la aceptación de la teoría de la evolución. *Revista Lusófona de Educação*, 15(3), 3105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105.

Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and ph concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077–1096. <https://doi.org/10.1002/tea.3660311004>.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. 10.17226/9596.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education. Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>.

Niaz, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science and Education*, 18(1), 43–65. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9082-x>.

Nouri, N., McComas, W. F., & Aponte-Martinez, G. J. (2019). Instructors' rationales and strategies for teaching history of science in preservice settings: illustrations from multiple

cases with implications for science teacher education. *Science and Education*, 28(3–5), 367–389. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00055-z>.

Nyachwaya, J. M. (2016). General chemistry students' conceptual understanding and language fluency: acidbase neutralization and conductometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 509–522. <https://doi.org/10.1039/C6RP00015K>.

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>.

Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>.

Ottonello, G., & Moretti, R. (2004). Lux-Flood basicity of binary silicate melts. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65(8–9), 1609–1614. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2004.01.012>.

Özmen, H., Demircioğlu, G., & Coll, R. K. (2009). A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students' understanding of acid-base chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9087-6>.

Paik, S. H. (2015). Understanding the relationship among Arrhenius, Bronsted-Lowry, and Lewis theories. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1484–1489. <https://doi.org/10.1021/ed500891w>.

Pareja Roblin, N., Schunn, C., & McKenney, S. (2018). What are critical features of science curriculum materials that impact student and teacher outcomes? *Science Education*, 102(2), 260–282. <https://doi.org/10.1002/sce.21328>.

Pearson, R. G. (1963). Hard and soft acids and bases. *Journal of the American Chemical Society*, 85(22), 3533–3539. <https://doi.org/10.1021/ja00905a001>.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>.

Quílez, J. (2019). A categorisation of the terminological sources of student difficulties when learning chemistry. *Studies in Science Education*, 00(00), 1–47. <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1694792>.

Rau, G. (2009). An activity to help students learn about observation, interpretation, and argumentation. *The Science Teacher*, 76(8), 30–35 https://search.proquest.com/openview/d17fb9b36f453372be586adc1496650a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40590&casa_token=uoJUIA-q53cAAAAA:hqasIJWD5BmriLScKiuaHXvbKkDumwnjVpSRjKWqAKUbiRw1EGLWN7po_todPcPWWI5fdzboXbNL.

Rollnick, M. (2019). Introduction. In S. Erduran & E. Kaya (Eds.), *Transforming teacher education through the epistemic core of chemistry* (pp. XIII–XV). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15326-7>.

Ross, B., & Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, *13*(1), 11–23. <https://doi.org/10.1080/0950069910130102>.

Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2009). Scientific literacy, PISA, and socioscientific discourse: assessment for progressive aims of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(8), 909–921. <https://doi.org/10.1002/tea.20327>.

Scerri, E. R. (2019). Five ideas in chemical education that must die. *Foundations of Chemistry*, *21*(1), 61–69. <https://doi.org/10.1007/s10698-018-09327-y>.

Schmidt, H.-J. (1991). A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, *13*(4), 459–471. <https://doi.org/10.1080/0950069910130409>.

Schneider, R. M., & Plasman, K. (2011). Science teacher learning progressions: a review of science teachers' pedagogical content knowledge development. *Review of Educational Research*, *81*(4), 530–565.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>.

Shen, J., & Confrey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: a case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education*, *91*(6), 948–966. <https://doi.org/10.1002/sce>.

Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, *7*(1), 32–45. <https://doi.org/10.1039/b5rp90014j>.

Stavridou, H., & Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, *20*(2), 205–221. <https://doi.org/10.1080/0950069980200206>.

Stavy, R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, *12*(5), 501–512. <https://doi.org/10.1080/0950069900120504>.

Stefani, C., & Tsaparlis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: a phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(5), 520–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20279>.

Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education Research and Practice*, *2*(2), 123. <https://doi.org/10.1039/b1rp90014e>.

Tarhan, L., & Acar Sesen, B. (2012). Jigsaw cooperative learning: acid-base theories. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 307–313. <https://doi.org/10.1039/c2rp90004a>.

Tasquier, G., Levrini, O., & Dillon, J. (2016). Exploring students' epistemological knowledge of models and modelling in science: results from a teaching/learning experience on climate change. *International Journal of Science Education*, 38(4), 539–563. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1148828>.

Taton, R. (1957). *La science antique et médiévale*. Presses Universitaires de France.

Taton, R. (1959). Histoire générale des sciences, t. II: *La science moderne*. Presses Universitaires de France.

Taton, R. (1964). *Histoire générale des sciences*. Presses Universitaires de France.

Taton, R., & Goupil, M. (1961). Histoire des sciences. In *T. III-La science contemporaine* (Vol. 1).

Usanowitsch, M. (1939). Theory of acids and bases. *J. Allg. Chem.*(USSR), 9, 182–198.

Uskola Ibarluzea, A. (2016). ¿Los productos homeopáticos pueden ser considerados medicamentos? Creencias de maestras/os en formación [Homeopathic products can be considered medicine? Beliefs of elementary preservice teachers]. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 13(3), 574–587. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i3.05.

Wandersee, J. H. (1986). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581–597. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230703>.

Wynne, B. (1989). Sheepfarming after Chernobyl a case study in communicating scientific information. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 31(2), 10–39. <https://doi.org/10.1080/00139157.1989.9928930>.

Yalcin, F. (2011). Investigation of the change of science teacher candidates' misconceptions of acids-bases with respect to grade level. *Journal of Turkish Science Education*, 8(3), 161–172 <http://tused.org/index.php/tused/article/view/377>.

Zoller, U. (1990). Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (general and organic). *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1053–1065. <https://doi.org/10.1002/tea.3660271011>.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

TIPOS DE REACCIÓN QUÍMICA



Cambiar la forma de enseñar las reacciones ácido-base

Del modelo de Arrhenius al modelo de Lewis

M. Rut Jiménez Liso
Universidad de Almería

Luisa López Banet
Universidad de Murcia

Justin Dillon
Universidad de Exeter
St Luke's. Reino Unido

El hito histórico de 1923 sobre ácidos y bases sustenta una secuencia de enseñanza con un enfoque explícito del área de la naturaleza de la ciencia (NdC) para niveles desde secundaria hasta universitarios. El enfoque implícito se promueve mediante una indagación que se conecta con un ciclo de modelización. Ambas propuestas permiten contribuir a la formación de visiones adecuadas de la ciencia y a la resolución de los problemas científicos relacionados con los modelos ácido-base.

Licencia para M. Rut Jiménez Liso



PALABRAS CLAVE

- ÁCIDO-BASE
- INDAGACIÓN
- MODELIZACIÓN
- HISTORIA DE LA CIENCIA

TIPOS DE REACCIÓN QUÍMICA

Las investigaciones en el área de la naturaleza de la ciencia (NdC) a menudo señalan que los docentes y formadores de profesores debemos ampliar nuestro conocimiento sobre qué es la ciencia y cómo se construye, con la finalidad de transferir los beneficios potenciales de aprender NdC al aula, por medio de secuencias de actividades de enseñanza. Una de esas recomendaciones implica el debate acerca de si trabajar NdC de forma explícita o implícita (Duschl y Grandy, 2013). El enfoque explícito se puede introducir al tomar momentos de la historia de la ciencia como detonantes para la reflexión en torno a la ciencia y su desarrollo. Bajo el enfoque implícito se propone una secuencia de prácticas científicas (indagación, modelización o argumentación) para que «haciendo ciencia» el alumnado aprenda sobre ella. Lejos de entender el debate como una contraposición entre ambos enfoques de NdC (implícito y explícito), en este artículo nos planteamos cómo traducirlos a secuencias de actividades apoyándonos en un contenido concreto: el desarrollo histórico de los contenidos ácido-base (Arrhenius, Bronsted-Lowry y Lewis) que incluye el currículum de educación secundaria (12-18 años).

ARGUMENTOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS MODELOS SOBRE REACCIONES DE ÁCIDOS Y BASES

Muchas situaciones nuevas de la vida cotidiana provocan que las personas deban usar su conocimiento científico para tomar decisiones relativas

■
Necesitamos la química ácido-base para poner en conflicto estos remedios poco saludables

a sus acciones. Los medios de comunicación, a través de expresiones científicas o de imágenes de expertos, suelen ofrecer representaciones de la ciencia que implican controversias socio-científicas, generando una visión alejada de cómo se resuelven los problemas científicos (un ejemplo reciente es el entorno científico/político/cultural actual con la crisis de la COVID-19), que es aprovechada, en ocasiones, para promover propuestas infundadas sobre salud y remedios caseros, por ejemplo, la famosa dieta alcalina para prevenir el cáncer, que recomienda no tomar azúcar y cereales porque son alimentos muy acidificantes, o tomar limón porque es un excelente alcalinizante. Necesitamos la química ácido-base, tema presente en el currículum de enseñanza secundaria, para poner en conflicto estos remedios poco saludables.

Esta presencia en la vida diaria (caramelos ácidos, antiácidos, lluvia ácida, etc.) justifica su presencia en el currículum de secundaria y nos obliga a tener que repensar su enfoque para evitar dificultades en su aprendizaje, como considerar que todos los cambios químicos son irreversibles, u obstáculos sobre la conservación de la masa. En este trabajo proponemos la reconversión de las tres «famosas» teorías ácido-base (Arrhenius, Bronsted-Lowry y Lewis), por ser las que se presentan habitualmente a los estudiantes, en «modelos» ácido-base para centrarnos en su poder explicativo y predictivo. Esto no supone un cambio de denominación (de teorías a modelos) sino de utilidad, pues los modelos científicos han sido desarrollados para explicar y predecir fenómenos, de manera que son más que un informe descriptivo del mundo material. En este sentido, los modelos históricos ácido-base son una buena oportunidad para comprender cómo se ha producido el cambio en los modelos científicos a lo largo del tiempo.



Proponemos la reconversión de las tres teorías ácido-base en modelos ácido-base para centrarnos en su poder explicativo y predictivo

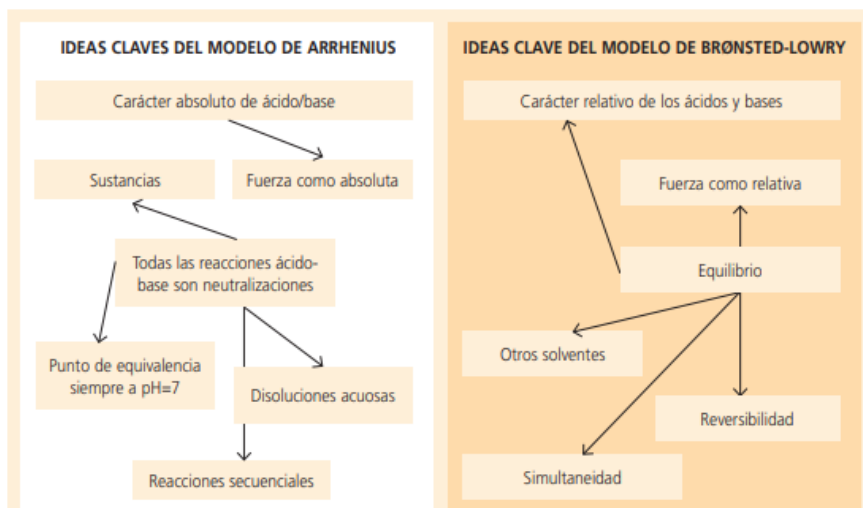
ENSEÑANZA CONCEPTUAL FRENTE A ENSEÑANZA BASADA EN MODELOS DE LOS ÁCIDOS Y LAS BASES

Los objetivos didácticos que se pretenden alcanzar en la enseñanza de los contenidos relacionados con el tema ácido-base habitualmente se enfocan a dar respuesta a preguntas como «¿Qué es un ácido?» «¿Qué es una base?» «¿Qué sucede cuando se agrega un ácido a una base, y viceversa?» «¿Qué significa pH?» «¿Es posible alcanzar siempre un pH=7 cuando se agrega un ácido a una base?». Es decir, las teorías ácido-base se introducen mediante un enfoque centrado en algunos conceptos de las teorías de Arrhenius y Brønsted-Lowry sin ninguna conexión con los fenómenos que quieren explicar o con los problemas históricos que los inspiraron. Este tipo de enseñanza centrada en conceptos ácido-base genera una imagen distorsionada de la ciencia y de cómo se lleva a cabo, alejada del poder explicativo de los fenómenos, con consecuencias descritas en la literatura didáctica como la mezcla de definiciones o la necesidad de generar «modelos híbridos». Bajo esta enseñanza centrada en lo conceptual, las diferencias entre la teoría de Arrhenius y la de Brønsted-Lowry se tornan insignificantes y fáciles de comprender: cambio de H^+ a H_3O^+ , la justificación de que el amoníaco (NH_3) es una base a pesar de no contener OH^- , etc.

Por el contrario, con la finalidad de construir una ciencia escolar utilizando modelos para los niveles de secundaria superior o universitarios, utilizamos el término concreto «aspectos clave conectados», que debe enfatizar:

- *Los propósitos de cada modelo:* por ejemplo, el modelo de Arrhenius tenía por objeto justificar la clasificación de sustancias en ácidos o bases en función de la conductividad de sus diluciones en agua, debidas a su composición química, mientras que Brønsted precisa del equilibrio para superar las dificultades detectadas en el modelo de Arrhenius, como la explicación de la basicidad del amoníaco (que no contiene OH^-). Por su parte, Lowry llega al mismo modelo de Brønsted de equilibrio protónico a través de la teoría de electrones de valencia de Lewis, un paradigma diferente.
- *Características de cada modelo científico ácido-base:* en vez de centrar la atención del alumnado en los conceptos sobre qué es ácido, base o neutralización en cada teoría, se debe destacar lo relevante del modelo de Arrhenius (fuerza, reacciones) (véase cuadro 1, izquierda), y del modelo de Brønsted-Lowry (carácter relativo de la acidez-basicidad) (véase cuadro 1, derecha). De esta manera facilitamos el carácter explicativo del modelo Arrhenius de las reacciones entre sustancias y el de Brønsted-Lowry para explicar el equilibrio, la reversibilidad, la simultaneidad y la fuerza relativa de ácidos y bases, tanto en disolvente acuoso como no acuoso.
- *Alcance, límites y poder explicativo:* el modelo de Brønsted-Lowry puede explicar sin el artificio de la «hidrólisis» por qué el pH de una reacción ácido-base puede ser diferente de siete, así como la reacción entre el agua y una base o el equilibrio entre «ácidos fuertes de Arrhenius» (perclórico, bromhídrico, sul-

TIPOS DE REACCIÓN QUÍMICA



Cuadro 1. Ideas clave de los modelos de Arrhenius y Brønsted-Lowry (adaptado de Jiménez-Liso, López-Banet y Dillon, 2020)

fúrico, clorhídrico y nítrico) con otro «ácido débil de Arrhenius» como es el acético, cuya fuerza decrece en el orden en que están indicados. Estas explicaciones no son posibles con el modelo de Arrhenius. Esto no significa que debamos desecharlo pues, para disolucio-

nes acuosas, el modelo aplicable más simple es el más elegante y el mejor (valor epistémico de la simplicidad o navaja de Ockham).

Los resultados de la investigación educativa con estudiantes de secundaria y universitarios nos

Licencia para M. Rut Jiménez Liso

SECUENCIAS DE ACTIVIDADES UTILIZANDO DIFERENTES ENFOQUES DE NdC	
Enfoque explícito	Momentos controvertidos del desarrollo histórico ácido-base tanto para niveles inferiores de secundaria como para niveles universitarios.
Indagación para niveles inferiores de secundaria	Transformaremos una actividad práctica (utilizando col lombarda como indicador).
Actividad de modelización sobre la propuesta de Lemery	Tomamos como referencia un modelo histórico (Erduran, 2007) para niveles inferiores de secundaria.
Introducción de modelos más sofisticados	Implicaciones sobre una enseñanza centrada en modelos para niveles superiores de educación secundaria y niveles universitarios.

Cuadro 2. Secuencias de actividades utilizando diferentes enfoques de NdC

Cambiar la forma de enseñar las reacciones ácido-base: del modelo de Arrhenius al modelo de Lewis



1	¿Por qué crees que surge un modelo limitado (modelo de protones, modelo de Brønsted-Lowry) después de un modelo más amplio (modelo de disolventes de Franklin, 1905)? ¿Qué utilidad tiene para la ciencia?
2	¿Cómo crees que fue posible que dos investigadores en diferentes países (sin conocerse y sin Internet) formularan un modelo idéntico (modelo de protones)?
3	¿Qué problemas llevaron a ambos a proponer el mismo modelo? ¿Qué querían explicar?
4	El mismo año, Lewis planteó su modelo ácido-base de pares de electrones, ¿cómo crees que surgieron dos modelos en 1923 de tres personas diferentes trabajando de forma independiente y en diferentes paradigmas (paradigmas de protones o electrones)? ¿Puedes extrapolar esta circunstancia a la actual fabricación de la vacuna para el SARS-Cov-2 (causante de la COVID-19)?

Cuadro 3. Cuestiones a partir del enfoque explícito

permiten estructurar el diseño de secuencias de actividades de modelización (véase cuadro 2) que amplía y da sentido al de enseñanza habitual centrada en conceptos para construir modelos usando la historia de ácidos y bases (completo en Jiménez-Liso, López-Banet y Dillon, 2020).

Enfoque explícito de la enseñanza NdC

Para desarrollar este enfoque (en bachillerato) recurriremos a los documentos originales de 1923 de Brønsted y de Lowry. Ambos conocían tanto el modelo de Arrhenius (1903) como el modelo disolvente-soluto propuesto por Franklin (1905), que hoy es menos conocido a pesar de explicar las reacciones ácido-base con cualquier disolvente (no solo acuoso). Este hito histórico nos permite plantear las cuestiones recogidas en el cuadro 3.

Enfoque implícito de la enseñanza NdC: propuesta de enseñanza basada en la indagación y la modelización para el primer ciclo de ESO

La clasificación de sustancias como ácidas, neutras o básicas se puede seguir con indicadores

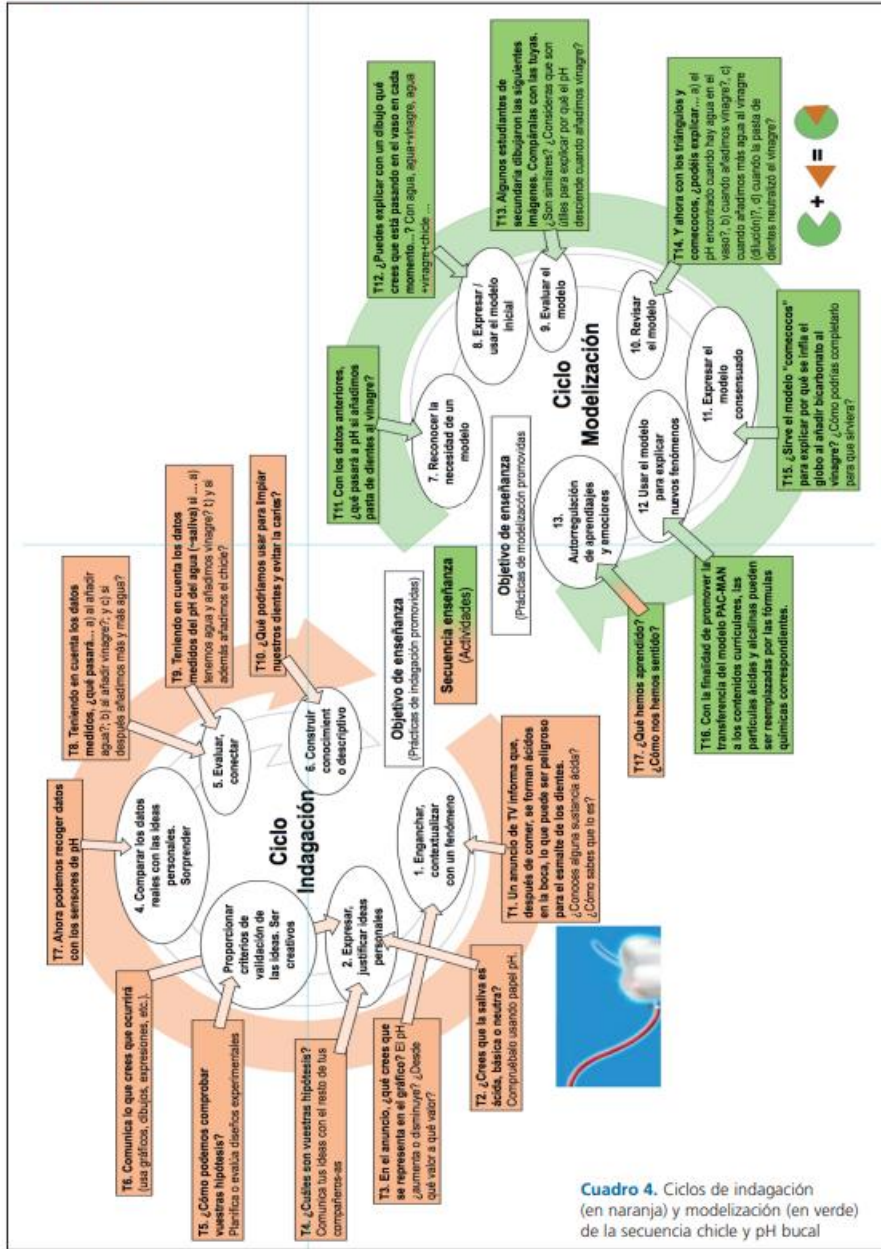
naturales como la col lombarda para emular el «premodelo» descriptivo de Boyle. Podemos transformar esta práctica habitual en las clases de ciencia de ESO en una secuencia con un enfoque de indagación (véase cuadro 4, ciclo naranja) y modelización (véase cuadro 4, ciclo verde).

La indagación comienza con un problema familiar, la visualización de un anuncio de televisión de una conocida marca de chicle¹ que detiene el ataque del ácido, fortalece el esmalte dental y ayuda a mantener nuestros dientes fuertes y sanos, mientras en la imagen del anuncio se nos muestra una gráfica con el inicial descenso (en rojo peligroso) del pH de la boca que, tras masticar el chicle, se eleva (en azul beneficioso y fresco) para prevenir la formación de caries (Jiménez-Liso y otros, 2017). El momento clave de esta secuencia son las propuestas de los estudiantes para los diseños de los experimentos que les permitan encontrar las pruebas para confirmar o rechazar sus hipótesis y faciliten la discusión de su utilidad (¿qué miden? ¿con qué comprobarlo?). Por ejemplo, poner algo de comida en un vaso con agua junto con el chicle (para simular la boca) y medir con papel indicador de pH el efecto del chicle, o chupar papel pH después de comer y nuevamente después de mascar

Licencia para M. Rut Jiménez Liso

TIPOS DE REACCIÓN QUÍMICA

Licencia para M. Rut Jiménez Liso



Cuadro 4. Ciclos de indagación (en naranja) y modelización (en verde) de la secuencia chicle y pH bucal



chicle. Al tomar medidas con papel de pH y comprobar que no se eleva el pH de la disolución ácida (simulación de boca) con el chicle o con la adición de agua (diluir), se produce un conflicto con las expectativas de los estudiantes.

En el ciclo de modelización los estudiantes presentan dificultades a la hora de explicar lo sucedido a través de dibujos, donde toman conciencia de la necesidad de construir una idea que ayude a explicar el cambio de pH. El modelo histórico de Nicolás Lemery (Erduran, 2007) transformado en triángulos y comecocos les permite explicarlo (Jiménez-Liso, López-Gay y Márquez, 2010).

El enfoque implícito descrito, a través de prácticas epistémicas de indagación y modelización, quedaría inconcluso si no planteáramos al alumnado limitaciones al modelo consensuado (véase cuadro 4, T15). **Es importante que los estudiantes sean conscientes de que un modelo no sirve para todo y que tiene limitaciones que, en algunos casos, pueden ser superadas completándolo (basicidad del amoníaco) y, en otros, cambiando de paradigma.** Nuestra experiencia docente nos indica que este enfoque implícito de trabajar NdC promueve simultáneamente el explícito antes planteado, pues el debate sobre qué es la ciencia y cómo se construye está servido cuando hacemos prácticas de indagación y modelización. ◀

Nota

1. <https://www.youtube.com/watch?v=yVK8RQHC4A>

Referencias bibliográficas

DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. (2013): «Two views about explicitly teaching nature of science». *Science & Education*, vol. 22, núm. 9, pp. 2.109-2.139. Disponible en línea en: <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>. [Consulta: diciembre de 2020.]

ERDURAN, S. (2007): «Bonding epistemological aspects of models with curriculum design in acid-base chemistry», en IZQUIERDO, M.; CAAMAÑO, A.; QUINTANILLA, M. (eds.): *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Barcelona. UAB, pp. 41-72. Disponible en línea en: www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecial/plano/html/pdfs/biblioteca/LIBROS/BL003.pdf [Consulta: diciembre de 2020.]

JIMÉNEZ-LISO, M. R.; LÓPEZ-GAY, R.; MÁRQUEZ, M. (2010): «Química y cocina: del contexto a la construcción de modelos». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 65, pp. 33-44.

JIMÉNEZ-LISO, M. R. y otros (2017): «Sensopildora chicles Orbit: uso de sensores para promover prácticas científicas de indagación con modelos». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, pp. 685-690. Disponible en línea en: https://ddd.uab.cat/pub/ledic/edlc_a2017nEXTRA/12_sensopildora_chicles_orbit.pdf [Consulta: diciembre de 2020.]

JIMÉNEZ-LISO, M. R.; LÓPEZ-BANET, L.; DILLON, J. (2020): «Changing how we teach acid-base chemistry. A proposal grounded in studies of the history and nature of science education». *Science & Education*, vol. 29, núm. 5, pp. 1.291-1.315.

Direcciones de contacto

M. Rut Jiménez Liso

Universidad de Almería
mrjimene@ual.es

Luisa López Banet

Universidad de Murcia
llopezbanet@um.es

Justin Dillon

Universidad de Exeter St Luke's. Reino Unido
j.s.Dillon@exeter.ac.uk

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en septiembre de 2020 y aceptado en noviembre de 2020

Publicación en prensa: diseño de la secuencia MBI para ESO

Diversos informes europeos, como los de Rocard et al. (2007) y Nuffield (Osborne y Dillon, 2008), reclaman cambios en los contenidos de ciencia de los currículos para que el alumnado aborde problemas relevantes en su vida cotidiana mediante estrategias educativas basadas en la investigación escolar. Las orientaciones curriculares suelen presentar los contenidos científicos desconectados de las perspectivas personales y sociales, promoviendo una enseñanza de la Química alejada de los fundamentos que la constituyen. Es por ello por lo que debemos abrir espacios para analizar y discutir cómo enseñar Química de manera más significativa y auténtica en todos los niveles educativos, aceptando su naturaleza de tecnociencia útil, tanto para sintetizar nuevas sustancias como para los procesos de control de nuestro ambiente (Talanquer, 2013). En concreto, el crecimiento urbano incontrolado está provocando el incremento de la contaminación del aire, por lo que se hace necesario que la ciudadanía tenga conocimientos para poder fundamentar sus decisiones en datos empíricos relacionados con el objetivo 11 de las Naciones Unidas (UN, 2020) que pretende promover ciudades sostenibles. Como consecuencia de la gravedad de la situación planetaria en la que nos encontramos, desde hace años se está promoviendo la necesidad de incorporar contenidos sobre sostenibilidad en el ámbito educativo (Calero et al., 2019). Algunos proyectos recientes están orientados a la promoción de un aprendizaje activo basado en la indagación con respecto a problemas de la vida real asociados con la ciencia y la tecnología y a la estimulación de la participación del alumnado en acciones colectivas. El ejercicio de una ciudadanía ambiental depende del desarrollo de la voluntad y de la competencia de una persona para un compromiso crítico, activo y democrático hacia la prevención y solución de estos problemas (Reis, 2020).

La enseñanza de los contenidos sobre los cambios químicos debe plantear actividades que estén relacionadas con aspectos cotidianos y permitan la explicitación de ideas del alumnado (Marchán-Carvajal y Sanmartí, 2015), motivo por el que se ha escogido este tema de relevancia social. Sin embargo, es precisa una formación inicial específica del profesorado de ciencias que integre la enseñanza de los contenidos de la disciplina junto con el conocimiento epistemológico y didáctico del contenido. En este sentido, se propone una secuencia de indagación basada en modelos siguiendo la propuesta en este

capítulo y descrita por Jiménez-Liso et al. (2020) sobre contenidos Controversias Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente – CCTSA – o Controversias Socio-Científicas – CSC (Reis, 2013) para ser implementada durante la formación del profesorado de Física y Química, que se centra en investigar el aumento de la temperatura en el planeta causado por la actividad humana.

El tema seleccionado para la secuencia pretende ayudar a que el alumnado, como parte de una ciudadanía responsable, comprenda aquellas acciones que pueden repercutir en el aumento de la temperatura de la atmósfera, en concreto, la emisión de sustancias gaseosas que intervienen en el efecto invernadero. Con la finalidad de reproducir una atmósfera simulada, se recurrirá a provocar un cambio químico, en concreto, una reacción ácido-base que origina una sustancia gaseosa responsable del efecto invernadero, para tomar medidas de la temperatura, propiedad que permite identificar la formación de un nuevo producto. En el diseño de las actividades se tendrán en cuenta las dificultades de aprendizaje relacionadas con el modelo de cambios físicos y químicos, resaltando que la composición constante y las proporciones múltiples son criterios exclusivos de los cambios químicos (Jiménez-Liso et al., 2021c). Además, las dificultades macroscópicas del alumnado respecto a las propiedades de los gases muestran que los conciben como algo sustancial con muy poco estatus material y que no se perciben, por lo que suelen aceptar su existencia cuando detectan alguna de sus acciones o efectos, y difícilmente lo hacen en situaciones estáticas o en las que no sea percibida alguna de sus propiedades (Domínguez et al., 2000). Es por ello por lo que se pretende que el alumnado compruebe cómo cambia una propiedad, en este caso la temperatura, de una mezcla de gases al someterlas a un proceso físico.

En el siguiente esquema se resumen las actividades que forman parte de la secuencia propuesta para ser implementada durante la formación del profesorado de Educación Secundaria.

Tabla 1. ¿Es cierto que España se convertirá en un gran desierto? Secuencia de actividades basadas en el enfoque de enseñanza por indagación-modelización.

Objetivos	Secuencia de actividades
Enganchar, contextualizar con un fenómeno	T1. Se presenta una noticia de prensa en la que el titular indica que el desierto está avanzando sobre España debido a una disminución de la fertilidad de las tierras ¿Es cierto que España se convertirá en un gran desierto? Se accede a un recurso interactivo elaborado por una compañía encargada de analizar los riesgos climáticos a nivel mundial
Expresar, justificar ideas personales	T2. ¿Cómo podrías averiguar cuáles son las causas de la pérdida de fertilidad de los terrenos? Comunica tus ideas al resto del grupo.
Enganchar, contextualizar con un fenómeno	T3. En el recurso, se indica que las emisiones acumuladas en la atmósfera están acelerando los riesgos de una serie de peligros climáticos. Para conectar con la historia de la ciencia, se muestra una imagen que representa Eunice Foote, la primera científica que obtuvo datos sobre el efecto invernadero en el año 1856. La temperatura ¿aumenta o disminuye al incrementar la concentración de CO ₂ ?
Expresar, justificar ideas personales	T4. ¿Cuáles son vuestras hipótesis? Comunica tus ideas al resto del grupo.
Proporcionar criterios de validación de las ideas. Creatividad.	T5. ¿Cómo podemos comprobar vuestras hipótesis? Planifica o evalúa diseños experimentales.
Expresar, justificar ideas personales	T6. Comunica lo que crees que ocurrirá (representa gráficamente los datos previstos, haz dibujo, explica)
Comparar los datos reales con las ideas personales. Sorprender	T7. Disponemos de sensores de temperatura para recoger los datos. Se realiza el montaje experimental para la toma de datos y la representación gráficamente
Evaluar, conectar	T8. Teniendo en cuenta los datos medidos, ¿qué ocurre... a) si irradiamos con radiación IR el aire? b) ¿si irradiamos aire con mayor concentración de CO ₂ ?
Evaluar, conectar	T9. Teniendo en cuenta los datos medidos, ¿qué ocurre... a) cuando el sol irradia la atmósfera? b) ¿si aumenta la concentración de sustancias gaseosas como el CO ₂ en la atmósfera?

Construir conocimiento descriptivo	T10. ¿Qué podríamos hacer para evitar el aumento de temperatura del planeta?
Reconocer la necesidad de un modelo	T11. Con los datos anteriores, ¿qué le pasará a la temperatura si disminuye la concentración de sustancias?
Expresar / usar el modelo inicial	T12. ¿Puedes explicar con un dibujo qué crees que está pasando en el matraz en cada momento...? Con aire, con mayor concentración de CO₂.
Evaluar el modelo	T13. Algunos estudiantes dibujaron las siguientes imágenes. Compáralas con las tuyas. ¿Son similares? ¿Consideras que son útiles para explicar por qué la temperatura aumenta cuando incrementa la concentración de CO₂? Analizamos la diferencia entre los cambios físicos y químicos en función de la composición y proporciones para seleccionar el modelo adecuado que explique el cambio físico.
Revisar el modelo	T14. Ahora, con el modelo seleccionado, ¿podéis explicar... a) la temperatura encontrada cuando hay aire en el vaso? b) cuando añadimos más CO₂ a la mezcla de gases? c) cuando disminuye la concentración de CO₂?

La secuencia descrita pretende servir como enfoque implícito de trabajar NdC y promover la reflexión explícita mediante los momentos que incorporan debates sobre qué es la ciencia y cómo se construye a través de las prácticas científicas de indagación y modelización. Asimismo, contribuye a discutir las diferencias entre los cambios físicos y químicos al reconocer las limitaciones del modelo de cambio químico para explicar un cambio físico.

3.5 Conclusiones

El primer problema de investigación de la presente tesis doctoral surge de la extensa bibliografía sobre conceptos erróneos relacionados con la enseñanza de los contenidos ácido-base en todos los niveles educativos, incluyendo profesorado en formación, justificando la necesidad de un cambio de los enfoques pedagógicos habituales para enseñar el dominio ácido-base. El objetivo principal de la enseñanza ácido-base tradicional es aprender los conceptos principales por medio de la enseñanza centrada en lo conceptual, a través de dos o tres “teorías” presentadas simultáneamente, lo cual está muy lejos de tener sentido para el alumnado. Sin embargo, la enseñanza centrada en modelos enfatiza explicaciones, interpretaciones y predicciones (Stefani y Tsaparlis, 2009), brindando una oportunidad para reflexionar sobre cómo se construye la ciencia. De esta manera, el alumnado debe aprender a utilizar cada modelo dentro de su dominio de aplicación para abordar diferentes fenómenos.

En este capítulo se han desglosado los argumentos que permitirían al profesorado comprender la necesidad de mejorar la enseñanza de procesos ácido-base por su importancia en la vida diaria y en la resolución de problemas sociocientíficos sobre la salud o el medio ambiente. Asimismo, los enfoques MBI podrían conducir a que sea consciente de cómo se aprende ciencias, tanto desde el punto de vista conceptual como procedimental, e incorporar el desarrollo histórico del dominio ácido-base como fuente inspiración de una gama más amplia de orientaciones y estrategias de enseñanza. La aplicabilidad de los modelos ácido-base debería ser mejor comprendida, y el conocimiento de estos ser transferido a nuevas situaciones, por ejemplo, para reconocer un nuevo proceso como una reacción ácido-base.

De acuerdo con los múltiples beneficios potenciales para aprender naturaleza de la ciencia (NdC) identificados en anteriores estudios, en este primer capítulo se propone un enfoque más profundo y significativo que la enseñanza tradicional. La propuesta proporciona, implícita o explícitamente, la oportunidad de reflexionar sobre cómo se construye el conocimiento científico, por medio de la historia de ácidos y bases, como tema que podría ser utilizado como referencia por el profesorado en su práctica profesional. Este fragmento de la historia de la ciencia, que sobrevive en el currículum actual, ofrece una muy buena

oportunidad para la enseñanza de NdC, sin sobrecargar el ya extenso y concentrado currículum de química.

Además, en el marco de la investigación basada en el diseño, los dos enfoques explícito o implícito de la NdC se puede convertir y, de hecho, así ha sido, en un elemento de diseño de secuencias, de manera que bajo cada enfoque hemos diseñado secuencias diferenciadas (dos implícitas y una explícita) para el mismo tópico sobre ácido-base.

Para finalizar, como aportación global a la tesis de este capítulo, podemos destacar que el enfoque de enseñanza basado en modelos podría promover simultáneamente el debate sobre qué es la ciencia y cómo se construye, combinando así dos elementos de diseño, didáctico (enfoque de enseñanza) y epistemológico (enfoque explícito o implícito), respectivamente. Por tanto, estas ideas clave de gran valor sirven para orientar el diseño de recursos coherentes con las recomendaciones para el desarrollo de la competencia científica y ser utilizadas para el diseño, implementación y evaluación de la propuesta para la formación inicial de docentes.

Capítulo 4
Publicación III

4. Publicación III

4.1 Introducción

La investigación basada en el diseño puede ser de utilidad para explorar los resultados de intervenciones en el aula en contextos reales durante la formación inicial del profesorado, conectando la investigación y el desarrollo a través del vínculo entre la enseñanza y el aprendizaje de un tema concreto (Guisasola y Oliva, 2020). Esta metodología persigue, simultáneamente, desarrollar entornos de aprendizaje y utilizarlos como laboratorios naturales para estudiar el proceso de enseñanza y aprendizaje (Sandoval y Bell, 2004). Con esta finalidad, la secuencia MBI sobre los contenidos ácido-base descrita en el capítulo anterior ha sido implementada, tanto con alumnado de tercer curso de Educación Secundaria Obligatoria como con profesorado en formación de las universidades de Almería y Murcia, por diferentes formadoras de docentes. La autora de esta tesis tuvo la oportunidad de ser partícipe como estudiante durante una estancia de investigación y experimentar sus efectos en primera persona, así como reproducirla con alumnado de la Universidad de Murcia, permitiendo de este modo recoger evidencias sobre la viabilidad de la propuesta teniendo en cuenta los cambios en contextos locales y orientada hacia su utilidad en situaciones de aula reales (Guisasola y Oliva, 2020). Los ciclos iterativos de diseño, implementación, evaluación y rediseño (Guisasola y Oliva, 2020; Plomp, 2013; Romero-Ariza, 2014) de la secuencia posibilitaron incorporar, sucesivamente, modificaciones, considerando los resultados formativos, las producciones del alumnado, las observaciones del proceso de enseñanza-aprendizaje, las grabaciones de video y las opiniones y las emociones vividas de los participantes. Estas orientaron la resolución del problema planteado en la secuencia de enseñanza hacia la necesidad de utilizar un modelo educativo que permitiese articular la integración de la tecnología, habilidades de diseño, modelización matemática, así como aportaciones artísticas, lo que caracteriza a la educación STEAM. La integración mencionada se puede alcanzar cuando los conocimientos y las habilidades están estrechamente interconectados, a través de un problema que va más allá de las disciplinas individuales y que permite a las personas hacer, pensar y hablar sobre ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas.

La propuesta descrita en el capítulo 2 de esta tesis doctoral reúne las características necesarias para ser refinada integrando las disciplinas STEAM, las cuales aparecen de manera natural al hacer frente a una situación real y compleja. La resolución del problema planteado requiere establecer posibles soluciones, indagar y discutir temas controvertidos a través de una metodología centrada en el estudiante (Perignat y Katz-Buonincontro, 2019; Quigley et al., 2017; Sevian et al., 2018; Thibaut et al., 2018), ofreciendo espacios que posibilitan el desarrollo de destrezas cognitivas y creativas, como se persigue en la educación STEAM (Perignat y Katz-Buonincontro, 2019). La utilización de contextos relevantes y significativos como escenarios de aprendizaje promueven competencias de investigación, desarrollan el pensamiento crítico para la resolución de problemas y permiten la toma fundamentada de decisiones (Romero-Ariza et al., 2017).

En esta segunda fase de la investigación se aborda la evaluación formativa, de modo narrativo, de la secuencia diseñada en el anterior capítulo mediante un estudio de caso, con la finalidad de desarrollar el prototipo de la propuesta para la formación inicial del profesorado para dar respuesta al problema de investigación 2: *¿Cómo se podría integrar las formas de hacer, pensar y hablar de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la matemática y el arte para contribuir a la alfabetización en el ámbito STEAM mediante la resolución de un problema de ácido-base?*

La respuesta a este problema la podemos encontrar en los resultados que han sido publicados en el tercer artículo que compone esta tesis doctoral. Este artículo corresponde a la revista *Infancia y Aprendizaje*, a la que agradecemos su publicación, tanto en castellano como en inglés, al tratarse de una revista bilingüe, en el Número Especial 'Redefinir los currículos académicos rompiendo fronteras: La propuesta STEAM (Science-Technology-Engineering-Arts-Mathematics)'. Con la finalidad de evitar reiteraciones, en la tesis doctoral se ha incorporado únicamente la versión en castellano.

4.2 Miradas STEAM desde la necesidad: el caso de la sensopíldora chicles y pH

Luisa López-Banet, F. Javier Perales y M. Rut Jiménez-Liso (2021b). STEAM Views from a Need: The Case of the Chewing Gum and pH Sensopill (Miradas STEAM desde la necesidad: el caso de la sensopíldora chicles y pH)

Journal for the Study of Education and Development/Infancia y Aprendizaje, 44(4).
10.1080/02103702.2021.1927505

La publicación final se encuentra disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02103702.2021.1927505>

Miradas STEAM desde la necesidad: el caso de la sensopíldora chicles y pH

Luisa López-Banet^a, F. Javier Perales^b y M. Rut Jiménez-Liso^c

^aUniversidad de Murcia; ^bUniversidad de Granada; ^cGrupo Sensociencia. CEIMAR-Universidad de Almería

Resumen

El enfoque integrador STEAM surge cuando un problema contextualizado requiere de las diferentes aportaciones (miradas) de cada disciplina para su resolución. En este artículo de naturaleza descriptiva mostramos las miradas necesarias desde la química, la tecnología, las habilidades de diseño, la modelización matemática y la aportación artística necesarias para construir un modelo científico que explique el pH de la boca al masticar chicle. Nos centramos para ello en describir la implementación de una secuencia breve de actividades de indagación contextualizada (innovación didáctica) en dos aulas de estudiantes de 3º de Educación Secundaria Obligatoria (14–15 años) que fueron videograbadas. Las escenas extraídas del análisis de los vídeos de las implementaciones sirven de apoyo para plantear las conexiones necesarias en las aportaciones STEAM. Las dificultades surgidas desde cada disciplina y las propuestas de resolución que planteamos nos alumbran sobre cómo un contexto bien seleccionado convierte en necesarias las miradas STEAM, evitando así el carácter sumativo multidisciplinar habitual.

Palabras clave

Indagación, interdisciplinariedad, logaritmo, sensores, modelización.

Muchos docentes de tecnología, ciencias, matemáticas, lengua, ciencias sociales y artes hemos sentido la necesidad de coordinarnos en numerosas ocasiones y aproximarnos a otras disciplinas con diferentes finalidades (Martín-Páez et al., 2019), pero, sobre todo, con la intención de superar la división disciplinar en aras de una educación más competencial (OECD, 2016). En bastantes ocasiones, estas conexiones curriculares se suelen supeditar a buscar contextos fenomenológicos, tecnológicos o cotidianos para trabajar el contenido científico o matemático, más bien a modo de pretexto en lugar de como contexto aglutinador. Un ejemplo claro de ello es el contexto del COVID-19 en el que nos hallamos inmersos, que aunque ofrece infinidad de oportunidades de trabajar contenidos de las diferentes disciplinas, no conduce necesariamente a una integración de

las mismas: ciencia (virus), tecnología (modelos digitales de tasas de infección), ingeniería (diseño de dispositivos de ventilación), matemáticas (aplanamiento de curvas logarítmicas) o la ingente creatividad de diseños gráficos en simulaciones explicativas de todo lo anterior o de portadas de revistas (e.g., *The New Yorker*).

Desde la mirada disciplinar, los primeros acercamientos entre docentes suelen ser binarios (Física-Matemáticas, Acústica-Música, Arte-Química). Es el caso de las velocidades o desintegraciones radiactivas para trabajar derivadas y diferenciales (LópezGay et al., 2015), las propiedades de la materia relacionadas con la acústica (Hernández et al., 2015), o Ciencia y Música (Pickett & Bianchi, 2018), entre otras posibles.

Tras este primer proceso sumativo, el siguiente escalón de conexión entre docentes de diferentes materias sería la incorporación de más disciplinas, es decir, añadir conocimientos y destrezas de otras áreas relacionadas, pero estaríamos hablando aún de multidisciplinariedad. La integración o interdisciplinariedad se consigue cuando los conocimientos y capacidades están estrechamente interconectados a través de un problema complejo que supera las disciplinas individuales. Dado que la alfabetización en el ámbito STEM se concibe como ‘la capacidad de identificar, aplicar e integrar las formas de hacer, pensar y hablar de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática’, en el caso de las propuestas STEAM se propone que ‘el grado de integración de las diferentes disciplinas avance desde enfoques meramente multidisciplinarios (de suma de disciplinas) a enfoques inter o transdisciplinarios, donde se desdibujan las disciplinas, hablándose incluso de STEAM como una única meta disciplina’ (Simarro & Couso Lagarón, 2018). En otros casos se reclama una STEM más equilibrada que fomente la creatividad y la innovación (Madden et al., 2013; Quigley & Herro, 2016), a sabiendas de que no son exclusivas de las artes.

Son muchas las voces que venían reclamando la incorporación de las artes en el acrónimo STEM (para convertirlo en el acrónimo usado en este artículo, STEAM, Robelen, 2011). Así, desde la investigación neurocientífica se destacan las mejoras que determinadas materias como las artes pueden aportar a los logros académicos como, por ejemplo, en matemáticas (Castelli et al., 2011), lo que subraya la necesidad de iniciativas docentes, como STEAM, que integren estas disciplinas en un plano de igualdad. Entre las múltiples contribuciones que pueden rendir las artes, de una forma reduccionista y subsidiaria del resto de las disciplinas STEM, se ha citado la creatividad (Kim & Kim, 2016), pero también la innovación, la estética o el diseño, promoviendo la curiosidad y la capacidad de exploración de los estudiantes (Connor et al., 2015).

La biografía de científicos (Root-Bernstein & Root-Bernstein, 2013) o de directivos de grandes empresas (Olejarz, 2017) revaloriza la importancia de la creatividad asociada a la educación artística. La creatividad es la habilidad para encontrar unidad en lo diverso e hilos que conectan conceptos aparentemente alejados (Heilman, 2016). Uno de los casos utilizados a menudo como prototípico fue la relación del químico y premio Nóbel Harold Kroto con la arquitectura de Buckminster Fuller basada en cúpulas estables de pentágonos y hexágonos (como los balones de fútbol). Este interés por la arquitectura le hizo

comprender cómo estaban organizada los fullerenos (la forma halotrópica del carbono C60) y que podían ser estables como las cúpulas de Fuller (Judge, 1996).

Robelen (2011) narra cómo los expertos educativos acertaron al añadir las artes (A) a las siglas STEM por la unión de habilidades y procesos artísticos a los objetivos de aprendizaje en ciencias. Esta unión ya venía siendo fructífera en distintos frentes. Uno de ellos es la idea de que las imágenes (y las representaciones 3D) ayudan a comprender fenómenos abstractos (Jewitt, 2008a; Perales & de Jiménez, 2002), pero también porque permiten evaluar o revisar modelos para explicar y predecir fenómenos.

En el caso de una enseñanza contextualizada hay que tener en cuenta que los problemas cotidianos son complejos y difíciles de adaptar a una separación disciplinar habitual, por lo que se requiere por parte del profesorado adoptar enfoques complementarios. A menudo, en clases de ciencias simplificamos tales problemas abordándolos desde disciplinas concretas, obviando el recurso a otras visiones desde disciplinas que pueden resultarnos más alejadas de nuestra especialización. Bajo este prisma, la conexión integrada requiere seleccionar el problema a resolver con ese perfil complejo, proporcionando al profesorado la oportunidad de confluir desde sus diferentes paradigmas disciplinares hacia un proyecto común.

Sin embargo, el contexto STEAM no proporciona a los docentes un enfoque de enseñanza al que asirse. Generalmente la metodología más utilizada suele ser el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con planteamientos abiertos, lo que requiere una inversión de tiempo elevada, con no pocas dificultades (Domenech-Casal et al., 2019), como las de sumar disciplinas en vez de integrarlas o el alto abandono por la presión curricular. Para superar estas dificultades, nuestro grupo de investigación (Sensociencia) ha optado por el enfoque de enseñanza por indagación (Blanco-López et al., 2018), que se inicia con una pregunta contextualizada que mueve a los estudiantes a responderla en breve tiempo, pues le genera conflictos cognitivos que requieren conocimientos necesarios de diferentes áreas disciplinares. De hecho, la escasez de tiempo y el incierto provecho curricular suelen ser dos de los inconvenientes que suelen plantear los docentes para no incorporarse a propuestas STEAM (Nadelson et al., 2013) o para abandonar las iniciadas.

En este trabajo describiremos una intervención educativa en Educación Secundaria Obligatoria (3º ESO, estudiantes de 14–15 años) sobre el efecto de masticar chicle después de las comidas en el pH de la boca. Inicialmente, la secuencia fue concebida con un enfoque de enseñanza por indagación y modelización en ciencias (Jiménez-Liso et al., 2018), que desembocó en reconocer un problema integrador STEAM de manera fluida y natural, lo que hizo replantearnos las potencialidades didácticas del mismo. El análisis de la implementación de la secuencia inicial nos llevó a considerar contenidos STEAM que previamente no habían sido tenidos en cuenta, necesarios para resolver el problema descrito, y el posterior refinamiento de la secuencia para tomar conciencia de los zooms precisos en las diferentes disciplinas que la integran. Dicho proceso es abordado en este trabajo.

Objetivo

El objetivo de este estudio es describir e interpretar el proceso de diseño y refinamiento de una innovación didáctica de corta duración, con un enfoque de enseñanza de indagación STEAM, a partir de la resolución de un problema de la vida cotidiana para, de esta forma, contribuir a allanar las dificultades que este tipo de planteamientos suelen representar para el profesorado. Para las mejoras introducidas o planteadas nos apoyamos en ejemplos extraídos de la implementación de una secuencia inicial de indagación y modelización sobre contenidos de química en dos aulas de 3º de ESO.

La indagación como enfoque de enseñanza

Este artículo procede de un proyecto más amplio en el que se han diseñado secuencias cortas de indagación para implementar en todos los niveles educativos: infantil, primaria, secundaria, bachillerato y formación de docentes (inicial y permanente), denominadas sensopíldoras, esto es, píldoras de aprendizaje (secuencias cortas de duración aproximada 1.5 h) con el prefijo senso porque están diseñadas para usar sens-ores (indagación) y para que los estudiantes tomen conciencia de las sens-aciones que les producen y que tienen sen-tido (modelización) para los mismos (Jiménez-Liso et al., 2021). Todo ello es debido a que, para nuestro grupo de investigación, resulta imprescindible que el alumnado tome conciencia de qué aprende (ciencias, diseño, matemáticas, tecnología, etc.), cómo lo aprende (indagación) y qué emociones le produce (inseguridad, satisfacción, vergüenza, confianza, etc.) (Jiménez-Liso et al., 2021).

La indagación se considera fundamentalmente como la forma de adquirir conocimiento mediante una serie de acciones compatibles con la forma habitual de trabajar en ciencia. Aquella se puede vincular al planteamiento de un proyecto (ABP) o, más limitadamente, a la resolución de problemas, como es el caso que nos ocupa (Aguilera et al., 2018). Tanto el ABP como la indagación han sido sugeridas por diversos autores como compatibles con la implementación de enfoques de enseñanza STEM (Martín-Páez et al., 2019), incluso el ABP lo ha sido también para la enseñanza de las artes (Ghanbari, 2014).

Dada la diversidad de propuestas de enseñanza que se autodenominan como de indagación (Pedaste et al., 2015), queremos señalar que se trata de un enfoque de enseñanza, es decir, un constructo fabricado para los docentes en su rol de diseñadores, de manera que tomen conciencia de qué fases debe contener una secuencia de actividades. Fundamentadas en las propuestas de la National Research Council (NRC, 2012) y en las investigaciones de Barrow (2006) y Crawford (2014), que comparten el objetivo de facilitar un enfoque de enseñanza reconocible por los docentes y útil para favorecer el diseño. Hemos concretado en un ciclo (Figura 1), tanto las fases de la instrucción como el objetivo didáctico (Jiménez-Liso, 2020).

Queremos hacer notar que las fases de este enfoque de enseñanza descrito en el ciclo de indagación (Figura 1) se concentran en dos ideas indispensables: promover la expresión de ideas de los participantes y buscar pruebas que apoyen o refuten esas ideas. El tiempo

invertido en cada una de las fases intermedias dependerá de cada secuencia y de la necesidad de hacer más o menos énfasis en cada una de ellas. En nuestro caso, este ciclo de indagación (Figura 1), donde el conocimiento descriptivo construido genera la necesidad de buscar explicaciones, lo completamos con un ciclo de modelización (Couso & Garrido-Espeja, 2017).

Como decíamos en la introducción, la metodología de enseñanza asociada a STEAM puede ser muy diversa (Han et al., 2015). La ventaja de asumir el enfoque de enseñanza por indagación antes descrito es que, al ser versátil, sirve para integrar cualquiera de las disciplinas implicadas, ya sean matemáticas (Wake & Burkhardt, 2013), tecnología (Lewis, 2006), ingeniería (Borrego & Bernhard, 2011) o artes (Finley, 2011). El enfoque dialógico que conlleva la expresión de ideas personales, indispensable para que se produzca aprendizaje, es idóneo para que de manera natural surja la necesidad de integrar todas las disciplinas, como veremos a continuación.



Figura 1. Ciclo de indagación (Jiménez-Liso, 2020).

Contexto de la intervención

Como avanzamos anteriormente, el objetivo de este estudio es describir el diseño, mejora y refinamiento de una de esas secuencias cortas (1.5 h), en concreto, la sensopíldora sobre chicles y pH de la boca, cuya implementación ha sido descrita y evaluada desde la química (Jiménez-Liso et al., 2018). La secuencia fue desarrollada por una de las autoras a modo de docente en dos aulas de 3º de Secundaria (14–15 años) de un instituto público situado en una zona rural y agrícola, con un elevado porcentaje de estudiantes de segunda generación de inmigrantes de varias culturas diferentes (Europa del Este, Norte de África, Latinoamérica, etc.) y un alto fracaso escolar. El centro y las aulas no fueron elegidos por los investigadores, sino que respondimos a la invitación de dos profesoras de Física y Química que veían complejo desarrollar la indagación con su alumnado que presentaba evidentes dificultades de aprendizaje. Aprovechamos la Semana de la Ciencia del centro para, al margen de los contenidos que estuvieran trabajando, plantear la innovación didáctica en presencia (sin participación) de sus profesoras de Física y Química (dos), de tecnología (dos) y la tutora de artística-dibujo. Ningún docente de matemáticas pudo asistir a la implementación. El alumnado trabajó en pequeños grupos (tres o cuatro estudiantes) durante toda la actividad de enseñanza (1.5 h). El programa guía de actividades se encuentra completo en https://figshare.com/articles/Chicle_y_pH_boca/12237608/1 e <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11830518>. v1. El rol de la tercera autora como docente era doble: por un lado, plantear las actividades y aclarar dudas y, por otro, favorecer la puesta en común del trabajo de los pequeños grupos, promoviendo la discusión y conectando los diferentes puntos de vista que surgieron.

La implementación fue íntegramente videograbada, lo que facilitó ilustrar cómo el diseño de la actividad fue permitiendo la integración de las materias STEAM a lo largo de un proceso.

Preguntas que guían este artículo

En concreto, la implementación de la secuencia por indagación, que inicialmente fue diseñada solo para química (ciencia, S del STEAM), confluyó hacia un diseño STEAM respondiendo a las cuestiones siguientes:

- ¿Qué conexiones con otras miradas STEAM han surgido de manera ‘natural’ a lo largo de la implementación de la secuencia? Para facilitar su interpretación, describiremos a modo de binomios (S-T, M-T, S-E, S-A, S-M), entre la disciplina para la que se planteó inicialmente la actividad de indagación y la modelización (química, ciencia, S), con las otras que surgieron por la necesidad de completar el aprendizaje de los contenidos implicados de forma significativa (T, E, A, M).
- ¿Qué mejoras (refinamientos) de la secuencia ha habido que prever anticipadamente, realizar ad hoc o con posterioridad?

Descripción de la intervención: zoom necesario en los diseños

A continuación, presentaremos el desarrollo de la intervención de la actividad de indagación y modelización mediante lo que denominamos ‘zooms’, es decir, aproximaciones detalladas a las cuestiones que se van planteando y las necesidades de hacer uso de otras disciplinas STEAM para poder afrontarlas. Estos abordajes los haremos por pares (‘binomios’) para facilitar su descripción.

En primer lugar, les preguntamos a los estudiantes si es cierto lo que afirma el anuncio de una marca conocida de chicles de que ‘el pH de la boca desciende al comer, lo que favorece las caries’ y, al masticar chicle, este ‘hace subir el pH de la boca para evitarlas’. Al ser una pregunta cotidiana, sobre un anuncio conocido, los estudiantes se sintieron rápidamente implicados en su respuesta, planteando ideas muy diversas: el chicle tiene ‘algo’ que hace subir el pH; el chicle adsorbe (por adherencia) los restos de comida y, por eso, sube el pH; el chicle se calienta y destruye las bacterias que producen las caries; y, por supuesto, algunos que dicen que es falso el anuncio, sin asociar ninguna explicación adicional.

Al proponerles que confirmasen o refutasen sus hipótesis planteadas, los propios estudiantes generaron una diversidad de diseños experimentales (potencialidad de la secuencia desde la mirada del binomio S-E) que requirieron una evaluación colectiva sobre su plausibilidad y efectividad (Boon, 2006).

Los estudiantes plantearon diseños y discutimos sobre la utilidad de los mismos (¿qué medían?, ¿con eso qué comprobaban?), así como sobre la necesidad del control de variables, esto es, ponían en acción unas capacidades de pensamiento de diseño (Dym et al., 2005): un grupo de cuatro estudiantes planteó echar en un vaso con agua (simulando la boca) algo de comida junto con chicle y medir con papel pH, a lo que otro grupo le respondió que con eso no comprobaban el ‘antes’ y el ‘después’ de añadir chicle, es decir, el efecto del chicle. Otros propusieron chupar papel pH después de comer y otra vez tras masticar chicle, un diseño bien planteado pero que enseguida les evidenció las dificultades técnicas: al medir con medios analógicos (indicadores caseros o papel pH) no hubo cambio alguno. Algún estudiante preguntó si podía usarse algún ‘aparato tecnológico’ que tuviera más precisión en la medida (binomio S-T), convencido de que debía producirse algún cambio en el pH. Puesto que esta necesidad técnica ya la habíamos previsto, les aportamos sensores digitales de pH asequibles y de fácil manipulación (marca Vernier y usando software logger en el ordenador). Los estudiantes introdujeron los sensores en sus disoluciones preparadas y recogieron los datos de forma sencilla, con medidas en tiempo real y la obtención de una gráfica simultánea.

Bajo la guía de la docente, experimental para elaborar un diseño colectivo: a un vaso cuyo contenido era agua sola (pH inicial de 7), se añadirían unas gotas de refresco (el pH baja a 2.5 aproximadamente). A continuación, se trituraría un chicle para disolverlo en agua, se mediría su pH (aproximadamente 7) y se adicionaría al agua con refresco. Tras poner en práctica el diseño experimental, se determinó que, al añadir el chicle disuelto en agua, el pH de la mezcla resultante del agua y el refresco apenas varió, continuando con pH = 2.5. Al comprobar experimentalmente las medidas de pH con el sensor digital, se generó

una gran frustración: ‘Tampoco hace nada’. Esto provocó la confrontación con sus ideas iniciales acerca de que el instrumento de mayor precisión nos iba a permitir observar cómo sube el pH, tal y como afirmaba el anuncio. En este momento, se generó entre los estudiantes la siguiente cuestión: ‘¿y si añadimos mucha agua, que tiene $\text{pH} = 7$?’. La adición de agua al vaso con agua y refresco provocó un gran revuelo, trasvasaron el vaso a otro más grande (hasta buscar un cubo) para ir poco a poco añadiendo agua destilada. Mencionaron entonces estas otras cuestiones: ‘¿qué pasa?, ¿por qué no sube el pH si estamos añadiendo agua que es $\text{pH} = 7$?’, que requieren un doble proceso de modelización:

- Construcción de un modelo matemático (mirada STEAM basada en el binomio S-M) que permita explicar las gráficas dinámicas obtenidas con los sensores co-nectados a un software de ordenador y predecir qué condiciones tienen que darse para que sí cambie el pH. Con este zoom matemático ayudamos a construir el concepto de logaritmo ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$).

- Construcción de un modelo científico más sofisticado que permita explicar por qué no sube el pH y con qué sustancias sí subiría inmediatamente. Este modelo requiere la interpretación de dibujos y elaboraciones gráficas de este proceso químico (mirada STEAM binomio S-A). Con este zoom artístico ayudaremos a explorar otros modos de representación de ideas, problemas o soluciones con el fin de contribuir a la construcción de un pensamiento visual.

A continuación, vamos a detenernos en el zoom tecnológico necesario para poder continuar con la construcción del modelo científico.

Zoom tecnológico necesario

Desde hace años se vienen describiendo las ventajas de incorporar herramientas tecnológicas a las clases de ciencias, como suplemento auxiliar a la memoria o como facilitador de soluciones (Jonassen, 2011). Estas ventajas se hacen aún más patentes en el laboratorio cuando usamos sensores, por sus facilidades de inmediatez, de autocomprobación y la representación de ideas tanto verbal como pictóricamente que desarrollan todo su potencial didáctico (López-Simó et al., 2018). Así, Shanwei et al. (2019) encontraron que los sensores permitieron crear un auténtico ambiente de aprendizaje en el que emergían las intuiciones del alumnado con fluidez.

Dado que en el diseño de la secuencia teníamos previsto ofrecer los sensores de pH, ello contribuyó a que la comprobación se cargara de realismo al poder verificar que el pH no variaba ni añadiendo un litro de agua, así como el tanteo a sugerencia de la docente: ‘¿qué podemos añadir para que sí varíe?’, ‘¿y pasta de dientes?’. La pasta de dientes disuelta en agua destilada dio valores de $\text{pH} = 10$ que, al añadirse al vinagre ($\text{pH} = 2.5$), lo hizo variar notablemente. Algunos grupos repitieron el experimento para ‘conseguir $\text{pH} = 7$ ’.

La utilización de sensores y su inmediatez en la comprobación provocó unos minutos bastante intensos en cuanto a participación y entusiasmo de los estudiantes. De modo

complementario usamos otras herramientas tecnológicas, como las simulaciones, que promueven la construcción de los modelos químicos necesarios para explicar el fenómeno y que abordaremos en la siguiente sección.

Es en estos momentos cuando surge de un modo imprevisto el problema matemático (binomio T-M) que, durante la implementación, tuvimos que obviar, pero que ahora planteamos como una mejora o refinamiento de la secuencia: el pH es una escala logarítmica y no lineal.

Zoom matemático necesario

A pesar de aparecer habitualmente en los anuncios de cosméticos (pH de la piel 5.5) o de lavavajillas (Jiménez-Liso et al., 2000), el currículo reserva los contenidos relacionados con la regulación del pH al último curso de Bachillerato, sin apenas más introducción en los cursos previos que el uso de la escala de pH.

Similar a la historia de los logaritmos (Navarro-Loidi & Llombart, 2008), Sørensen, en 1909, con el fin de evitar las potencias de 10 con exponente negativo con las que se expresa la concentración de iones de Hidrógeno, definió el concepto de pH (potencia del ion Hidrógeno): para una disolución neutra a 25°C, el pH sería igual a 7; para una disolución de ácido clorhídrico (1 mol por litro), el pH sería cero; y para una disolución de sosa de un mol por litro, el pH sería igual a 14. ¿En qué repercute la expresión matemática sobre la concepción química de las medidas de pH? Como éste es el ‘exponente negativo de la concentración del ion hidrógeno’, cuando la concentración es 0.01 (10^{-2}), su pH es 2. Esta conversión matemática genera mucha confusión entre los estudiantes: ¿por qué el pH sube cuando la acidez baja?

Anteriormente hemos descrito la sorpresa de los estudiantes de ESO al comprobar que el pH = 2.5 del agua con gotas de vinagre no varía a pesar de añadirle mucha agua destilada (pH = 7). Esta sorpresa pone de manifiesto un obstáculo matemático en un problema químico, surgiendo la necesidad de conectar ambas miradas para resolverlo.

Al convertir el pH, que responde a una escala logarítmica, en una expresión decimal, los estudiantes tienden a pensar que es una escala lineal y que la adición de agua destilada a una disolución ácida debiera haber producido un aumento lineal del valor del pH. Ante este obstáculo una estrategia útil consiste en incorporar explícitamente la relación que existe entre ambos tipos de escalas, lo que se denomina covariación logarítmica, mejorando así su comprensión (Ferrari & Farfán, 2008). En la reciente pandemia del COVID-19 tenemos ejemplos de interpretación y representación de la información de las gráficas de las escalas lineal y logarítmica. Lo importante es coordinar cambios en la velocidad, cambios de pendiente de la curva logarítmica, así como explicar por qué una curva es de variación continua o qué es lo que indica un punto de inflexión (pico de la curva). Por tanto, es necesario ofrecer situaciones que impliquen una función dinámica y visualizar que, mientras una cantidad está cambiando, otra lo hace al mismo tiempo, variando ambas de manera instantánea (Carlson et al., 2002). Los sensores, además de permitir esta visualización dinámica, completan una tabla que ayuda a conceptualizar

(Confrey & Smith, 1994) la variable independiente (adición de agua) y dependiente (valor de pH).

En la secuencia inicial implementada en las dos aulas de 3º ESO obviamos este obstáculo porque nos detuvimos en analizar los resultados de la estrategia de enseñanza mediante modelización química que veremos en el siguiente apartado. Pero ¿qué aporta el zoom matemático al binomio S-M de la secuencia STEAM?, ¿qué actividades deberíamos incorporar para salvar el conflicto químico producido por la expresión matemática del pH?

Numerosos estudios ponen de manifiesto que la presencia matemática en las secuencias STEAM queda relegada a un segundo plano, subyugada a un mero papel funcional (Maass et al., 2019; Martín-Páez et al., 2019). Para evitarlo, en primer lugar, es conveniente que el problema y la solución matemática surjan de forma natural, contextualizada y necesaria, es decir, sin la que no podríamos avanzar en el problema químico; de hecho, al obviarlo en la implementación, el alumnado fue capaz de decidirse por la neutralización del ácido de la boca con pasta de dientes, pero no de construir argumentos en contra de la dilución por falta de la modelización matemática necesaria. En segundo lugar, hay que diseñar actividades específicas en las que detenernos en el conjunto del problema. Por ello planteamos la siguiente innovación educativa a incorporar en la secuencia inicial como una actividad a añadir para el zoom matemático:

Si el chicle actuara por dilución, partiendo de una disolución ácida, ¿cuánto volumen de agua (simulando a la saliva) habría que añadir para neutralizarla? En el enlace en https://figshare.com/articles/Chicle_y_pH_boca/12237608/1 e <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11830518.v1> mostramos la secuencia completa con la resolución del problema, donde se puede ver que es necesario incrementar 100,000 veces el volumen inicial para aumentar el pH de 2 a 7. Esta es una cantidad desorbitada de agua o, en el contexto del chicle y de la acidez de la boca, una cantidad de saliva diaria imposible de producir (habitualmente generamos menos de dos litros de saliva al día).

De igual manera que se resalta la importancia de la lectura e interpretación de las tablas (García-Mila et al., 2016), la representación gráfica dinámica a tiempo real que nos proporcionan los sensores permite comparar la gráfica esperada (lineal, en verde) con la que se obtiene en realidad (en rojo) (Figura 2).

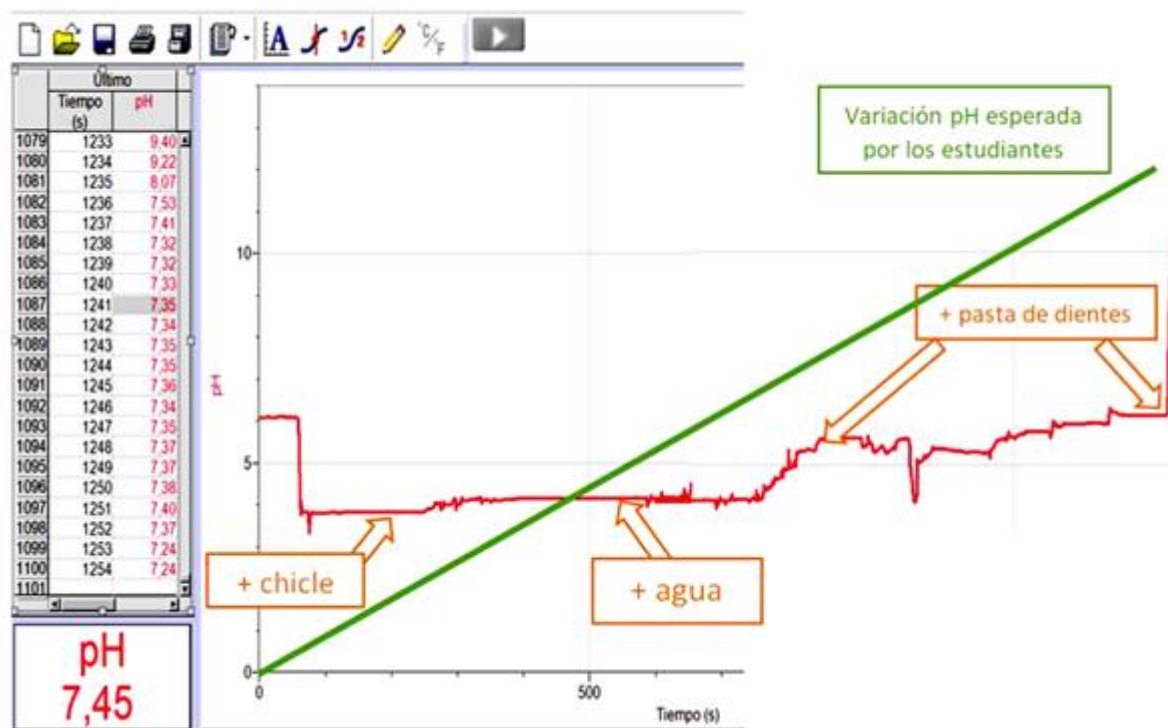


Figura 2. Idea inicial (línea recta ascendente) de variación de pH al añadir agua o chicle. Variación real al ir añadiendo chicle, agua, pasta de dientes.

La comparación de datos a tiempo real y los valores de cantidad de agua que deberíamos añadir para neutralizar ($\text{pH} = 7$, cien mil veces el volumen de agua o saliva), o también la comparación instantánea entre lo imaginado (gráfica lineal) y lo obtenido a tiempo real (gráfica logarítmica), ayudan a superar el problema matemático y posibilitan resolver ahora el problema químico que enunciaríamos del modo siguiente: ¿qué sucede en el agua con vinagre cuando le añadimos más agua o cuando le añadimos pasta de dientes?

Modelización química: un zoom artístico necesario

En el caso que nos ocupa de la secuencia pH-chicle tenemos una doble conexión natural con las artes visuales. En primer lugar, la actualidad se encuentra saturada de imágenes, tecnologías y prácticas que hacen uso de aspectos visuales como elementos de comunicación, quedando atrás que el aprendizaje es producido únicamente por medio de elementos lingüísticos y dando paso a importantes implicaciones para la comunicación, la creatividad y la educación, por lo que lo visual produce y representa cultura. En el contexto contemporáneo, es esencial explorar cómo la imagen y otras formas simbólicas de representación son rasgos característicos de la enseñanza, lo que exige desarrollar nuevas capacidades y prácticas sobre el manejo de información, gestión y análisis de la misma. Las tecnologías digitales tienen el potencial de acercar una amplia gama de recursos al aula e impactar en el aprendizaje al influir en el trabajo de interpretación (y

producción) de recursos. Además, en la ciencia escolar, el profesorado requiere hacer uso de imágenes y tecnologías visuales para representar ideas científicas de aquellos contenidos que no son visibles (Jewitt, 2008b). Sin embargo, el alumnado cada vez se encuentra más expuesto a una sobrecarga publicitaria en la que se incorporan elementos visuales para llamar la atención de los consumidores, incluso incorporando mensajes de carácter científico que deben ser interpretados críticamente. Ciencia y publicidad presentan relaciones importantes que pueden condicionar el aprendizaje al hacer un uso inadecuado de los contenidos científicos (Campanario et al., 2001). Por tanto, la interpretación de recursos textuales, visuales y sonoros, por ejemplo, mediante el análisis de códigos de imágenes del anuncio con el alumnado, promueve la reflexión explícita acerca de lo que subliminalmente pretende inculcarnos, es decir, ideas sobre lo perjudicial para nuestros dientes (caries) de la bajada del pH (Figura 3 en rojo) al comer alimentos, y lo beneficioso (en azul) de masticar chicles para subir el pH. En segundo lugar, se trata de la producción de imágenes para dar una respuesta a un problema por medio de la exploración de diseños que, estéticamente, alcancen el objetivo de crear un modelo explicativo a una pregunta científica. Tras la toma de datos, se solicita a los estudiantes que expliquen con dibujos qué creen que sucede ‘por dentro’ en el vaso que contiene agua y vinagre al añadirle chicle, agua o pasta de dientes. Las dificultades de los estudiantes para poder expresar lo que creen que sucede suelen atribuir las a sus limitaciones artísticas: ‘maestra, no sé dibujar’, ‘puff, me va a salir un churro’, ‘¿qué quieres que dibujemos?’, ‘ponnos un ejemplo’. A pesar de sus reticencias a dibujar, lo que manifiestan son sus dificultades de conceptualizar, de pensar qué creen que sucede ‘por dentro’ en el líquido (agua y vinagre) cuando le añadimos más agua (dilución) o pasta de dientes (neutralización). Como este proceso se produce después de haber observado los datos de pH, son conscientes de que dibujos como estos (Figura 4) no son suficientemente explicativos del proceso y demandan un modelo que les ayude a ello.

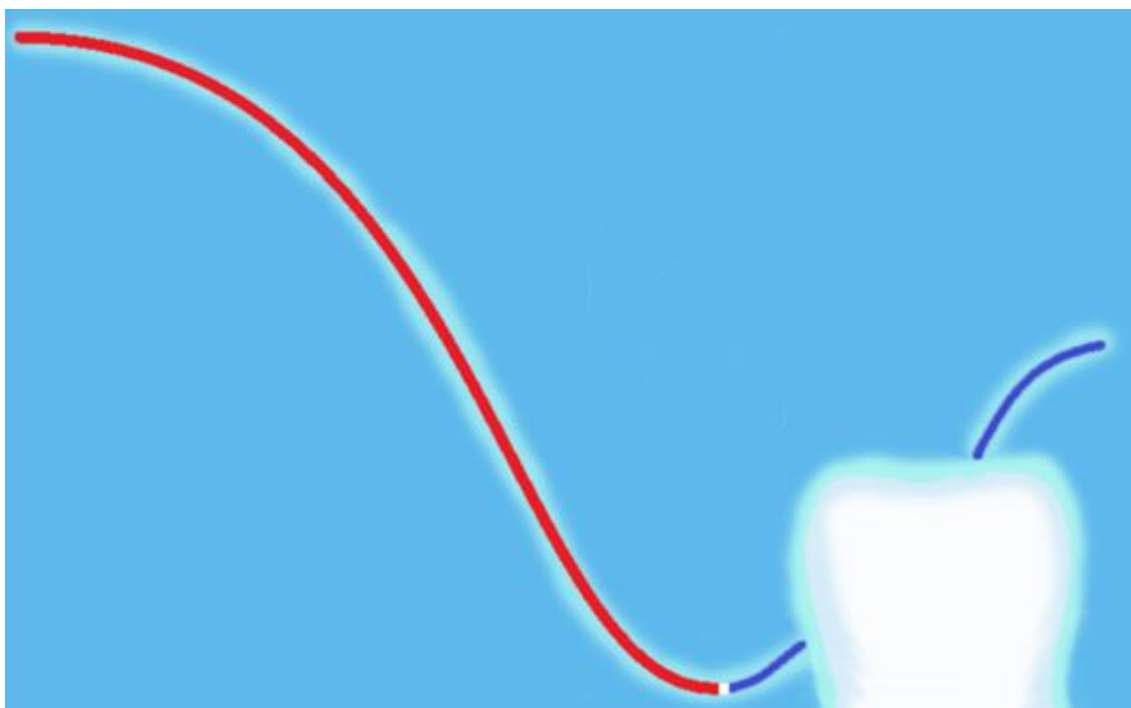


Figura 3. Imagen adaptada del anuncio de chicle sobre la curva del pH.



Figura 4. Dibujo inicial para explicar el pH en el agua con vinagre (Jiménez-Liso, et. al., 2010).

Ante las dificultades iniciales de explicar con dibujos qué ocurre en el proceso, la investigadora ayuda a construir un modelo ácido-base de triángulos (para los ácidos) y comecocos (para las bases), basado en el modelo histórico de Lemery (Erduran & Kaya, 2019), que sirve para explicar la acidez, la neutralización y la basicidad en función del número de triángulos, comecocos y círculos (neutros) que se representen (Jiménez-Liso et al., 2018).

Este modelo visual les ayuda a entender cómo explicar lo que ha sucedido con el vinagre, con el chicle y con la pasta de dientes. Concretamente, les permite contabilizar y ordenar su idea de ‘lucha’ o de ‘predominio’ que eran capaces de verbalizar, pero no de dibujar. La utilidad del modelo es tal que, sin haberlo previsto, permitió a una alumna transferir

con creatividad e innovación, ante una situación no prevista, la presencia de gases en el proceso (Figura 5) e incorporar un diseño en el que los comecocos (bases) debían tener ‘pajaritas’ que volaban cuando se juntaban con los triángulos (ácidos) y eso es lo que hacía inflar el globo. Debemos reseñar que durante la sesión se centró la atención en la reacción entre el ácido y la base, pero no en la producción del gas, y esta alumna, espontáneamente, se propuso dar explicación también a esa parte mediante el modelo referido.



Figura 5. Dibujo de una alumna para explicar por qué se infla el globo al añadir bicarbonato al vinagre (Jiménez-Liso, et. al., 2010).

Estos hechos (lucha, predominio, pajaritas) ponen de manifiesto que la observación de fenómenos (cambio de color y reversibilidad) hace superar el inicial rechazo a dibujar ('no sabían') hacia la capacidad de representar visualmente, de explicar, en función de la relación triángulos y comecocos y de transferir el modelo a una situación no prevista (pajaritas). La conexión entre el binomio S-A se convierte en mutualismo, en simbiosis equilibrada donde ambos se complementan pues, como señalan Gershon y Ben-Horin (2014), las artes pueden favorecer las capacidades creativas asociadas a la indagación y a la modelización, y viceversa, cerrando el círculo STEAM que hemos iniciado en este trabajo.

Somos conscientes de que la integración de las artes en nuestro caso es limitada, dado que simplemente explora una de las múltiples posibilidades que encierra el binomio S-A a través del mundo de la imagen, tanto estática como dinámica, y que hemos apuntado previamente (Perales, 2006). Sin embargo, creemos que entroncaría con los objetivos de la asignatura de la ESO prevista en la actual Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE, 2015), denominada 'Educación Plástica, Visual y Audiovisual' o la de 'Cultura Audiovisual' del Bachillerato.

En conclusión

Un anuncio de televisión sobre chicles presuntamente beneficiosos para evitar la caries se ha convertido en un excelente contexto cotidiano que ha actuado como detonante de una serie de problemas cuya resolución no es exclusivamente científica. La narración de lo sucedido durante la implementación de la secuencia en dos aulas de 3º de ESO en un ambiente difícil por razones sociales, económicas y culturales, nos ha ayudado a reflexionar sobre los obstáculos de las áreas STEAM en las que, a menudo, los docentes de ciencias no solemos detenernos por falta de tiempo o de referentes previos pero que, en este caso, han sido imprescindibles para resolver el problema.

La referida falta de tiempo alegada por numerosos docentes para no desarrollar secuencias STEAM con enfoques de enseñanza por indagación (Ebenezer et al., 2011; Vázquez-Bernal et al., 2012) la superamos proponiendo una secuencia de corta duración en la que se desarrolla íntegramente un ciclo de indagación, otro de modelización matemática y otro de modelización química. Por tanto, estas dos disciplinas (S) y (M) se abordan en mayor medida que las restantes (E, T y A), aunque pueden ampliarse en un futuro. Para que su integración fuera completa, en un currículo tan diferenciado por materias como el de la ESO, propondríamos la incorporación de un análisis de los propios modelos para incorporar el estudio de la sintaxis de la representación gráfica, de su gramática y de la forma en que los estudiantes pueden apropiarse de ellas o utilizarlas, mediante la cooperación de docentes de dichas áreas, lo que reforzaría el papel de la A en el acrónimo STEAM. A su vez, el uso de los sensores de pH conectados al ordenador podría permitir que el alumnado identificase su utilidad para la asignatura de Tecnología, tal como en los contenidos de ‘Uso de ordenadores y otros sistemas de intercambio de información’ o ‘Sistemas automáticos, componentes característicos de dispositivos de control’ (LOMCE, 2015).

Queremos destacar que la implementación descrita en este artículo sucede en aproximadamente 1.5 h de clase; no obstante, con la propuesta que hacemos de reforzar la conexión S-M, la secuencia final de indagación y modelización STEAM se vería ligeramente ampliada en el tiempo. Por tanto, esta actividad de innovación educativa permitiría desarrollar contenidos de cinco áreas simultáneamente sin requerir de un tiempo excesivo como se suele destacar al realizar proyectos STEAM (Domenech-Casal et al., 2019), lo que a nuestro juicio constituye una de las virtudes de este estudio. Es por lo que somos conscientes de que este modelo no es exactamente compatible con el tipo de proyectos que se describen en la literatura STEAM. Sin embargo, nos gustaría enfatizar que unidades de este tipo permitirían que los estudiantes comprendiesen de forma holística y significativa ciertos conceptos químicos, al integrar herramientas, lenguajes y/o conceptos de otras disciplinas. De cualquier forma, abogamos por proyectos que, con esta filosofía, puedan abarcar periodos académicos más prolongados.

Creemos haber mostrado una línea de actuación docente en la que se parte de una actividad central inherente a un área del currículo, en este caso un problema de química, y en la que las conexiones binómicas S-T, S-E, S-M y S-A han ido surgiendo por

necesidad, porque el problema complejo-contextualizado así lo requería. De esta forma hemos puesto de manifiesto que la resolución de dicho problema genera mutualismo, esto es, necesidades mutuas entre las diferentes áreas, superando así la crítica de que en la mayoría de las propuestas STEAM alguna de las disciplinas se ve menos desarrollada (Maass et al., 2019; Martín-Páez et al., 2019). El problema aglutinador de la sensopíldora chicles y pH, cuya resolución requiere los conocimientos y destrezas de las disciplinas STEAM, lo aleja del carácter multidisciplinar hacia el interdisciplinar (English, 2016), fundamentado en las relaciones estrechas y ‘naturales’ entre áreas.

Con el objetivo de que no pasen desapercibidas estas relaciones, en cada apartado hemos ido resaltando las conexiones naturales con sus detonantes (diseño de experimentos para comprobar, S-E), refinamiento de los instrumentos de medida (S-T, M-T), mejora introducida para la modelización matemática (S-M), análisis de los recursos textuales-visuales-sonoros del anuncio publicitario inicial y toma de conciencia del uso implícito de la imagen (S-A) en la modelización química.

El hecho de que en esta secuencia corta hayamos conseguido conectar todas las disciplinas STEAM no debe convertirse en una condición imprescindible para futuras secuencias. Más bien queremos hacer un llamamiento para la promoción de este tipo de actividades, donde las conexiones entre disciplinas surjan de un modo intrínseco a la resolución de la tarea, porque de ello depende el sentido que le atribuyan nuestros estudiantes, evitando con ello la rotunda pregunta de ‘¿esto para qué sirve?’ (o ‘¿para qué tenemos que aprender esto?’). En este análisis debemos reconocer que en una secuencia tan corta hemos podido plantear una primera aproximación a la conexión entre todas las áreas STEAM. La brevedad de la secuencia puede suponer un obstáculo en sí misma, pues los docentes de cada área (incluidos los de Química) pueden pensar que se trabajan pocos y superficialmente los contenidos de sus disciplinas. Ante esto queremos destacar que esta secuencia integradora STEAM puede ser el detonante, para equipos interdisciplinares de docentes, de cara a plantear proyectos más ambiciosos en los que profundizar en contenidos disciplinares relacionados.

Como proyección futura estimamos la necesidad de ampliar este modelo de secuencias breves a otros contenidos y contextos susceptibles de un tratamiento similar, que contemplen problemas cotidianos y apoyados en recursos accesibles al profesorado y alumnado, lo que sin duda animaría a su utilización más frecuente en nuestros centros educativos. La pandemia COVID-19 en la que nos hallamos inmersos tiene a muchos docentes de disciplinas diferentes recopilando material (simulaciones, artículos de investigación, artículos de prensa, fake news, etc.) que utilizar en sus aulas. Se plantea un reto educativo sin precedentes para entrecruzar los aprendizajes STEAM sin que este contexto quede relegado a un mero pre-texto (Lupión-Cobos et al., 2017; Moraga et al., 2019).

A más largo plazo, sería deseable reestructurar el currículo fragmentado de que disponemos en centros de interés (ya ideados por Ovide Decroly a principios del siglo pasado) que promuevan la participación y formación de equipos de docentes de distintas áreas (incluyendo las artísticas) que favorezcan la implementación de actividades

STEAM auténticas. De hecho, una vertiente más de esta experiencia ha sido su transferencia a la formación permanente del profesorado, al formar parte un curso de formación docente sobre indagación en la que los profesores, realizando el papel del alumnado, pudieron vivenciar y reflexionar sobre dicha actividad. Ello daría pie a poder planificar en el futuro a la constitución de equipos de profesores de distintas disciplinas interesados en la planificación conjunta de este tipo de actividades.

Agradecimientos

Al alumnado y a las docentes del IES Murgi de El Ejido por su invitación, por implicarse en esta intervención y por sus inigualables comentarios. Al Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI), a la Agencia Estatal de Investigación (AEI), al fondo FEDER (PGC2018-097988-A-I00, EDU2017-82197-P) y al Ministerio de Ciencia (PRX19/00364) y a la Junta de Andalucía (P20_00094) como entidades financiadoras.

Conflicto de intereses

Los autores no han referido ningún potencial conflicto de interés en relación con este artículo.

ORCID

Luisa López-Banet <http://orcid.org/0000-0002-1951-4242>

F.-Javier Perales <http://orcid.org/0000-0002-6112-2779>

M. Rut Jimenez-Liso <http://orcid.org/0000-0002-2175-1650>

Referencias

- Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, A., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M., Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Inquiry-based Science Education. A systematic review of Spanish production. Revista de Educación*, 381, 259-284. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265-278. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>
- Blanco-López, Á., Martínez-Peña, B., & Jiménez-Liso, M. R. (2018). ¿Puede la investigación iluminar el cambio educativo? *APICE, Revista de Educación Científica*, 2(2), 15-28. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4612>
- Boon, M. (2006). How science is applied in technology. *International Studies in the Philosophy of Science*, 20(1), 27–47. <https://doi.org/10.1080/02698590600640992>
- Borrego, M., & Bernhard, J. (2011). The emergence of engineering education research as an internationally connected field of inquiry. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 14–47. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2011.tb00003.x>
- Campanario, J. M., Moya, A. y Otero, J. (2001), Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad, *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 45-56).
- Carlson, M., Jacobs, S., Coe, E., Larsen, S., & Hsu, E. (2002). Applying covariational reasoning while modeling dynamic events : A framework and a study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 33(5), 352–378. <https://doi.org/10.2307/4149958>
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Hirsch, J., Hirsch, A., & Drollette, E. (2011). FIT Kids: Time in target heart zone and cognitive performance. *Preventive Medicine*, 52(SUPPL.), S55. <https://doi.org/10.1016/j.yjpm.2011.01.019>
- Confrey, J., & Smith, E. (1994). Exponential functions, rates of change , and the multiplicative unit. *Educational Studies in Mathematics*, 26(2/3), 135–164. <https://www.jstor.org/stable/3482782>
- Connor, A. M., Karmokar, S., & Whittington, C. (2015). From STEM to STEAM: Strategies for enhancing Engineering & Technology Education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 5(2), 37-47. <http://dx.doi.org/10.3991/ijep.v5i2.4458>
- Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and modelling in pre-service teacher education: Why we need both. In: Hahl K., Juuti K., Lampiselkä J., Uitto A., Lavonen J. (Eds). *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research*, vol 3. (pp. 245-261). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58685-4_19

- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman, S. K. Abell (Eds.). *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 515–541). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267>
- Domenech-Casal, J., Lope, S., & Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(2), 2203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- Dym, C., Agogino, A., Eris, O., & Frey, D. (2005). Ingeniería de pensamiento de diseño , enseñanza y aprendizaje. *Revista de Ingeniería*, 94(1), 103-120. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- Ebenezer, J., Kaya, O. N., & Ebenezer, D. L. (2011). Engaging students in environmental research projects: Perceptions of fluency with innovative technologies and levels of scientific inquiry abilities. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 94–116. <https://doi.org/10.1002/tea.20387>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Erduran, S., & Kaya, E. (2019). *Transforming teacher education through the epistemic core of chemistry*. Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15326-7>
- Ferrari, M., & Farfán, R. M. (2008). Un estudio socioepistemológico de lo logarítmico: La construcción de una red de modelos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 11(3), 309–354. <http://funes.uniandes.edu.co/10345/1/Ferrari2008Un.pdf>
- Finley, S. (2011). Critical Arts-Based Inquiry. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE handbook of qualitative research* (pp. 435–450). Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- García-Mila, M., Pérez-Echeverría, M. P., Postigo, Y., Martí, E., Villarroel, C., & Gabucio, F. (2016). Nuclear power plants? Yes or no? Thank you! The argumentative use of tables and graphs / ¿Centrales nucleares? ¿Sí o no? ¡Gracias! El uso argumentativo de tablas y gráficas, *Infancia y Aprendizaje*, 39,1, 187-218. <https://doi.org/10.1080/02103702.2015.1111605>
- Gershon, W. S., & Ben-Horin, O. (2014). Deepening inquiry: What processes of making music can teach us about creativity and ontology for Inquiry Based Science Education. *International Journal of Education & the Arts*, 15(19), 1–37. <https://doi.org/10.1177/1321103X0001500110>
- Ghanbari, S. (2014). *Integration of the Arts in STEM: A Collective Case Study of Two Interdisciplinary University Programs*. University of California, San Diego. Retrieved from <http://csusm->

dspace.calstate.edu/bitstream/handle/10211.3/121208/GhanbariSheena_Spring2014.pdf?sequence=1

- Han, S., Capraro, R., & Capraro, M. M. (2015). How Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Project-Based Learning (PBL) affects high, middle, and low achievers differently: the impact of student factors on achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(5), 1089–1113. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9526-0>
- Heilman, K. M. (2016). Possible brain mechanisms of creativity. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 31(4), 285–296. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw009>
- Hernández, M. I., Couso, D., & Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2–3), 356–377. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- Jewitt, C. (2008a). Multimodality and literacy in school classrooms. *Review of Research in Education*, 32(February), 241–267. <https://doi.org/10.3102/0091732X07310586>
- Jewitt, C. (2008b). *The visual in learning and creativity: A review of the literature*. Institute of Education, University of London.
- Jiménez Liso, M. R., de Manuel Torres, E., González García, F., & Salinas López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: Aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 18(3), 451–461. <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21696/21530>
- Jiménez-Liso, M. R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). In D. Couso, M. R. Jimenez-Liso, C. Refojo, & J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 60–69). Penguin Random House Grupo Editorial. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Jiménez-Liso, M. R., Avraamidou, L., Martínez-Chico, M., & López-Gay, R. (2021). Scientific practices in teacher education: The interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39(1), 44–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158>
- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., & Salmerón-Sánchez, E. (2018). Chewing Gum and pH Level of the Mouth : A Model-based Inquiry Sequence to Promote Scientific Practices. *World Journal of Chemical Education*, 6(3). <https://doi.org/10.12691/wjce-6-x-x>
- Jiménez-Liso, M. R., López-Gay, R., & Márquez, M. (2010). Química y cocina : del contexto a la construcción de modelos (Chemistry and cooking: from context to building models). *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 65, 33–44. <https://www.grao.com/es/producto/quimica-y-cocina-del-contexto-a-la-construccion-de-modelos-al06519215>

- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., & Salmerón-Sánchez, E. (2018). Chewing gum and pH level of the mouth : A model-based inquiry sequence to promote scientific practices. *World Journal of Chemical Education*, 6(3), 113–116. <https://doi.org/10.12691/wjce-6-x-x>
- Jonassen, D. (2011). Supporting Problem Solving in PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 5(2), 9–27. <http://doi.org/10.7771/1541-5015.1256>
- Judge, A. (1996). *Understanding Sustainable dialogue: The secret within bucky's ball?* Retrieved from <https://www.laetusinpraesens.org/musings/bucky.php>
- Kim, B. H. & Kim, J. (2016). Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM Education in Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1909-1924. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1537a>
- Lewis, T. (2006). Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum? *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 255–281. <https://doi.org/10.1002/tea.20111>
- LOMCE (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *BOE*, 3 de enero. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- López-Gay, R., Martínez Sáez, J., & Martínez Torregrosa, J. (2015). Obstacles to mathematization in physics: The case of the differential. *Science and Education*, 24(5–6), 591–613. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9757-7>
- López-Simó, V., Grimalt-Álvaro, C., & Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 15(3), 3302 1-15. https://doi.org/https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3302
- Lupión-Cobos, T., López-Castilla, R., and Blanco-López, Á. (2017). What do science teachers think about developing scientific competences through context-based teaching? A case study. *International Journal of Science Education*, 39(7), 937–963. <http://doi.org/10.1080/09500693.2017.1310412>
- Maass, K., Geiger, V., Romero-Ariza, M., & Goos, M. (2019). The role of Mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM - Mathematics Education*, 51(6), 869–884. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01100-5>
- Madden, M. E., Baxter, M., Beauchamp, H., Bouchard, K., Habermas, D., Huff, M., Ladd, B., Pearson, J., & Plague, G. (2013). Rethinking STEM education: An interdisciplinary STEAM curriculum. *Procedia Computer Science*, 20, 541–546. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.316>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of

- literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sc.21522>
- Moraga, S. H., Espinet, M., and Merino, C. G. (2019). El contexto en la enseñanza de la química: Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en formación inicial. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1604. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1604
- Nadelson, L. S., Callahan, J., Pyke, P., Hay, A., Dance, M., & Pfiester, J. (2013). Teacher STEM perception and preparation: Inquiry-based stem professional development for elementary teachers. *Journal of Educational Research*, 106(2), 157–168. <http://doi.org/10.1080/00220671.2012.667014>
- Navarro-Loidi, J., & Llombart, J. (2008). The introduction of logarithms into Spain. *Historia Mathematica*, 35(2), 83–101. <https://doi.org/10.1016/j.hm.2007.09.002>
- NRC (2012). *A framework for K-12 Science Education. Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas*. The National Academies Press.
- OECD (2016). *PISA 2015. Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos. Informe Español*. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Spain.pdf>
- Olejarz, J. (2017). Liberal Arts in the Data Age. *Harvard Business Review*, (July-August), 144–145. <https://hbr.org/2017/07/liberal-arts-in-the-data-age>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., ... Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Perales, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 13-30. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/73529>
- Perales, F. J., & de Jiménez, J. D. (2002). Las Ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369–386. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21826/21660>
- Pickett, S., & Bianchi, L. (2018). Let music be the food of...science! *Primary Science*, 153(May), 8–10. Retrieved from https://www.ase.org.uk/system/files/8-10_4.pdf
- Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). “Finding the Joy in the Unknown”: Implementation of STEAM Teaching Practices in Middle School Science and Math Classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 410–426. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9602-z>
- Robelen, E. W. (2011). STEAM: Experts make case for adding arts to STEM. *Education Week*, 31(13), 8. https://www.edweek.org/ew/articles/2011/12/01/13steam_ep.h31.html

- Root-Bernstein, R., & Root-Bernstein, M. (2013). The art and craft of home. *Educational Leadership*, 70(5), 16–21. <http://www.ascd.org/publications/educational-leadership/feb13/vol70/num05/The-Art-and-Craft-of-Science.aspx>
- Shanwei, J. L., Lim, K. Y. T., De, Y. M., & Hilmy, A. (2019). Exploring the affordances of open-source sensors in promoting authenticity in mathematics learning. In Y.-S. Hsu & Y.-F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM Teaching Practices* (pp. 117–137). Singapore: Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7_8
- Simarro, C., & Couso Lagarón, D. (2018). Visiones en educación STEAM: y las mates, ¿qué? *Uno. Revista de Didáctica de La Matemática*, 81, 49–56. <https://www.grao.com/es/producto/visiones-en-educacion-steam-y-las-mates-que-un08193917>
- Vázquez-Bernal, B., Mellado, V., Jiménez-Pérez, R., & Taboada, M. C. (2012). The process of change in a science teacher's professional development: A case study based on the types of problems in the classroom. *Science Education*, 96(2), 337–363. <https://doi.org/10.1002/sce.20474>
- Wake, G. D., & Burkhardt, H. (2013). Understanding the European policy landscape and its impact on change in mathematics and science pedagogies. *ZDM - International Journal on Mathematics Education*, 45(6), 851–861. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0513-7>

4.3 Conclusiones

Como segunda fase de la investigación basada en el diseño, en este capítulo se ha descrito el proceso de refinamiento de un enfoque de enseñanza de indagación basada en modelos, que implica la resolución de un problema de la vida cotidiana para conseguir la integración o interdisciplinariedad. El enfoque integrador STEAM surge al proponer un problema contextualizado cuya resolución requiere diferentes miradas. Este modelo educativo permite cuestionar una enseñanza fundamentalmente transmisora, reduccionista y contextualizada en situaciones académicas, para transformarla en una experiencia de aprendizaje que permite el desarrollo integral del individuo y fomenta el pensamiento crítico, la creatividad y las destrezas de resolución de problemas (Romero-Ariza et al., 2021).

La mayoría de las propuestas descritas en el marco de educación STEAM se apoyan en metodologías activas y colaborativas. Este es el caso del aprendizaje por indagación, basado en el uso de controversias socio-científicas en el aula, por tratarse de temas científicos de actualidad con repercusiones sociales, éticas o ambientales, que generan incertidumbre, riesgo o controversia y que, por tanto, ofrecen un escenario estimulante para promover el aprendizaje interdisciplinar.

El estudio de caso analiza las miradas necesarias para construir un modelo científico que explica el pH de la boca al masticar chicle, incluyendo los enfoques desde la tecnología, las habilidades de diseño, la modelización matemática y el arte. Por tanto, se trataría de un contexto bien seleccionado que convierte en necesarias las miradas STEAM, evitando el carácter disciplinar sumativo.

Capítulo 5
Publicación IV

5. Publicación IV

5.1 Introducción

El núcleo central de esta tesis consiste en investigar cómo diseñar, implementar y evaluar una secuencia de enseñanza por indagación y modelización para la formación inicial de docentes de secundaria. El capítulo anterior ha permitido justificar las decisiones del diseño de la secuencia de enseñanza para abordar la investigación en el contexto de formación inicial de profesorado de Educación Secundaria. En este sentido, se ha pretendido dotar de importancia tanto al diseño como a la propuesta didáctica, frente a hacerlo exclusivamente al análisis de los datos obtenidos tras su implementación (Oliva, 2020). Para cada etapa de la investigación basada en el diseño, los investigadores deben seleccionar los métodos de evaluación que mejor se ajustan a la cuestión a resolver (Nieveen y Folmer, 2013). Respecto a nuestro problema, de acuerdo con el marco teórico expuesto en el primer capítulo de esta tesis doctoral, diversos estudios han resaltado la necesidad de incorporar la reflexión entre la teoría y la práctica en la formación del profesorado (Carlson y Daehler, 2019; Crawford, 2007; Kitchen y Petrarca, 2016; Korthagen, 2010; McDonald et al., 2014; Rivero y Jiménez-Liso, 2021), y tomar conciencia de los aspectos afectivos (Bellocchi et al., 2016; Mellado et. al., 2014; Korthagen, 2010; Rivero y Jiménez-Liso, 2021). En este sentido, la última fase de la investigación basada en el diseño debe servir para analizar su utilidad en el cambio de pensamiento del profesorado al autorregular su propio aprendizaje y reflexionar sobre el proceso de enseñanza. En concreto, la propuesta diseñada será implementada durante la formación del profesorado de Educación Secundaria de las Universidades de Almería y Murcia con la finalidad de estudiar las emociones experimentadas al vivir la secuencia diseñada, así como verificar si presentan relaciones con el compromiso hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base.

Por tanto, los resultados de este capítulo nos van a ayudar a validar la utilidad y efectividad de la puesta en práctica de las actividades propuestas (Nieveen y Folmer, 2013) para la formación del profesorado. En concreto, el siguiente artículo incluido en la tesis doctoral tiene la intencionalidad de dar respuesta al problema de investigación 3: *¿Permite una secuencia de actividades de indagación*

basada en modelos que el profesorado en formación de la Universidad de Almería y Murcia tome conciencia de la importancia de vincular lo cognitivo y lo afectivo en el aprendizaje para promover la competencia científica?

Para analizar el aprendizaje del profesorado en formación tras vivenciar la secuencia de actividades por indagación y modelización, descrita y fundamentada en los anteriores capítulos, necesitamos que se tome conciencia de la importancia de lo afectivo en el aprendizaje. Por ello, prestaremos especial atención a los estudios basados en marcos emocionales que han comenzado a asociar las emociones con la participación en proyectos desafiantes y la resolución creativa de problemas, probando que el compromiso con la ciencia escolar y las actividades de modelización es multidimensional (emocional, cognitiva y de comportamiento). Una limitación de las investigaciones anteriormente realizadas estriba en el excesivo énfasis prestado a las componentes cognitiva y de comportamiento, con exclusión de la dimensión emocional, lo que actualmente constituye una línea de investigación en educación científica en constante crecimiento (Bellocchi et al., 2016; Mellado et. al., 2014). Este es el caso del estudio abordado por Castillo (2022), quien ha analizado los momentos de una secuencia de indagación basada en modelos que contribuyen a crear un clima emocional que favorecen el aprendizaje sobre flotación y hundimiento de objetos. En esa secuencia se destacan como momentos clave el inicio al responder a la pregunta de investigación (¿cómo conseguir que un bote con cierre hermético ni flote ni se hunda?) y la construcción y utilización de modelos para explicar el fenómeno planteado.

Los resultados incorporados en este capítulo se encuentran publicados en el cuarto y último artículo que conforman esta tesis doctoral.

5.2 Emotional and cognitive preservice science teachers' engagement while living a model-based inquiry STEM sequence about acid-base

El último artículo que forma parte de esta tesis doctoral por compendio pertenece a la revista *Frontiers in Psychology*, a la que agradecemos la publicación y permitir su reproducción en esta memoria.

Luisa López-Banet, David Aguilera, M. Rut Jiménez-Liso y F. Javier Perales-Palacios (2021a). Emotional and cognitive preservice science teachers'

engagement while living a model-based inquiry STEM sequence about acid-base. *Frontiers in Psychology*, 12, 719648. 10.3389/fpsyg.2021.719648.

La publicación final se encuentra disponible en acceso abierto en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.719648/full>



Emotional and Cognitive Preservice Science Teachers' Engagement While Living a Model-Based Inquiry Science Technology Engineering Mathematics Sequence About Acid-Base

Luisa López-Banet¹, David Aguilera², M. Rut Jiménez-Liso^{3*} and F. Javier Perales-Palacios²

¹ Department of Science Education, Faculty of Education, University of Murcia, Murcia, Spain, ² Department of Science Education, Faculty of Science Education, University of Granada, Granada, Spain, ³ Sensociencia Team, CEIMAR-University of Almería, Almería, Spain

OPEN ACCESS

Edited by:

David Gonzalez-Gomez,
University of Extremadura, Spain

Reviewed by:

Heike Itzek-Greulich,
Thomas Morus Secondary School,
Germany
Jin Su Jeong,
University of Extremadura, Spain

*Correspondence:

M. Rut Jiménez-Liso
mrjimene@ual.es

Specialty section:

This article was submitted to
Educational Psychology,
a section of the journal
Frontiers in Psychology

Received: 02 June 2021

Accepted: 06 September 2021

Published: 08 October 2021

Citation:

López-Banet L, Aguilera D,
Jiménez-Liso MR and
Perales-Palacios FJ (2021) Emotional
and Cognitive Preservice Science
Teachers' Engagement While Living
a Model-Based Inquiry Science
Technology Engineering Mathematics
Sequence About Acid-Base.
Front. Psychol. 12:719648.
doi: 10.3389/fpsyg.2021.719648

Science inquiry and modeling activities have been proved to heighten emotional situations; therefore, research about emotions should aim to identify which activities promote student engagement with Science, Technology, Engineering and Mathematics fields through multidimensional models that include emotional and cognitive engagement. This research is focused on science teachers' need to carefully review their classroom instructions to ensure that students are provided with opportunities to develop appropriate understandings of acid/base models (and their concepts). To achieve this, we have implemented a short model-based inquiry acid-base instructional sequence in the context of a TV-spot about chewing gum. A descriptive, non-experimental quantitative methodology with a heuristic (emotional: self-report questionnaire; and cognitive: self-regulation questionnaire) has been used to analyze what Pre-Service Secondary Education Teachers from several Spanish universities recognize to have learned and felt in each activity. Differences regarding knowledge declared by the participants were identified in all the tasks from before to after carrying them out. Furthermore, the results seem to indicate that there are significant relationships between the knowledge and the emotions, being different depending on the skill involved. Significant correlations between emotions have been found. However, there were no significant correlations with either rejection and knowledge or with other emotions, which points to emotional engagement. Generally, no significant differences were identified between emotions and gender or universities, with some exceptions between genders in two tasks. Thus, the results led us to reflect on the instructional sequence implementation's ability to bring awareness to the learning process and how it produces multidimensional engagements.

Keywords: cognitive engagement, emotional engagement, gender roles, model-based inquiry (MBI), preservice chemistry secondary teachers, scientific methods, skills development, STEM-science technology engineering mathematics

INTRODUCTION

Daily life situations in which people must use scientific knowledge of acids and bases are numerous and imply making decisions about certain actions that involve socio-scientific controversies in the face of unfounded advertisements about health or home remedies. Nevertheless, the scarcity of acid/base contents to explain everyday phenomena at levels below high school, both in the official curriculum and in textbooks (Jiménez-Liso et al., 2002), makes it difficult for teachers to see the need to introduce them to Secondary School or to have teaching resources to lean on. Therefore, a specific acid/base training for teachers that integrates these chemical contents with pedagogical content knowledge is essential. To achieve this, it is necessary to design instructional sequences of authentic practices for teachers, with a clear and recognizable teaching approach that connects this knowledge with everyday phenomena and that also promotes epistemological knowledge.

The role of emotions during teacher training has been scarcely researched even though the process of learning to be a science teacher is a situated social practice that is infused with emotion (Bellocchi et al., 2014). It has been proven that science inquiry and modeling activities can heighten emotions (Jimenez-Liso et al., 2019). We wanted, thus, to focus on measuring the instructional sequence designed for pre-service teachers on a combination of multiple dimensions of engagement. As Sinatra et al. (2015) mentioned, engagement in the scientific practices as a whole has not been extensively researched, and therefore the specific connections among the behavioral, cognitive, emotional, and agentic dimensions of engagement are speculative.

In this paper, we want to measure an integrated view of engagement that considers multiple dimensions in interaction (some of the dimensions of engagement overlap). Therefore, we address this issue by implementing and evaluating the Model-Based Inquiry (MBI in advance) instructional sequence's effect on Pre-Service teachers' (PSTs in advance) emotional and cognitive engagement related to acid/base contents as they develop professional competence in this field.

THEORETICAL FRAMEWORK

The teaching and learning of scientific practices in which students are engaged is emerging in many countries (Jaber and Hammer, 2016). Students learn not only the knowledge but also scientific skills in each practice, and they are able to recognize a broad spectrum of scientific methods rather than just one (Halawa et al., 2020). However, PSTs may not notice all of these benefits; because they lack prior professional experience, their spontaneous conceptions about teaching, which are rooted in their extensive experience as students, represent a real obstacle to change in teaching (Tobin and Espinet, 1989). To achieve substantial changes (Milner et al., 2012) the teaching approach itself must respond to the proposed MBI approach so that future teachers are trained following the same approach that they are to implement with their students (van

Zee and Roberts, 2001; van Zee, 2006; Wee et al., 2007). In this sense, different studies have shown the importance and effectiveness of future teachers, during their training process, experiencing innovative instructional sequences that serve as a model teaching approach (Wandersee et al., 1994; Jimenez-Liso et al., 2021). Such instructional sequences consist of integrated learning of content, teaching strategies, and students' ideas. Some authors have gone further by suggesting that future teachers can participate in cycles of planning, teaching, and reflection on their experiences in the schools (Parker, 2006; Zembal–Saul, 2009).

Furthermore, chemistry is in a good position to contribute to achieving one of the United Nations (2021) Sustainable Development Goals (SDGs), that of gender equality, and to respond to UNESCO (2017) suggestion that science teachers can positively influence girls' interest in STEM subjects. Chemistry can help shape young women's future choice of professional STEM careers, from an inclusion perspective and can play a prominent role in the treatment of biases with a model of good systemic practices. The development of practical skills, training in cultural competence, and promotion of approaches aimed at improving equality, diversity and inclusion, should help to achieve the SDGs (Mehta et al., 2018). For these reasons, in this theoretical framework, we chose to focus on the MBI teaching approach, on justifying the need for an initial training of eminently practical teachers and on the cognitive and emotional dimensions that will be the object of measurement of the instructional sequence evaluation.

Model-Based Inquiry

Many international research projects and reports opt for the MBI approach—which aims to promote the learning of scientific competence by involving students in the design and development of their own scientific research—due to its advantages of motivating students and favoring both the learning of science and the characteristics of scientific activity. The MBI model presents learning as a dynamic process aimed at building descriptive, explanatory, and predictive knowledge, and producing an evolution of the students' ideas as they wonder about natural events (Khan, 2007; Windschitl et al., 2008; Schwarz, 2009). For this reason, inquiry and modeling are considered two of education's purposes to which scientific disciplines must contribute to involve students in the practice of science.

Jiménez-Liso et al. (2018) described the implementation, among Secondary Education students, of a sequence of inquiry and modeling on the acid/base contents through the use of pH-meters that allow students to explain and predict outcomes based on acid/base phenomena. In addition to the conceptual learning objective, such as understanding the difference between dilution and neutralization, the sequence promotes the development of research skills, and helps students to be aware of the constructed procedural knowledge. Throughout the process, students are dedicated to raising questions and expressing, justifying, and discussing their ideas through different forms of communication (oral and written language, graphics, drawings, etc.), designing the search for tests to contrast their own ideas,

METHOD

Description of the Instructional Sequence

To achieve the abovementioned aims, two teachers (first and third authors of this paper) implemented a short MBI acid-base instructional sequence (length 2 h) in the context of a TV-spot about chewing gum (López-Banet et al., 2021). The implementation was composed of ten tasks or key moments that PSTs responded to individually before sharing and discussing them with the whole class. T1–T9 are included in Table 1, and T10 consists of the self-regulation of learning and feelings. The sequence described above requires coordinating diverse disciplines that constitute the STEM field (Martín-Páez et al., 2019), by encompassing chemical contents (Science), the understanding of a logarithmic scale (Mathematics) through a dynamic visualization with sensors (Technology) and generating a variety of experimental designs (Engineering). Furthermore, both the interpretation of several types of resources (such as textual, visual, or sound) and the skill of creating an explanatory model for a scientific question, leads to a natural connection with the visual arts. Thus, a STEAM view is needed from the interdisciplinary of the teaching proposal, which is further enriched by the incorporation of knowledge and skills from all areas (López-Banet et al., 2021).

Research Sample

Two groups of PSTs in training participated in this study. They were students of a two-semester academic calendar master's degree at two public universities, which is compulsory for earning a certification for secondary school teaching in Spain. Both groups consist in a variety of students participating in the same MBI sequence that it was taught by two teachers with different profiles of their respective master's degrees, at University of Almería and Murcia (different training plan), in the same academic term (2020/21). These circumstances are unique and prevent from having a greater sample size. It is worth mentioning that the participants had never experienced MBI instructional sequences when they enrolled in this master's program.

The first group was 27 PSTs (18 women and 9 men) from the University of Almería, who had previously studied Biology (11), Biotechnology (5), Chemistry (2), Biochemistry (2), Environmental sciences (2), Food Technology (2), Geology (2) and Pharmacy (1). The second group had 18 students (11 women and 7 men) from the University of Murcia, who had pursued Chemistry (6), Physics (6), Biochemistry (4), Chemical Engineering (1) and Food Technology (1).

Instrument for Evaluating Pre-Service Teachers Engagement

In order for PSTs to notice the what and how of learning as well as what emotions they felt, at the end of the instructional sequence we added *in situ* measures of the self-regulations of learnings and emotions with a questionnaire that has a minimal disruption of the flow of PSTs learnings, because it is a task (T10) inside of the instructional sequence with coherence and sense to teachers

and students (Jimenez-Liso et al., 2021). Emotional engagement is addressed by the presence of emotions associated with the learning outcomes (such as interest and concentration) and the absence of emotions that would hinder the task (rejection). The cognitive dimension refers to all the strategies that students must develop in order to build significant learning processes, including self-regulation of learning.

We used a descriptive, non-experimental quantitative methodology using a Knowledge and Prior Study Inventory (KPSI) as self-regulation questionnaire (Tamir and Amir, 1981; Jimenez-Liso et al., 2019) and emotions recognized by PSTs in the key moments of the applied inquiry sequence. The KPSI consists of a self-report on ten emotions: nine of them (rejection, concentration, insecurity, interest, boredom, confidence, satisfaction, dissatisfaction, and bashfulness) were in a previously validated questionnaire (Jimenez-Liso et al., 2019). We also included another emotion (surprise) because surprising observations could later elicit the “aha” or awe moment, which scientists have linked to the learning process and to situations of discovery (Cuzzolino, 2021). PSTs were able to select the emotion label related to all the key moments following the sequential order of the model-inquiry sequence. In order to self-regulate the knowledge, before and after the sequence was implemented, PSTs answered on a scale of 1 to 5 (1: I know nothing; 2: I know a little; 3: I know well; 4: I know it very well; and 5: I can explain it to a friend) for each key moment, in chronological order.

Data Analysis

A descriptive analysis was carried out for the knowledge variable (minimum, maximum, median, mean, and standard deviation) and a frequency analysis for the different emotions under consideration. Non-parametric tests were also applied, as the sample size as well as the nature of the data recommend it. The U-Mann Whitney test was used to determine significant differences among independent samples, according to the university to which the students belonged and to their gender. The Wilcoxon W test was used to verify the significance of the differences between the pre and post results of the knowledge variable. The Spearman correlation coefficient was calculated to determine the relationship between the knowledge reached by the students in the post-test phase and the emotions experienced during the experience. Also, in order to determine the relationship between gender and emotions, Pearson's Chi-square was calculated. Finally, Cohen's *d* (effect size, ES) was calculated for the knowledge variable. The indications of Cohen (1988) were followed to interpret the ES.

RESULTS

No significant differences in knowledge were identified based on gender nor based on the students' universities in any of the tasks, with the exception of T2 (How can we prove that they are acidic?). Specifically, at the time prior to performing the second task, there were significant differences ($p = 0.005$) between the University of Murcia (mean = 3.61; Standard dev. = 0.979) and the University of Almería (mean = 2.74; Standard dev. = 0.813),

TABLE 1 | Knowledge declared by the participants for the 9 tasks, before and after carrying them out.

Task (before/after)	N	Minimum	Maximum	Median	Mean	Standard deviation	Evolution*	Z	.p	ES
T1: What are acid substances (before)	45	2	5	3	2.80	0.869	1.2	-5.259	<0.01	1.353
T1 (after)	45	2	5	4	4.00	0.905				
T2: How can we prove that they are acidic? (before)	45	1	5	3	3.09	0.973	1.27	-5.203	<0.01	1.445
T2 (after)	45	2	5	5	4.36	0.773				
T3: Hypothesis on the effect of chewing gum on the pH of the mouth (before)	45	1	5	1	1.58	0.783	2.49	-5.478	<0.01	2.616
T3 (after)	45	1	5	4	4.07	1.095				
T4: Design and evaluate experiments to test your hypothesis (before)	45	1	5	2	2.20	0.944	1.53	-5.597	<0.01	1.530
T4 (after)	45	2	5	4	3.73	1.053				
T5: Chewing gum pH data analysis: coincidences and discrepancies (before)	45	1	5	2	1.80	0.919	2.13	-5.597	<0.01	2.207
T5 (after)	45	1	5	4	3.93	1.009				
T6: If chewing gum dilutes acids or neutralizes them (before)	45	1	5	1	1.56	0.841	2.53	-5.704	<0.01	2.641
T6 (after)	45	1	5	4	4.09	1.062				
T7: The mathematical zoom: liters of saliva to "neutralize" the acids in the mouth (before)	45	1	5	1	1.62	0.886	2.34	-5.709	<0.01	2.510
T7 (after)	45	1	5	4	3.96	0.976				
T8: "Pac-man" model to explain why the pH drops in the mouth after chewing Orbit gum (before)	45	1	5	1	1.47	0.842	2.95	-5.862	<0.01	3.759
T8 (after)	45	2	5	5	4.42	0.723				
T9: "Pac-man" model to explain why the balloon is inflated (baking soda and vinegar). Make sense of the chemical formulation (before)	45	1	5	1	1.58	0.839	2.71	-5.770	<0.01	3.222
T9 (after)	45	2	5	4	4.29	0.843				

*Evolution in the average of the knowledge perceived in each item of the questionnaire KPSI (before and after).

being equated after the development of the activity, at which time there were no significant differences. This data could be due to previous academic training, since at the university in which a lower initial value was obtained, they have more varied degrees, the majority being from the field of biology, while practically all the university students who obtained a higher value had degrees whose contents were closer to those dealt with in the sequence. These factors could explain the higher initial value. For example, those with the qualifications of biology, environmental sciences, or geology gave scores of less than 3 on knowing this task, while those with degrees in chemistry, physics, and biotechnology gave scores of greater than 3 (Chemistry graduates averaged scores were 3.88). Table 1 includes the values on their learning, which were perceived by the participants regarding each task.

On the other hand, significant differences were identified in the nine tasks from before to after carrying them out (Table 1), with an increase of more than 2.5 after completing the following tasks: 6 (If chewing gum dilutes acids or neutralizes them); 8 (the "Pac-man" model to explain why the pH drops in the mouth after chewing Orbit gum); and 9 ("Pac-man" model to explain why the balloon is inflated), which increase seems to indicate

that the PSTs perceived that they learned new knowledge about the effect of chewing gum, as well as they developed a model to explain what happens (Figure 1). In addition, the obtained ESs indicate substantial progress in terms of the students' perceived knowledge gains (Table 1).

Regarding the emotions they manifested throughout the sequence, in general there was a high interest in the activity as well as concentration and surprise (Figure 1).

Generally, no significant differences were identified between emotions and gender, with the following exceptions: Women ($N = 19$) manifested concentration to a greater extent than did men ($N = 9$) in task 1 ($\chi^2 = 4.543$; $p = 0.033$); and in task 4, women ($N = 10$) also manifested greater insecurity ($\chi^2 = 5.114$; $p = 0.024$) and greater dissatisfaction (women $N = 6$; men $N = 0$) ($\chi^2 = 5.538$; $p = 0.019$).

With regards to the differences between universities, the students from UAL ($N = 12$) showed significantly more insecurity than did those from UMU ($N = 0$) ($\chi^2 = 10.909$; $p = 0.001$) and more dissatisfaction (UMU $N = 0$; UAL $N = 6$) ($\chi^2 = 4.615$; $p = 0.032$) in task 4 (Design and evaluate experiments to test your hypothesis). In task 5 (Chewing gum pH data analysis), UAL students ($N = 7$) showed significantly more insecurity than did

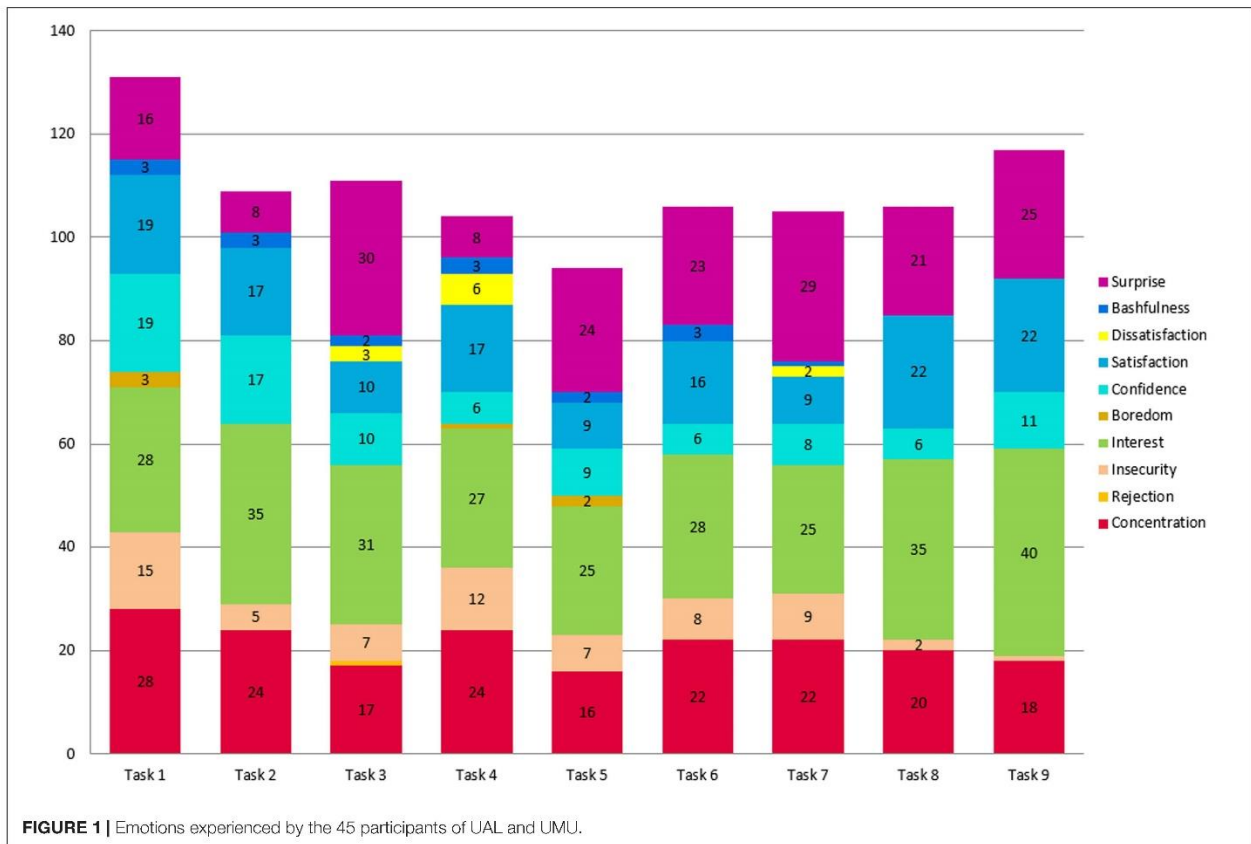


FIGURE 1 | Emotions experienced by the 45 participants of UAL and UMU.

TABLE 2 | Correlations between knowledge declared by the 45 participants (posttest) and emotions.

Task	Knowledge	Concentration	Rejection	Insecurity	Interest	Boredom	Confidence	Satisfaction	Dissatisfaction	Bashfulness	Surprise
T1	Knowledge	0.011	.	-0.317*	-0.084	-0.327*	0.352*	-0.061	.	-0.153	0.006
T2	Knowledge	0.023	.	-0.400**	-0.098	.	0.384**	0.144	.	-0.454**	-0.017
T3	Knowledge	0.258	0.149	-0.045	0.030	.	0.202	0.088	-0.407**	-0.319*	0.062
T4	Knowledge	0.073	.	-0.231	0.065	0.030	0.502**	0.240	-0.455**	-0.093	-0.218
T5	Knowledge	0.193	.	-0.203	0.065	-0.183	0.133	0.133	.	-0.297*	-0.110
T6	Knowledge	-0.183	.	-0.189	0.021	.	0.156	0.254	.	0.029	0.051
T7	Knowledge	0.029	.	-0.543**	-0.002	.	0.271	-0.036	0.254	-0.171	0.186
T8	Knowledge	0.093	.	-0.107	0.083	.	0.124	0.298*	.	.	0.054
T9	Knowledge	0.157	.	-0.95	0.298*	.	-0.037	0.189	.	.	0.171

*The correlation is significant at the 0.05 level (bilateral). **The correlation is significant at the 0.01 level (bilateral).

those from UMU ($N = 0$) ($\chi^2 = 5.526$; $p = 0.019$). In task 6 (If chewing gum dilutes acids or neutralizes them) the UAL students ($N = 8$) showed more insecurity than did those from UMU ($N = 0$) ($\chi^2 = 6.486$; $p = 0.011$), while those from UMU ($N = 13$) exhibited more surprise than did those from UAL ($N = 10$) ($\chi^2 = 5.351$; $p = 0.021$). Likewise, in task 6 the UAL students ($N = 6$) showed more confidence than did UMU students ($N = 0$) ($\chi^2 = 4.615$; $p = 0.032$). Finally, in task 8 (“Pac-man” model to

explain why the pH drops in the mouth after chewing gum) the UAL students ($N = 6$) experienced a greater degree of confidence than did the UMU students ($N = 0$) ($\chi^2 = 4.615$; $p = 0.032$). It is worth mentioning that these results should be taken with caution since some of the significant differences may be due to the small number of students participating in the study. Thus, some of the emotions identified by UAL students have not been identified by any of the UMU (confidence, in tasks 6 and 8, insecurity

TABLE 3 | Correlations between emotions declared by the 45 participants (posttest).

Concentration									
Rejection									
Insecurity		T4: -0.363*							
Interest		T5: -0.478** T7: -0.427**	T5: -0.364**						
Boredom		T8: -0.371*	T1: -0.378*	T1: 0.343*					
Confidence			T1: 0.318*	T7: -0.335*	T6: -0.528**				
Satisfaction		T7: -0.400**			T7: -0.349*				
Dissatisfaction						T4: 0.306*			
Bashfulness						T1: -0.313*	T3: -0.807**		
Surprise						T7: -0.302*			
								T5: 0.423**	
									T1: -0.387**

*The correlation is significant at the 0.05 level (bilateral); **The correlation is significant at the 0.01 level (bilateral).

in tasks 4, 5, and 6, dissatisfaction in task 4), and significant differences may result as a consequence of the fact that the UMU group is smaller.

Regarding the correlations between emotions and knowledge (Table 2), emotions were coded dichotomously (appearing or not appearing).

The results indicate that the relationship between knowledge and emotions declared by PSTs were different depending on the skill involved, as shown in Table 2. Nevertheless, it seems that concentration, rejection, and surprise are not significantly correlated to knowledge. Thus, in order to go further, significant correlations between emotions have been found in 8 of the 9 tasks (Table 3).

Regarding the abovementioned emotions that are not correlated to knowledge, concentration appears to be negatively correlated to insecurity when the PSTs designed and evaluated experiments. Also, these emotions were negatively correlated with interest using several skills, such as analyzing data, figuring out the liters of saliva to “neutralize” the acids in the mouth and using a model to explain why the pH drops in the mouth after chewing the gum. Finally, concentration was also negatively correlated to satisfaction when they were calculating the liters of saliva. Thus, depending on the skill, concentration could be related to less insecurity, or interest or satisfaction. On the other hand, surprise was negatively correlated to interest when PSTs had to define an acid, thus they who acknowledged less knowledge manifested a greater surprise after the implementation of the sequence. Additionally, surprise and confidence were positively correlated with the analyzed data, which result could mean that they who were surer about this skill were more surprised when they realized the results. Finally, there were no significant correlations with either rejection and knowledge or with other emotions, which points to emotional engagement.

CONCLUSION

According to studies based on emotional frameworks, student engagement with school science and modeling activities is multidimensional (emotional, cognitive, and behavioral) (Mellado et al., 2014; Bellocchi et al., 2015; Jimenez-Liso et al., 2021). In the study reported in this article, special attention has been paid to analyzing the learning perceived by PSTs after experiencing an acid-base sequence of activities by inquiry and modeling to promote their awareness of the importance of the affective in learning.

In this paper, the results seem to indicate that there are significant relationships between the knowledge and the emotions expressed by the participants in all of the activities. In some tasks, expressing greater confidence or satisfaction was positively related to greater perceptions of learning. Moreover, the students who considered they had learned more declared that they felt emotions that imply security in relation to skills as responding to the problem, proposing an experimental design to solve it, as well as explaining what happens through the use

of a model. In the case of using a model, knowledge would be related to greater satisfaction and interest, which result is similar to that of previous studies where PSTs declared satisfaction or interest when they were “doing scientific practices” (Jimenez-Liso et al., 2019). However, those who showed less learning mentioned negative emotions in tasks that involved skills, such as making hypotheses, developing experimental designs, and conducting data analysis. Moreover, in each of these tasks where PSTs recognized different emotions, some of them showed significant correlations between them.

These results constitute a sample of the nature of PSTs’ emotional engagement with scientific practices considering diverse previous academic training and the students’ gender. On the one hand, although previous formation would affect their initial ideas, the results are similar for the rest of the tasks. Moreover, the implementation of the STEM sequence with PSTs did not show significant differences by gender, neither in the perceived knowledge nor in their expressed emotions. Thus, the involvement of both boys and girls in sequences with meaning and emotional commitment constitutes a possibility to alleviate the gender gap in STEM studies.

Furthermore, previous studies have found that participants who recognized the usefulness of scientific practices for supporting science learning stated their intention to implement them as future teachers (Jimenez-Liso et al., 2019). Thus, we can conclude that the acid/base MBI instructional sequence that was put into practice with both groups of PSTs might help them to notice the connection between theory-practice and to become conscious of the importance of including the scientific practices as part of the teaching and learning process.

Finally, as the main limitation of this research is the sample size, future perspectives would include teaching the same MBI sequence to more participants enrolled in similar master’s programs. This enlargement would allow not only to compare

the obtained results but also to extend the conclusions regarding emotional engagement indicated by the present results.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

ETHICS STATEMENT

The participants provided their written informed consent to participate in this study according to the Research Ethics Commission of the University of Murcia.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

LL-B drafted the manuscript and implemented the proposal at University of Murcia (Spain). DA performed all the statistical determinations and analyzed data. MRJ-L designed the research and implemented the proposal at University of Almería (Spain). FJP-P discussed the results and revised the manuscript. All authors ensure that evidence-based claims were made, revisions to logical sequencing of ideas, editing the manuscript drafts, and conceptual input.

FUNDING

This work has been partially financed by the projects PGC2018-097988-A-I00, PID2020-116097RB-I00, and UAL2020-SEJ-D1784 funded by FEDER/Ministry of Science and Innovation (MCI) of Spain-State Research Agency (AEI) and P20_00094 funded by Andalusia Government.

REFERENCES

- Bellocchi, A., Mills, K. A., and Ritchie, S. M. (2015). Emotional experiences of preservice science teachers in online learning: the formation, disruption and maintenance of social bonds. *Cult. Stud. Sci. Educ.* 11, 629–652. doi: 10.1007/s11422-015-9673-9
- Bellocchi, A., Ritchie, S. M., Tobin, K., King, D., Sandhu, M., and Henderson, S. (2014). Emotional climate and high quality learning experiences in science teacher education. *J. Res. Sci. Teach.* 51, 1301–1325. doi: 10.1002/tea.21170
- Bellová, R., Melicherčková, D., and Tomčík, P. (2017). Possible reasons for low scientific literacy of Slovak students in some natural science subjects. *Res. Sci. Technol. Educ.* 36, 226–242. doi: 10.1080/02635143.2017.1367656
- Bisquerra Alzina, R., and Pérez Escoda, N. (2007). Las competencias emocionales. *Educación XXI* 10, 61–82. doi: 10.5944/educxx1.1.10.297
- Boesdorfer, S. B., and Livermore, R. A. (2018). Secondary school chemistry teacher’s current use of laboratory activities and the impact of expense on their laboratory choices. *Chem. Educ. Res. Pract.* 19, 135–148. doi: 10.1039/C7RP00159B
- Brook, R. (2017). “Tacit knowledge in science education,” in *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*, eds K. S. Taber and B. Akpan (Rotterdam: Sense Publishers). doi: 10.1007/978-94-6300-749-8_10
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences*. Hillsdale, MI: Erlbaum.
- Criswell, B. A., and Rushton, G. T. (2014). Activity structures and the unfolding of problem-solving actions in high-school chemistry classrooms. *Res. Sci. Educ.* 44, 155–188. doi: 10.1007/s11165-013-9374-x
- Cuzzolino, M. P. (2021). “The awe is in the process”: the nature and impact of professional scientists’ experiences of awe. *Sci. Educ. Early Views* 105, 681–706. doi: 10.1002/sce.21625
- Donnelly, D. F., McGarr, O., and O’Reilly, J. (2014). “Just be quiet and listen to exactly what he’s saying”: conceptualising power relations in inquiry-oriented classrooms. *Int. J. Sci. Educ.* 36, 2029–2054. doi: 10.1080/09500693.2014.889867
- Fortus, D. (2014). Attending to affect. *J. Res. Sci. Teach.* 51, 821–835. doi: 10.1002/tea.21155
- Girod, M., Twyman, T., and Wojcikiewicz, S. (2010). Teaching and learning science for transformative, aesthetic experience. *J. Sci. Teach. Educ.* 21, 801–824. doi: 10.1007/s10972-009-9175-2
- Gottlieb, S., Keltner, D., and Lombrozo, T. (2018). Awe as a scientific emotion. *Cogn. Sci.* 42, 2081–2091. doi: 10.1111/cogs.12648
- Halawa, S., Hsu, Y.-S., Zhang, W.-X., Kuo, Y.-R., and Wu, J.-Y. (2020). Features and trends of teaching strategies for scientific practices from a review of 2008–2017 articles. *Int. J. Sci. Educ.* 42, 1183–1206. doi: 10.1080/09500693.2020.1752415
- Jaber, L. Z., and Hammer, D. (2016). Learning to feel like a scientist. *Sci. Educ.* 100, 189–220. doi: 10.1002/sce.21202

- Jimenez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martínez-Chico, M., and López-Gay, R. (2021). A model-based inquiry sequence as a heuristic to evaluate students' emotional, behavioural, and cognitive engagement. *Res. Sci. Educ.* [preprint]. doi: 10.1007/s11165-021-10010-0
- Jimenez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., Avraamidou, L., and López-Gay Lucio-Villegas, R. (2019). Scientific practices in teacher education: the interplay of sense, sensors, and emotions. *Res. Sci. Technol. Educ.* 39, 44–67. doi: 10.1080/02635143.2019.1647158
- Jimenez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., and Salmerón-Sánchez, E. (2018). Chewing gum and pH level of the mouth: a model-based inquiry sequence to promote scientific practices. *World J. Chem. Educ.* 6, 113–116. doi: 10.12691/wjce-6-3-2
- Jiménez-Liso, M. R., Sánchez Guadix, M. A., and De Manuel, E. (2002). Química cotidiana para la alfabetización científica: ¿realidad o utopía? *Educación Química* 13, 259–266. doi: 10.22201/fq.18708404e.2002.4.66.284
- Keltner, D., and Haidt, J. (2003). Approaching awe, a moral, spiritual, and aesthetic emotion. *Cogn. Emot.* 17, 297–314. doi: 10.1080/02699930302297
- Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Sci. Educ.* 91, 877–905. doi: 10.1002/sce.20226
- López-Banet, L., Perales, F. J., and Jiménez-Liso, M. R. (2021). STEAM views from a need: the case of the chewing gum and pH sensopill. *J. Study Educ. Dev.* 44, 1–34. doi: 10.1080/02103702.2021.1927505
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., and Vilchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? a review of literature. *Sci. Educ.* 103, 799–822. doi: 10.1002/sce.21522
- Mehta, G., Yam, V. W. W., Krief, A., Hopf, H. Y., and Matlin, S. A. (2018). The chemical sciences and equality, diversity, and inclusion. *Angew. Chem. Int. Ed.* 57, 14690–14698. doi: 10.1002/anie.201802038
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., et al. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias* 32, 11–36. doi: 10.5565/rev/ensciencias.1478
- Milner, A., Sondergeld, T. A., Demir, A., Johnson, C. C., and Czerniak, C. M. (2012). Elementary teachers' beliefs about teaching science and classroom practice: an examination of pre/post NCLB testing in science. *J. Sci. Teach. Educ.* 23, 111–132. doi: 10.1007/s10972-011-9230-7
- Parker, J. (2006). Exploring the impact of varying degrees of cognitive conflict in the generation of both subject and pedagogical knowledge as primary trainee teachers learn about shadow formation. *Int. J. Sci. Educ.* 28, 1545–1577. doi: 10.1080/09500690600780179
- Piaget, J. (1971). *Genetic Epistemology*. New York, NY: Norton Library. doi: 10.7312/piag91272
- Schwarz, C. V. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling—centered scientific inquiry. *Sci. Educ.* 93, 720–744. doi: 10.1002/sce.20324
- Schwarz, C. V., and Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Sci. Educ.* 91, 158–186. doi: 10.1002/sce.20177
- Sinatra, G. M., Heddy, B. C., and Lombardi, D. (2015). The challenges of defining and measuring student engagement in science. *Educ. Psychol.* 50, 1–13. doi: 10.1080/00461520.2014.1002924
- Strack, F., Pauli, P., and Weyers, P. (2016). Editorial: emotion and behavior. *Front. Psychol.* 7:313. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00313
- Tamir, P., and Amir, R. (1981). Retrospective curriculum evaluation: an approach to the evaluation of long-term effects. *Curr. Inq.* 11, 259–278. doi: 10.1080/03626784.1981.11075259
- Tobin, K., and Espinet, M. (1989). Impediments to change: application of coaching in high school science teaching. *J. Res. Sci. Teach.* 26, 105–120. doi: 10.1002/tea.3660260203
- United Nations (2021). *Sustainable Development Goals*. Available online at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (accessed June 2, 2021).
- UNESCO (2017). *Cracking the Code: Girls' and Women's Education in Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)*. Available online at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479> (accessed June 2, 2021).
- Valdesolo, P., Shtulman, A., and Baron, A. S. (2017). Science is awe-some: the emotional antecedents of science learning. *Emot. Rev.* 9, 215–221. doi: 10.1177/1754073916673212
- Valente, S., and Lourenço, A. A. (2020). Conflict in the classroom: how teachers' emotional intelligence influences conflict management. *Front. Educ.* 5:5. doi: 10.3389/feeduc.2020.00005
- van Zee, E. H. (2006). "Teaching "science teaching" through inquiry," in *Elementary Science Teacher Education*, ed. K. Appleton (Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates), 239–257.
- van Zee, E. H., and Roberts, D. (2001). Using pedagogical inquiries as a basis for learning to teach: prospective teachers' reflections upon positive science learning experiences. *Sci. Educ.* 85, 733–757. doi: 10.1002/sce.1036
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., and Novak, J. D. (1994). "Research on alternative conceptions in science," in *Handbook of Research on Science Teaching and Learning: A Project of the National Science Teachers Association*, ed. D. L. Gabel (New York, NY: MacMillan), 177–210.
- Wee, B., Shephardson, D., Fast, J., and Harbor, J. (2007). Teaching and learning about inquiry: insights and challenges in professional development. *J. Sci. Teach. Educ.* 18, 63–89. doi: 10.1007/s10972-006-9031-6
- Windschitl, M., Thompson, J., and Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Sci. Educ.* 92, 941–967. doi: 10.1002/sce.20259
- Zembał-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Sci. Educ.* 93, 687–719. doi: 10.1002/sce.20325
- Zembylas, M. (2016). Making sense of the complex entanglement between emotion and pedagogy: contributions of the affective turn. *Cult. Stud. Sci. Educ.* 11, 539–550. doi: 10.1007/s11422-014-9623-y

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Copyright © 2021 López-Banet, Aguilera, Jiménez-Liso and Perales-Palacios. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

5.3 Conclusiones

Un aspecto clave de la indagación basada en modelos (MBI) es dotar de más tiempo al alumnado para analizar los datos y dar sentido a las observaciones, utilizando la lógica y el razonamiento. Por tanto, al establecer la naturaleza del enfoque que presenta un programa determinado de formación del profesorado es importante cuestionarse cómo permite apoyarse en el uso de datos como evidencias (Crawford, 2007). En este artículo se ha estudiado el aprendizaje percibido por el profesorado en formación después de experimentar una secuencia MBI sobre el efecto de masticar chicle en el pH de la boca para promover su conciencia de la importancia de lo afectivo en el aprendizaje. En la misma se han abordado aspectos de la indagación científica (NRC, 1998, 2000) como realizar y responder preguntas, analizar datos relacionados con la pregunta de interés, desarrollar patrones y explicaciones consistentes con los resultados, formular hipótesis y contrastarlas mediante la evidencia para sugerir explicaciones alternativas, trabajar en equipo para comprobar ideas diferentes o la creatividad, asignando el tiempo necesario durante la formación para poner en práctica estas destrezas y reflexionar sobre sus implicaciones en la enseñanza.

La representación de la práctica y su descomposición, analizando los elementos concretos que están involucrados en la misma, son dos prácticas que se consideran clave en la formación del profesorado. De acuerdo con Rivero y Jiménez-Liso (2021), “vivir” la práctica (la *representación* en términos de Grossman, 2018) proporciona al profesorado en formación inicial una experiencia de aprendizaje que permite reconocer en primera persona la efectividad del enfoque propuesto, así como le puede servir de referente cuando tenga que incorporarlas en sus futuras aulas. La propia práctica conlleva un aprendizaje implícito sobre la enseñanza de las ciencias (concepciones alternativas, finalidades de la educación científica o planificación de la enseñanza) que es necesario hacerlo explícito (descomposición en términos de Grossman, 2018) para reflexionar sobre la experiencia vivida, así como cuestionar otras previas (qué han aprendido, cómo lo han aprendido y para qué lo han aprendido).

Parte de esa explicitación de la reflexión (descomposición), como se ha comentado antes, guarda relación con el compromiso de los estudiantes con la ciencia escolar y las actividades de modelización que es multidimensional (emocional, cognitivo y conductual) (Bellocchi et al., 2015; Jiménez-Liso et al.,

2021b; Mellado et. al., 2014), por lo que resulta imprescindible considerar las relaciones existentes entre las emociones experimentadas durante la enseñanza y el conocimiento adquirido. En la secuencia implementada con el profesorado en formación inicial de Almería y Murcia sirve para reflexionar sobre las prácticas clave de involucrar al alumnado en indagaciones o de la construcción e interpretación de modelos.

Las prácticas clave de enseñanza permiten reflexionar sobre la implementación de la secuencia diseñada en la formación inicial de docentes y abre una línea de investigación futura sobre cómo contribuir a su formación integral (qué indicadores y qué niveles de logro) desde la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Otra de las prácticas clave de enseñanza relacionadas con la evaluación señalada por Rivero y Jiménez-Liso (2021) es ser capaz de retroalimentar las ideas, prácticas y emociones de los estudiantes. En este sentido, los resultados obtenidos en este artículo guardan estrecha relación, pues nos ha permitido identificar que los docentes en formación inicial que consideran haber aprendido más son los que declaran sentir emociones que implican seguridad en relación a las destrezas señaladas. Coincidimos con Castillo (2022) en destacar la relevancia para el aprendizaje el momento de la utilización de un modelo para poder explicar el problema planteado. De cualquier modo, somos conscientes que los resultados constituyen una pequeña muestra de la naturaleza del compromiso emocional del profesorado en formación de física y química con las prácticas científicas, y que es necesario profundizar en mayor medida para establecer conclusiones generales acerca de las relaciones entre las emociones y el aprendizaje.

Capítulo 6

Conclusiones/Conclusions

6. Conclusiones/ Conclusions

6.I Introducción

Los antecedentes descritos en el *marco teórico* han puesto de manifiesto la necesidad de aportar información relacionada con propuestas educativas para la formación del profesorado de ciencias de educación secundaria, coherentes con las referencias actuales señaladas por la didáctica de las ciencias experimentales, que permitan contribuir a su capacidad profesional para desarrollar la competencia científica de su alumnado. En este sentido, distintos estudios e informes nacionales e internacionales (Confederación de Sociedades Científicas de España [COSCE], 2011; Erduran y Yan, 2009; Osborne y Dillon, 2008; Worth, Duque y Saltiel, 2009) establecen que existe una brecha preocupante entre las investigaciones en didáctica de las ciencias y la práctica docente (Korthagen, 2010; Martínez-Chico et al., 2014). Por tanto, para salvar esta brecha, en esta Tesis Doctoral queremos aproximarnos a las demandas de la práctica docente (Martínez-Chico, López-Gay, Jiménez-Liso y Acher, 2013), con el *objetivo principal* de diseñar e implementar secuencias de enseñanza por indagación y modelización durante la formación inicial de docentes de secundaria y evaluar las dimensiones cognitiva, comportamental y emocional del compromiso hacia el aprendizaje de los contenidos ácido-base. Particularmente, aquella se enfoca hacia la necesidad de que el profesorado desarrolle una comprensión adecuada de los contenidos ácido-base y sus modelos correspondientes, así como de las destrezas relacionadas con la competencia científica involucradas en el “hacer ciencia”.

En concreto, la intención de ofrecer oportunidades a los participantes (docentes en formación inicial) en la investigación de experimentar actividades que les sirvieran de modelos de enseñanza (Jiménez-Liso et al., 2021b) del propio enfoque que deberían utilizar en sus clases (Abd-El-Khalick, 2012), ha implicado la evaluación de la implementación de una secuencia de actividades de indagación y modelización integradora STEAM, con enfoque implícito de NdC, sobre los efectos en el pH de la boca de masticar chicle dentro del *marco metodológico* de la IBD. En este sentido, es fundamental el planteamiento de un problema que pueda ser investigable con esta estrategia y permita tener en

cuenta las ideas o elementos necesarios para la creación de prototipos, así como la comprobación de soluciones a la cuestión inicial mediante la implementación de la propuesta. El diseño e implementación de esta secuencia estarían destinados a promover y llamar la atención de los docentes en formación sobre el enfoque didáctico, tomar conciencia del tiempo necesario para su correcto desarrollo, la posibilidad de trabajar en grupo discutiendo hipótesis, planificando y evaluando diseños experimentales, así como construir modelos para explicar conjuntamente los fenómenos ácido-base. Los sucesivos capítulos describen los resultados obtenidos de acuerdo con las etapas de la IBD en relación con los problemas de investigación planteados en la presente Tesis Doctoral.

PI 1. ¿Cómo se podrían traducir los enfoques explícitos e implícitos de NdC utilizando el desarrollo histórico del dominio ácido-base en secuencias de actividades que puedan ser utilizadas como referencia por el profesorado para desarrollar la competencia científica?

PI 2. ¿Cómo se podría integrar las formas de hacer, pensar y hablar de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la matemática y el arte para contribuir a la alfabetización en el ámbito STEAM mediante la resolución de un problema de ácido-base?

PI 3. ¿Permite una secuencia de actividades de indagación basada en modelos que el profesorado en formación inicial tome conciencia de la importancia de vincular lo cognitivo y lo afectivo en el aprendizaje para promover la competencia científica? ¿Afecta a esta toma de conciencia las dos modalidades de implementación online-presencial?

6.2 Conclusiones generales

Con las evidencias encontradas se pueden establecer una serie de conclusiones globales de toda la investigación desarrollada en la Tesis Doctoral.

6.2.1. La elevada presencia en la vida cotidiana de controversias sociocientíficas en las que se deben utilizar los conocimientos científicos sobre contenidos ácido-base, así como las innumerables dificultades de aprendizaje relacionadas, fundamentan la necesidad de contribuir a la enseñanza de estos contenidos durante la formación inicial del profesorado. En este sentido, de acuerdo con el marco teórico, los **elementos para la fase preliminar y diseño de la secuencia** seleccionados han resultado pertinentes para elaborar el prototipo de nuestra propuesta de formación al permitir obtener una herramienta útil y provechosa en contextos educativos diferentes, que además es confiable al cumplir con los

objetivos establecidos, reforzando los principios de diseño. Asimismo, de acuerdo con la IBD, los argumentos que se describen a continuación justificarían su validez de acuerdo con el conocimiento actual (Tena y Couso, 2022).

6.2.1.1. Naturaleza de la ciencia

El enfoque tradicional en la enseñanza de contenidos ácido-base puede dificultar su aprendizaje, por lo que una propuesta que considere, además de los contenidos científicos, aprender a hacer ciencia, conduciría a su mejor comprensión. En concreto, las teorías de Arrhenius y Bronsted-Lowry, así como sus conceptos relacionados, suelen inducir confusiones al ser descritas habitualmente de forma simultánea y desconectadas de los problemas históricos que las inspiraron. Las dificultades del profesorado en relación con las estrategias para la enseñanza de los contenidos ácido-base que se recomiendan actualmente desde la didáctica de las ciencias conlleva la necesidad de implicarlo durante su formación en propuestas que le permitan desarrollar y ejercer sus tareas profesionales en coherencia con las indicaciones actuales. Específicamente, muchos autores identifican múltiples beneficios potenciales para el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia a través de un enfoque de enseñanza que la tome en consideración. Nouri et al. (2019) recomiendan promover esta reflexión en la formación del profesorado de ciencias, con el fin de que sirva de inspiración para una gama más amplia de pautas y estrategias de enseñanza que ayudan a conectar el conocimiento científico con fenómenos cotidianos, promoviendo el conocimiento de qué es la ciencia y cómo se construye.

Con esta finalidad, los antecedentes que sustentan este trabajo ha llevado al análisis de las ventajas para el aprendizaje de contenidos ácido-base que presentan enfoques explícitos e implícitos sobre NdC, estableciendo la necesidad de cambiar la forma de enseñar las reacciones químicas. De esta forma, se podría contribuir a la construcción de visiones adecuadas de la ciencia y a la resolución de problemas científicos relacionados con los modelos ácido-base. Un ejemplo es el hito de 1923 en el desarrollo histórico de los conceptos de ácidos y bases para el diseño de secuencias didácticas con un enfoque explícito en el área de la naturaleza de la ciencia para niveles desde secundaria hasta universidad. El enfoque implícito es promovido por la investigación que se conecta a un ciclo de modelización. En concreto, es posible transformar una actividad práctica sobre la clasificación ácido-base de algunos productos de la vida cotidiana por medio de indicadores extraídos de materiales cotidianos, como la col lombarda, en una

secuencia de actividades que presentan un enfoque implícito de NdC (Duschl y Grandy, 2013). Ambas propuestas han servido de punto de partida para el diseño e implementación de las secuencias incluidas en la Tesis Doctoral.

6.2.1.2. Enfoques MBI

Las ventajas del enfoque MBI son numerosas, desde motivar hasta integrar el aprendizaje de las ciencias y las características de la actividad científica (enfoque implícito), fomentando capacidades para abordar problemas, hasta promover capacidades englobadas en el desarrollo de la competencia científica. Con la finalidad de que el profesorado disponga de un modelo adecuado para su puesta en práctica que tenga sentido y pueda evaluar su utilidad y eficacia, se considera que es fundamental vivir en primera persona esta secuencia de actividades MBI diseñada. La implementación de los enfoques MBI conduce a que el profesorado en formación sea consciente de cómo se aprende ciencias, tanto desde un punto de vista conceptual como procedimental, y afirme su intención de implementar este tipo de actividades en su futuro profesional (Jiménez-Liso et al., 2019). En esta Tesis Doctoral se ha optado por una secuencia de actividades que incorpora la práctica científica de indagación conectada con un ciclo de modelización. El núcleo central de la secuencia consistiría en el planteamiento de un problema auténtico, favoreciendo tanto el aprendizaje como el interés y la concentración del alumnado (Jiménez-Liso et al., 2020).

6.2.1.3. Perspectiva STEAM

Este principio de diseño ha servido como criterio de valoración de la SEA por lo que puede incluirse en la fase de evaluación formativa de la propuesta, en el marco de la IBD. La implementación y ensayo del prototipo en ciclos sucesivos han determinado la necesidad de integrar las disciplinas STEAM (Simarro y Couso, 2018) para la resolución del problema real planteado, promoviendo una enseñanza más competencial (OECD, 2016), donde los pasos sean fácilmente reconocibles por los docentes. La secuencia permite comprender la diferencia entre dilución y neutralización, promueve el desarrollo de destrezas de investigación propias de la competencia científica y, además, tiene las características necesarias que permiten conectar a la química con la tecnología, las habilidades de diseño, la modelización matemática y las aportaciones artísticas. Asimismo, los participantes podrían tener múltiples oportunidades

para reexaminar sus ideas durante el transcurso de la enseñanza, reflexionar sobre la ciencia y la actividad científica, las finalidades de la educación científica, sus propias experiencias de aprendizaje previas, la efectividad de los enfoques de enseñanza tradicionales, sus roles como profesorado de ciencias o sus ideas sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Jiménez -Liso et al., 2019). Por tanto, promover que el profesorado en formación experimente este enfoque como aprendiz y reflexione sobre la experiencia como pensador (Jiménez -Liso et al., 2019), podría influir en su autoeficacia y prácticas docentes (Romero-Ariza et al., 2021), así como en la percepción de las capacidades profesionales necesarias para promover que el alumnado desarrolle la competencia científica.

6.2.2. Las concepciones docentes, influenciadas por las experiencias previas como alumnos, como la falta de participación del alumnado para establecer sus propias ideas científicas o un excesivo control del docente sobre la realización de la tarea sobre la comprensión de esta, suelen representar un factor limitante en la implementación de actividades que fomentan competencias científicas en el alumnado por parte del profesorado, por lo que mejorar su comprensión podría promover una mayor incorporación a las carreras de ciencias. En este sentido, una vez descritas y fundamentadas las características requeridas para nuestra propuesta didáctica, de acuerdo con las etapas previas de la IBD, se ha evaluado la implementación con alumnado del correspondiente máster de formación del profesorado de ciencias de las universidades de Almería y Murcia, considerando necesarios ciertos **elementos para la evaluación de secuencias**.

6.2.1 Con el objetivo de evaluar la propuesta didáctica desde el punto de vista de las **prácticas clave o centrales de enseñanza**, la puesta en práctica de esta secuencia durante la formación inicial permite que el propio profesorado experimente (fase de representación) y reflexione (fase de descomposición) sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje. En este sentido, ambas fases de representación de la práctica y su descomposición proporcionan oportunidades para evaluar la efectividad de la propuesta y considerarla como referente (Rivero y Jiménez-Liso, 2021). De hecho, la propuesta implica que el profesorado sea consciente de lo que ha aprendido (autorregulación del aprendizaje), de cómo ha aprendido (mediante una discusión explícita sobre las fases de indagación y modelización) y de los procedimientos requeridos para que el docente pueda

ayudar a aprender al alumnado y a promover la explicitación de ideas sobre los problemas planteados.

6.2.2 Como segundo elemento, destacan las **autopercepciones** del aprendizaje y su relación con las emociones experimentadas en el momento de considerar un progreso en sus capacidades o conocimientos. Para analizar el aprendizaje de los docentes en formación después de experimentar esta secuencia necesitamos que tomen conciencia de la importancia de lo afectivo en el aprendizaje, mediante una metodología descriptiva, no experimental, cuantitativa, de tipo heurístico (Jiménez-Liso et al., 2020) que permite reconocer las emociones que emergen durante la Práctica de enseñanza. Coincidimos con Jiménez-Liso et al. (2021b) al afirmar que los docentes en formación son conscientes de haber experimentado emociones como la satisfacción y el interés cuando aprenden a través de actividades que implican desarrollar prácticas científicas, así como que este enfoque podría impulsarles a implementarlas en su futuro profesional.

En definitiva, podemos considerar que esta propuesta permite aproximar la teoría a la práctica al trasladar los resultados que disponemos de la investigación en didáctica de las ciencias a nuestras aulas de ciencias, en concreto, las de formación inicial de profesorado de Educación Secundaria, proporcionando propuestas adecuadas que sirven como alternativas a la enseñanza tradicional. De esta forma, contribuimos a la necesaria reorientación de los programas de formación inicial del profesorado, al proponer un marco de referencia útil para que los docentes adquieran las capacidades científicas y didácticas que les permitan ejercer su profesión con un nivel de competencia suficiente. Este estudio también ha permitido reflexionar sobre la necesidad de establecer conexiones entre los contenidos de la química y los correspondientes a otras disciplinas para abordar la resolución del problema científico que desde ellas se plantea, resolviéndose con la participación de todas conjuntamente. Por tanto, además de constituir un problema adecuado para la formación de docentes con los propósitos seleccionados y enfoque implícito de NdC, la secuencia de indagación y modelización seleccionada conlleva la integración de contenidos de las diferentes materias implicadas, derribando las fronteras entre disciplinas.

Las conclusiones anteriores permiten dar respuesta a los problemas de investigación como muestra la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Objetivos, problemas, hipótesis de investigación y conclusiones.

Objetivos	Problemas	Hipótesis	Conclusiones
SO1; SO2	PI1	HI1	6.1.1; 6.1.2
SO1; SO3; SO4	PI2	HI2	6.1.1; 6.1.2; 6.1.3
SO5	PI3	HI3	6.2.1; 6.2.2

6.3 Limitaciones y líneas de investigación futuras

Una memoria de Tesis Doctoral puede ser tan amplia como se quiera o los condicionantes de tiempo y otros lo permitan. La coherencia y consistencia de la investigación aquí presentada nos hace limitarla sabiendo que podría ampliarse mucho más y que queremos que esas líneas sean la continuación natural en un futuro no muy lejano. En primer lugar, el planteamiento realizado en el estudio 1 sobre los enfoques explícitos e implícitos de trabajar el desarrollo histórico de los ácido-base y la construcción de los contenidos sobre NoS nos ha hecho proponer dos secuencias diferenciadas que precisan ser evaluadas y comparadas sus efectos. Se abre, por tanto, una continuación apasionante sobre qué características de la NdC produce cada enfoque y, como se desarrolla sobre contenidos similares, se puede analizar el efecto diferenciado en la imagen del alumnado sobre qué es la ciencia y cómo se construye, aplicando, por ejemplo, el NOSI (Lederman et al. 2021) como instrumento de análisis comparativo.

El diseño de las secuencias de ácido-base nos ha permitido un análisis cualitativo de la perspectiva STEAM (estudio 2) en función de la integración de cada disciplina por pares. En esa reflexión se ponía de manifiesto que tanto la tecnología como la ingeniería quedaban un poco marginadas al uso de sensores y de habilidades de diseño experimental cuando podrían ampliarse a la mirada ingenieril de optimización y sistematización (Simarro y Couso, 2022).

En cuanto al estudio 3 (cuantitativo sobre el efecto de la secuencia) es pertinente comentar que, a pesar de la oportunidad-fortaleza de poder comparar dos grupos con contextos de enseñanza diferentes (UAL y UMU) debemos señalar como principal limitación de este estudio el tamaño de la muestra en la que se ha implementado la secuencia, considerando que sería necesario poder ampliarla, tanto para comparar los resultados obtenidos como con la finalidad de

profundizar en las conclusiones respecto al compromiso emocional expresado por los participantes. Por otro lado, como propuesta para continuar esta línea de investigación, consideramos pertinente indagar acerca de si podría afectar a esta toma de conciencia la implementación en modalidad online de la secuencia y, por tanto, ampliar la utilidad de la misma de acuerdo con los criterios de IBD.

Por último, el diseño definitivo de la secuencia ha servido para elaborar una nueva propuesta durante una estancia internacional que pretende conectar la disciplina con un problema de repercusión social, como es el efecto invernadero, siguiendo las pautas establecidas por los elementos de diseño considerados en esta Tesis Doctoral. Esta nueva secuencia pone en valor la biografía de una científica para dotar de realismo a la actividad científica, evitando promover los estereotipos habituales presentes en la enseñanza tradicional. Asimismo, pretende poner en evidencia la necesidad de un compromiso crítico, activo y democrático hacia la prevención y solución de problemas relacionados con el medioambiente. Como línea futura de investigación, la nueva secuencia será implementada durante la formación inicial de profesorado de educación secundaria con la finalidad de contribuir al desarrollo de marcos de referencia acordes con los resultados de las investigaciones educativas actuales.

6.4 Introduction

The background described in the *theoretical framework* has revealed the need to provide information related to educational proposals for the training of science teachers in secondary education that is consistent with the current references indicated by the didactics of experimental sciences and that allows them (in their professional capacity) to develop the scientific competence of their students. Several national and international studies and reports (Confederación de Sociedades Científicas de España [COSCE], 2011; Erduran & Yan, 2009; Osborne & Dillon, 2008; Worth et al., 2009) have noted a worrying gap between research in science education and teaching practice (Korthagen, 2010; Martínez-Chico et al., 2014). To address this shortfall, we approached the demands of teaching practice (Martínez-Chico et al., 2013) with the principal objective of designing and implementing teaching sequences by inquiry and modelling during secondary school teacher training and evaluating the cognitive, behavioural, and emotional dimensions of the commitment to learning acid-base content. The study focuses on the need for teachers to develop an adequate understanding of acid-base content and its corresponding models, as well as skills related to the scientific competence involved in *doing science*.

In particular, the intention to give the participants (i.e., teachers in initial training) opportunities to experience activities that might serve as teaching models (Jiménez-Liso et al., 2021) to be applied in the classroom (Abd-El-Khalick, 2012) required the evaluation of the implementation of a sequence of STEAM integrative inquiry and modelling activities, with an implicit LOC approach, to examine the effects of chewing gum on the pH of the mouth within the IBD *methodological framework*. It was important to suggest a problem that took into account the ideas or elements necessary for the creation of prototypes, as well as the verification of solutions to the initial question through the implementation of the proposal. The design and implementation of this sequence were intended to promote the requisite didactic approach, for the participants to be aware of the time necessary for its correct development, the possibility of them working in groups to discuss hypotheses, planning and evaluating experimental designs, and building models to jointly explain acid-base phenomena. The following chapters describe the results obtained according to the stages of the IBD in relation to the research problems raised in the study.

Research Problem 1. *How could the explicit and implicit approaches of LoC using the historical development of the acid-base domain be translated into sequences of activities that could be used as a reference by teachers to develop scientific competence?*

Research Problem 2. *How could scientific, technological, engineering, mathematical, and artistic ways of doing, thinking, and talking be integrated to contribute to STEAM literacy through solving an acid-base problem?*

Research Problem 3. *Would a sequence of model-based inquiry activities allow teachers in initial training to become aware of the importance of linking cognitive and affective learning to promote scientific competence?*

6.5 General Conclusions

6.5.1. The prevalence in daily life of socio-scientific controversies in which scientific knowledge of acid-base content is needed and of innumerable associated learning difficulties suggest that such issues need to be addressed at an early stage. According to the theoretical framework, the elements comprising the preliminary phase and design of the selected sequence represent a useful tool that might be applied in different educational contexts, because they meet previously established objectives and reinforce relevant design principles. According to the IBD, the arguments below also justify their use (Tena & Couso, 2022).

6.5.1.1. *The Nature of Science*

The traditional approach to teaching acid-base content tends to make the subject difficult, so a proposal that considers—in addition to scientific content—how to do science would lead to a better understanding. The theories and concepts of Arrhenius and Bronsted-Lowry are often misleading because they are usually described simultaneously and are disconnected from the historical problems that inspired them. The difficulties teachers face when delivering acid-base content could be resolved by allowing them to discharge and develop their professional responsibilities in the ways described herein. Many scholars have identified the multiple potential benefits of learning about the nature of science through a teaching approach that takes it into greater consideration. Nouri et al. (2019) recommended that such reflections should be promoted in teacher-training guidelines and strategies. For example, trainee teachers could be encouraged to

relate scientific knowledge to everyday phenomena, to show what science is, and to explain how it is conducted.

With this in mind, the present study examines the advantages for learning acid-base content and presents explicit and implicit approaches to NdC, establishing the need to change the way chemical reactions are taught. It is hoped that the study might contribute to the construction of a more coherent understanding of science and the resolution of scientific problems related to acid-base models, a century after didactic sequences for the teaching of acids and bases (with an explicit focus on the nature of science) were first introduced. The implicit approach discussed herein has been prompted by research on modelling cycles. It has been suggested that it is possible to transform a practical activity on the acid-base classification of everyday products (e.g., a red cabbage) in a sequence of activities that present an implicit LOC approach (Duschl & Grandy, 2013). Both ideas have served as a starting point for the design and implementation of the sequences included in the present study.

6.5.1.2. MBI Approaches

These approaches have several advantages, from motivating and integrating science learning and the characteristics of scientific activity (i.e., the implicit approach) and fostering the ability to tackle problems, to promoting abilities required for the development of scientific competence. For teachers to have an adequate model that makes sense and that they can evaluate in terms of usefulness and effectiveness, they must experience our sequence of MBI-designed activities firsthand. The implementation of MBI approaches encourages trainee teachers to be aware of how science is learnt, from both a conceptual and procedural point of view, and to affirm their intention to implement related activities in their future practice (Jiménez-Liso et al. al., 2019). In the present study, a sequence of activities was chosen that incorporates the scientific practice of inquiry and connects it to a modelling cycle. The central nucleus of the sequence consists of posing an authentic problem that favours learning and interest (Jiménez-Liso et al., 2020).

6.5.1.3. The STEAM Perspective

This design principle has served as an evaluation criterion for the SEA, so it can be included in the formative evaluation phase of the proposal (within the framework of the IBD). The implementation and testing of the prototype in successive cycles have determined the need to integrate STEAM disciplines

(Simarro & Couso, 2018) to solve problems and promote more competent teaching (OECD, 2016), and where the steps are easily recognisable by teachers. The sequence allows an understanding of the difference between dilution and neutralisation, promotes the development of research skills typical of scientific competence, and has the necessary characteristics that make it possible to connect chemistry with technology, design skills, mathematical modelling, and art. Also, it gives trainee teachers the opportunity to re-examine their ideas during their teaching, reflect on science and scientific activity, weigh the purposes of science education, reflect on their own previous learning experiences and the effectiveness of traditional teaching approaches, and evaluate their roles as science teachers and their ideas about teaching and learning science (Jiménez-Liso et al., 2019). Therefore, encouraging trainee teachers to experience this approach as learners and reflect on the experience as thinkers (Jiménez-Liso et al., 2019) might positively impact their self-efficacy and teaching practice (Romero-Ariza, 2021), as well as enhance the professional skills they need when helping their students to develop scientific competence.

6.6. Conceptions about teaching, which are influenced by previous experiences, such as a lack of opportunity on the part of students to develop scientific notions or the excessive control of the teacher over the performance of tasks (and thus on the students' understanding of it), usually represent a limiting factor in the implementation of activities designed to promote scientific skills and understanding. Once the characteristics required for our didactic proposal were described and substantiated (and following on from the previous stages of the IBD), it was implemented and evaluated using students undertaking the master's degree in science teacher training from the universities of Almería and Murcia who understood the elements necessary for the evaluation of sequences.

6.6.1. To evaluate our didactic proposal from the point of view of key teaching practices, the implementation of the sequence during initial training allows the teachers to experiment (the representation phase) and reflect (the decomposition phase). Both phases allow them to evaluate the effectiveness of the proposal and consider it as a reference point (Rivero & Jiménez-Liso, 2021). The proposal implies that teachers are aware of what they have learnt (self-regulation of learning), how they have learned (through an explicit discussion of the inquiry and modelling phases), and the procedures needed for them to help their students by addressing any problems that may arise.

6.6.2. In addition, the proposal highlights the self-perceptions of learning and their relationship with the emotions experienced when reflecting on their progress. To analyse how trainee teachers learn from carrying out the sequence, we need them to become aware of the importance of the affective in learning using a descriptive, non-experimental, quantitative, heuristically-based methodology (Jiménez-Liso et al., 2020) that allows them to recognise the emotions they are experiencing. We agree with Jiménez-Liso et al. (2019), who stated that trainee teachers are more interested and satisfied when they learn through activities that develop their and their students' scientific practice. They also feel more emboldened to implement these activities in the future.

In sum, our proposal makes it possible to apply theory to practice by transferring the results from science education research to science classrooms. This can be achieved in the first instance by introducing trainee secondary education teachers to proposals that serve as alternatives to traditional teaching methods. We believe we are contributing to the necessary reorientation of initial teacher training programmes by proposing a useful reference framework for acquiring the scientific and didactic skills that allow students to practise with a sufficient level of competence. The present study has also enabled us to reflect on the need to establish connections between chemistry and other disciplines and resolve any apparent contradictions by encouraging the participation of various stakeholders. Therefore, in addition to posing a problem for the training of teachers using the selected purposes and implicit approach of LoC, the sequence of inquiry and selected modelling presented herein entails breaking down the boundaries between disciplines. Table 6.1 indicates how the respective sections above relate to our research questions, hypotheses, and conclusions.

Table 6.2

Objectives, Problems, Research Hypotheses, and Conclusions

Objectives	Problems	Research hypotheses	Conclusions
SO1; SO2	PI1	HI1	6.1.1; 6.1.2
SO1; SO3; SO4	PI2	HI2	6.1.1; 6.1.2; 6.1.3
SO5	PI3	HI3	6.2.1; 6.2.2

6.7 Limitations of the Present Study and Future Lines of Research

A PhD may be as broad as the author or the conditions of time and other interested parties allow it. We recognise that the present study could be extended, and we hope that future researchers will do so. For instance, the approach adopted in Study 1 (on the explicit and implicit approaches to working on the historical development of acid-bases and the construction of the contents on NoS) allowed us to propose two differentiated sequences that could be evaluated and compared (e.g., in terms of outcomes). It would then be possible to examine the differentiated effects on students' images of what science is and how it is constructed. The NOSI (Lederman et al., 2021) could be used as the instrument of analysis.

The design of the acid-base sequences allowed us to conduct a qualitative analysis from the STEAM perspective (Study 2). It was based on the paired integration of each discipline. We discovered that in technology and engineering, the use of sensors and experimental design skills in technology and engineering could be extended to encompass optimisation and systematisation (Couso & Simarro, 2022). Meanwhile, the main limitation of Study 3 (a quantitative analysis of the effects of our sequence) was the size of the sample, despite us being able to compare two groups in two different teaching contexts (UAL and UMU). To substantiate the conclusions drawn regarding the emotional commitment expressed by the participants, future researchers might recruit larger numbers of individuals (and from other institutions). It would also be interesting to examine whether the online implementation of our sequence would affect participants' consciousness of its emotional impact and thus make it more useful according to the IBD criteria.

Finally, the definitive design of the sequence could be used internationally to help tackle social repercussions such as the greenhouse effect (following the guidelines presented herein) and by stressing the need for a critical, active, and democratic commitment towards the prevention of and solution of environmental problems generally. Our sequence also emphasises the importance of biography in adding a sense of realism to scientific activity and countering the propagation of traditional teaching stereotypes. Finally, the new sequence might contribute to the development of reference frameworks in accordance with the findings of current educational research.

Capítulo 7

Referencias

7. Referencias

- Abd-El-Khalick, F. (2012). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science and Education*, 22(9), 2087-2107. 10.1007/s11191-012-9520-2
- Abril, A. M., Blanco-López, A. y Franco, A. J. (2021). *Enseñanza de las ciencias en tiempos de Covid-19: De la investigación didáctica al aula*. Graó. Barcelona. 978-84-18627-67-5
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón, M. M. (2017). Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química*, 28, 140-146. 10.1016/j.eq.2016.12.003
- Acher, A., Arcà, M. y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398-418. 10.1002/sce.20196
- Archer, L., DeWitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B. y Wong, B. (2010). "Doing" science versus "being" a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren's constructions of science through the lens of identity. *Science Education*, 94 (4), 617–639. 10.1002/sce.20399
- Aduriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science and Education*, 18(9), 1177–1192. 10.1007 /s11191-009-9189-3
- Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, A., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Inquiry-based Science Education. A systematic review of Spanish production*. *Revista de Educación*, 381, 259-284. 10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388
- Alvarado, C., Cañada, F., Garritz, A. y Mellado, V. (2015). Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid–base chemistry at high school. *Chemical Education Research and Practice*, 16(3), 603–618. 10.1039/C4RP00125G
- Arrhenius, S. (1903). *Development of the theory of electrolytic dissociation*. Nobel

- Lecture. <http://atom.uwaterloo.ca/CHEM/History/arrheniuslecture.pdf>.
- Avargil S., Herscovitz O. y Dori Y. J. (2012). Teaching Thinking Skills in Context-Based Learning: Teachers' Challenges and Assessment Knowledge. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 207–225. 10.1007/s10956-011-9302-7
- Azcárate, P. y Cuesta, J. (2005). El profesorado novel de secundaria y su práctica. Estudio de un caso en las áreas de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 23 (3), 393-402. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/22035>
- Bachelard (1938). *La Formation de l'esprit scientifique: contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*.
- Bachelard, G. (1974). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI: Argentina (trad. castellana de "La formation de l'esprit scientifique". Vrin: Paris. 1938).
- Banerjee, A. C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13(4), 487–494. 10.1080/0950069910130411.
- Banet, E. (2007). Finalidades de la educación científica en secundaria: opinión del profesorado sobre la situación actual. *Enseñanza de las ciencias*, 25(1), 5-20. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87858>
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265–278. 10.1007/s10972-006-9008-5.
- Bastida, M.F., Ramos, F. y Soto, J. (1990). Prácticas de laboratorio: ¿Una inversión poco rentable? *Investigación en la Escuela*, 11, 77-91. 10.12795/IE.1990.i11.08
- Bautista, A. (2021). STEAM education: contributing evidence of validity and effectiveness (Educación STEAM: aportando pruebas de validez y efectividad), *Journal for the Study of Education and Development*, 44(4), 755-768. 10.1080/02103702.2021.1926678
- Bellocchi, A., Mills, K. A. y Ritchie, S. M. (2016). Emotional Experiences of Preservice Science Teachers in Online Learning: The Formation, Disruption and Maintenance of Social Bonds. *Cultural Studies of Science Education*, 11(3), 629–52. 10.1007/s11422-015-9673-9.
- Bellocchi, A., Ritchie, S. M., Tobin, K., King, D., Sandhu, M. y Henderson, S. (2014). Emotional climate and high quality learning experiences in science teacher education. *Journal of Research in Science Teaching*, 51, 1301–1325. 10.1002/tea.21170

- Bellová, R., Melicherčíková, D. y Tomčík, P. (2018). Possible Reasons for Low Scientific Literacy Of Slovak Students in Some Natural Science Subjects. *Research in Science & Technological Education*, 36, 226–242. 10.1080/02635143.2017.1367656
- Bhattacharyya, S., Volk, T., y Lumpe, A. (2009). The influence of an extensive inquiry-based field experience on pre-service elementary student teachers' science teaching beliefs. *Journal of Science Teacher Education*, 20(3), 199-218.
- Bisquerra Alzina, R. y Pérez Escoda, N. (2007). Las competencias emocionales. *Educación XXI*, 10, 61–82. 10.5944/educxx1.1.10.297
- Blanco-López, Á., Martínez-Peña, B. y Jiménez-Liso, M. R. (2018). ¿Puede la investigación iluminar el cambio educativo? *APICE, Revista de Educación Científica*, 2(2), 15-28. 10.17979/arec.2018.2.2.4612
- Boesdorfer, S. B. y Livermore, R. A. (2018). Secondary school chemistry teacher's current use of laboratory activities and the impact of expense on their laboratory choices. *Chemistry Education Research and Practice*, 19, 135–148. 10.1039/C7RP00159B
- Boletín Oficial del Estado (2013) *Ley Orgánica 8/2013* núm. 295, 97858-97921. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2013/12/09/8>
- Boon, M. (2006). How science is applied in technology. *International Studies in the Philosophy of Science*, 20(1), 27–47. 10.1080/02698590600640992
- Borrachero, A.B., Brígido, M., Mellado, L., Costillo, E. y Mellado, V. (2014) Emotions in prospective secondary teachers when teaching science content, distinguishing by gender. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 182-215. 10.1080/02635143.2014.909800
- Borrego, M. y Bernhard, J. (2011). The emergence of engineering education research as an internationally connected field of inquiry. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 14–47. 10.1002/j.2168-9830.2011.tb00003.x
- Brígido Mero, M., Bermejo García, M.L., Conde Núñez, M. C., Borrachero Cortés, A. B. y Mellado Jiménez, V. (2010). Estudio longitudinal de las emociones en ciencias de estudiantes de maestro. *Revista galego-portuguesa de psicología e educación: revista de estudios e investigación en psicología y educación*, 18(2), 161-180
- Brígido, M., Couso, D., Gutiérrez, C. y Mellado, V. (2013). The emotions about teaching and learning science: a study of prospective primary teachers in

- three Spanish universities. *Journal of Baltic Science Education*, 12(3), 299-311.
- Brock, R. (2017). Tacit Knowledge in Science Education. En: K.S. Taber y B. Akpan (eds). *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. SensePublishers, Rotterdam. 10.1007/978-94-6300-749-8_10
- Bronsted, J. N. (1923). Some remarks on the concept of acids and bases. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas*, 42(8), 718-728. 10.1002/recl.19230420815.
- Bryan, L.A., y Abell, S.K. (1999). Development of professional knowledge in learning to teach elementary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 121-139. 10.1002/(SICI)1098-2736(199902)36:2<121::AID-TEA2>3.0.CO;2-U
- Burbules, N.C. y Linn, M.C. (1991). Science education and philosophy of science: congruence or contradiction. *International Journal of Science Education*, 13(3), 227-241. 10.1080/0950069910130302
- Burgin, S. R. y Sadler, T. D. (2016). Learning nature of science concepts through a research apprenticeship program: a comparative study of three approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 31-59. 10.1002/tea.21296.
- Caamaño, A. (2018). Enseñar química en contexto: un recorrido por los proyectos de química en contexto desde la década de los 80 hasta la actualidad. *Educación Química*, 29, 21-54. 10.22201/fq.18708404e.2018.1.63686
- Caballer, M.J. y Oñorbe, A. (1997). Resolución de problemas y actividades de laboratorio. En: L. Carmen del (coord.). *La Enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. ICE/Honsori, Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Calero Llinares, M., Mayoral García-Berlanga, O., Ull Solís, A. y Vilches Peña, A. (2019). La educación para la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias experimentales en Secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 37(1), 157-175. 10.5565/rev/ensciencias.2605
- Campanario, J. M., Moya, A. y Otero, J. (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad, *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), 45-56. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21709>.
- Campanario, J.M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias*, 17(2), 179-192. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21572>.

- Cano, M. y Cañal, P. (2006). Las actividades prácticas, en la práctica: ¿qué opina el profesorado? *Alambique*, 47, 9-22. <https://www.grao.com/es/producto/las-actividades-practicas-en-la-practica-que-opina-el-profesorado-al04713604>
- Capps, D.K., Shemwell, J.T. y Young, A. M. (2016). Over reported and misunderstood? A study of teachers' reported enactment and knowledge of inquiry-based science teaching. *International Journal of Science Education*, 38(6), 934-959. 10.1080/09500693.2016.1173261
- Carlson, J. y Daehler, K.R. (2019). The Refined Concensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. En: A. Hume, R. Cooper y A. Borowski (eds). *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*, 77–92. Springer, Singapore. 10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Carlson, M., Jacobs, S., Coe, E., Larsen, S. y Hsu, E. (2002). Applying covariational reasoning while modeling dynamic events: A framework and a study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 33(5), 352–378. 10.2307/4149958
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Hirsch, J., Hirsch, A. y Drollette, E. (2011). FIT Kids: Time in target heart zone and cognitive performance. *Preventive Medicine*, 52(SUPPL.), S55. 10.1016/j.ypmed.2011.01.019
- Castillo Hernández, F. J. (2022). *Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje sobre el fenómeno de flotación en el marco de la investigación de diseño*. [Tesis Doctoral, Universidad de Almería].
- Cavallo, A. (2007). Draw-a-scientist / mystery box. *Science and Children*, 45(3), 37–39. https://search.proquest.com/openview/00cbd00e0fec0a79bcecc4501c468ea8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=41736&casa_token=GRbvrnJ7Mk8AAAAA:7tdMJuSB2MozjgpEM5Ln8hJbzLHxVgFKNIJZGpgZudDoKzWuOfqjdjZTcNtctTzqJwvd3VtR4kk43.
- Chamizo, J. A. (2018). *Química General. Una aproximación histórica* (Vol. 1). D.R. UNAM. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.3.70007>
- Christenson, N. y Chang Rundgren, S. N. (2014). A framework for teachers' assessment of socio-scientific argumentation: an example using the GMO issue. *Journal of Biological Education*, 49(2), 204-212. 10.1080/00219266.2014.923486
- Cid Manzano, R. y Dasilva Alonso, G. (2012). Estudiando cómo los modelos

- atómicos son introducidos en los libros de texto de Secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 9(3), 329–337. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i3.02
- Cobern, W. W. y Loving, C. C. (2002). The card exchange: introducing the philosophy of science. En: W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 73–82). Netherlands: Springer. 10.1007/0-306-47215-5_4
- Cobo-Huesa C., Abril A. M. y Ariza M. R. (2021) Investigación basada en el diseño en la formación inicial de docentes para una enseñanza integrada de la naturaleza de la ciencia y el pensamiento crítico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3801. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3801
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences*. Hillsdale, MICH: Erlbaum.
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2005). *Research methods in education 5th Edition*. RoutledgeFalmer, Taylor & Francis e-Library. ISBN 0-203-22446-9 (Adobe eReader Format) ISBN 0-415-19541-1
- Confrey, J. y Smith, E. (1994). Exponential functions, rates of change , and the multiplicative unit. *Educational Studies in Mathematics*, 26(2/3), 135–164. <https://www.jstor.org/stable/3482782>
- Connor, A. M., Karmokar, S. y Whittington, C. (2015). From STEM to STEAM: Strategies for enhancing Engineering & Technology Education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 5(2), 37-47. 10.3991/ijep.v5i2.4458
- Cordón, R. (2009). *Enseñanza y aprendizaje de procedimientos científicos (contenidos procedimentales) en la Educación Secundaria Obligatoria; Análisis de la situación, dificultades y perspectivas*. [Tesis doctoral, Universidad de Murcia]. <http://hdl.handle.net/10803/10765>
- COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España) (2011). *Informe ENCIENDE: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España*. http://www.cosce.org/pdf/Informe_ENCIENDE.pdf.
- Costillo Borrego, E., Borrachero Cortés, A. B., Brígido Mero, M. y Mellado Jiménez, V. (2013). Las emociones sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las matemáticas de futuros profesores de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 514- 532.

<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2806>

- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En: D. Couso, M. R. Jimenez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (Eds.). *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 70–81). Penguin Random House Grupo Editorial. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>.
- Couso, D. y Garrido-Espeja, A. (2017). Models and modelling in pre-service teacher education: Why we need both. En: K.Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto y J. Lavonen (Eds.). *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research*, vol 3. (pp. 245-261). Springer, Cham. 10.1007/978-3-319-58685-4_19
- Crawford, B. A. (2007). Learning to Teach Science as Inquiry in the Rough and Tumble of Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613-642. 10.1002/tea.20157
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.). *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 515–541). New York: Routledge. 10.4324/9780203097267
- Criswell, B. A. y Rushton, G. T. (2014). Activity structures and the unfolding of problem-solving actions in high-school chemistry classrooms. *Research in Science Education*, 44, 155–188. 10.1007/s11165-013-9374-x
- Cros, D., Chastrette, M. y Fayol, M. (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10(3), 331–336. 10.1080/0950069880100308
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J. y Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8(3), 305–313. 10.1080/0140528860080307
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las ciencias*, 36(2), 23-42. 10.5565/rev/ensciencias.2241
- Crujeiras, B. y Jiménez, M. P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos

- teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las ciencias*, 33(1), 63-84. 10.5565/rev/ensciencias.1469
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A. y Criado, A.M. (2017). An analysis of the questions proposed by elementary pre-service teachers when designing experimental activities as inquiry. *International Journal of Science Education*, 39(13), 1755-1774. 10.1080/09500693.2017.1351649
- Cuzzolino, M. P. (2021). "The awe is in the process": the nature and impact of professional scientists' experiences of awe. *Science Education*, 105, 681–706. 10.1002/sce.21625
- Darling-Hammond, L. y Bransford, J. (2005). *Preparing teachers for a changing world: What teachers should learn and be able to do*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Davis, E. A., Janssen, F. J. J. M. y Van Driel, J. H. (2016). Teachers and science curriculum materials: where we are and where we need to go. *Studies in Science Education*, 52(2), 127–160. 10.1080 /03057267.2016.1161701
- De Berg, K. C. (2011). Joseph Priestley across theology, education, and chemistry: an interdisciplinary case study in epistemology with a focus on the science education context. *Science & Education*, 20(7), 805–830. 10.1007/s11191-010-9270-y
- De Berg, K. C. (2014). International handbook of research in history, philosophy and science teaching. En: M. Matthews (Ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 317– 341). Springer. 10.1007/978-94-007-7654-8
- De Manuel Torres, E. (1997). Aprendizaje de los conceptos de ácido y de base en los niveles educativos primario y secundario. En: R. Jiménez, y A.M. Wamba. *Avances en Didácticas de las Ciencias Experimentales* (pp. 207-214). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.
- De Manuel Torres, E., Jiménez Liso, M. R. y Salinas López, F. (1998a). Revisión bibliográfica sobre conceptos de los alumnos relacionados con los procesos ácido-base. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*.
- De Manuel Torres, E., Jiménez Liso, M. R. y Salinas López, F. (1998b). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel macroscópico: evolución histórica e ideas de los alumnos. *XVIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*.
- De Manuel Torres, E., Jiménez Liso, M. R. y Salinas López, F. (1999). Conceptos

- relacionados con los ácidos y las bases al nivel teórico y molecular, evolución histórica e ideas de los alumnos. En: S. García Barros y C. Martínez-Losada. *La didáctica de las ciencias: tendencias actuales* (pp. 369-380). Servicio de publicaciones de la Universidad de A Coruña.
- De Vos, W. y Pilot, A. (2001). Acids and bases in layers: the stratal structure of an ancient topic. *Journal of Chemical Education*, 78(4), 494. 10.1021/ed078p494
- DeCoito, I. y Myszkal, P. (2018). Connecting science instruction and teachers' self-efficacy and beliefs in STEM education. *Journal of Science Teacher Education*, 29(6), 485–503. 10.1080/1046560X.2018.1473748
- Demircioğlu, G., Ayas, A. y Demircioğlu, H. (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1), 36–51. <https://doi.org/10.1039/B4RP90003K>
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education*. The Free Press: New York (trad. castellana: "Democracia y Educación". Morata: Madrid, 1997
- Domènech Calvet, A. M., Máquez Bargalló, C., Roca Tort, M. y Marbà-Tallada, A. (2015). La medicalización de la sociedad, un contexto para promover el desarrollo y uso de conocimientos científicos sobre el cuerpo humano. *Enseñanza de las ciencias*, 33(1), 101–125. 10.5565/rev/ensciencias.1358
- Domenech-Casal, J., Lope, S. y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(2), 2203. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- Domínguez, C., Azcona, R. y Guisasola, J. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico. En: F. J. Perales y P. Cañal (Dir.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias* (pp. 421-450). Alcoy: Editorial Marfil.
- Dominguez-Sales, M. C., Furio-Mas, C. y Guisasola, J. (2007). Learning from the history and philosophy of science: deficiencies in teaching the macroscopic concepts of substance and chemical change. En: R. Pinto y D. Couso (Eds.). *Contributions from science education research* (pp. 249–259). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5032-9_19
- Donnelly, D. F., McGarr, O. y O'Reilly, J. (2014). "Just be quiet and listen to exactly what he's saying": conceptualising power relations in inquiry-oriented classrooms. *International Journal of Science Education*, 36, 2029–2054.

doi: 10.1080/09500693.2014.889867

- Drago, R. S. (1973). Pearson's quantitative statement of HSAB [hard-soft acid-base]. *Inorganic Chemistry*, 12(9), 2211–2212. 10.1021/ic50127a063.
- Drechsler, M. (2007). *Models in chemistry education. A study of teaching and learning acids and bases in Swedish upper secondary schools*. Karlstad University. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:6511/FULLTEXT01.pdf>
- Drechsler, M. y Van Driel, J. (2008). Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acidbase chemistry. *Research in Science Education*, 38(5), 611–631. 10.1007/s11165-007-9066-5
- Drechsler, M. y Van Driel, J. (2009). Teachers' perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools. *Chemical Education Research and Practice*, 10(2), 86–96. 10.1039/B908246H
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). Young people's images of science. Buckingham: Open University Press. 10.1088/0031-9120/31/3/023
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Narcea: Madrid.
- Duschl, R. A. y Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22(9), 2109–2139. 10.1007/s11191-012-9539-4
- Duschl, R.A. y Gitomer, D.H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D. y Leifer, L. J. (2005). Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103-120. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- Ebenezer, J., Kaya, O. N. y Ebenezer, D. L. (2011). Engaging students in environmental research projects: Perceptions of fluency with innovative technologies and levels of scientific inquiry abilities. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 94–116. 10.1002/tea.20387
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. 10.1186/s40594-016-0036-1
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: an emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10 (Butterfield 1949), 581–593.

10.1023/A:1017564604949

- Erduran, S. (2003). Examining the mismatch between pupil and teacher knowledge in acid–base chemistry. *School Science Review*, 84(308), 81–88.
- Erduran, S. (2007). Bonding epistemological aspects of models with curriculum design in acid-base chemistry. En: M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (Eds.). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp. 41–72). UAB. <http://edumat.uab.cat/didactica/files/compartits/28.pdf>
- Erduran, S. y Yan, X. (2009). *Minding gaps in argument: continuous professional development in the teaching of inquiry*. Bristol: University of Bristol.
- Erduran, S. y Kaya, E. (2019). En S. Erduran y E. Kaya (Eds.), *Transforming teacher education through the epistemic core of chemistry*. Springer. 10.1007/978-3-030-15326-7.
- Evagorou, M. y Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209–237. 10.1002/tea.21076.
- Evagorou, M., Dillon, J., Viiri, J. y Albe, V. (2015). Pre-service science teacher preparation in Europe: comparing pre-service teacher preparation programs in England, France, Finland and Cyprus. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1), 99–115. 10.1007/s10972-015-9421-8.
- Ferrari, M. y Farfán, R. M. (2008). Un estudio socioepistemológico de lo logarítmico: La construcción de una red de modelos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 11(3), 309–354. <http://funes.uniandes.edu.co/10345/1/Ferrari2008Un.pdf>
- Ferrés Gurt, C., Marbà, A. y Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22–37. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2900>
- Finley, S. (2011). Critical Arts-Based Inquiry. En: N. K. Denzin y Y. S. Lincoln (Eds.). *The SAGE handbook of qualitative research* (pp. 435–450). Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Fives, H. y Buehl, M. M. (2012). Spring cleaning for the 'messy' construct of teachers' beliefs: What are they? Which have been examined? What can they tell us? En: K. R. Harris, S. Graham y T. Urdan (Eds.). *APA educational*

- psychology handbook* (pp. 471–499). APA.
- Fortus, D. (2014). Attending to affect. *Journal of Research in Science Teaching*, 51, 821–835. 10.1002/tea.21155
- Franklin, E.C. (1905). Reactions in liquid ammonia. *Journal of the American Chemical Society*, 27(7), 820-851. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01985a002>.
- Fullan, M. G. (1991). Professional development of educators. En M. G. Fullan, *The new meaning of educational change* (pp. 315-344). New York: Teachers College Press.
- Furió-Mas, C., Calatayud, M. L. y Bárcenas, S. L. (2007). Surveying students' conceptual and procedural knowledge of acid–base behavior of substances. *Journal of Chemical Education*, 84(10), 1717–1724. 10.1021/ed084p1717.
- Furman, M., Larsen, M.E. y Giorgi, P. (2020). ¿Cuáles son las mejores estrategias para la formación de docentes en ejercicio? Documento N°12. Proyecto *Las preguntas educativas: ¿qué sabemos de educación?* Buenos Aires: CIAESA
- García Barros S., Martínez Losada, C. y Mondelo. M. (1995). El trabajo práctico. Una intervención para la formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 13(2), 203-209. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21409>.
- García Barros S., Martínez Losada, C., Mondelo y Vega, P. (1999). ¿Mejoran los diseños de actividades prácticas investigativas de docentes en formación cuando se introduce tareas dirigidas a la enseñanza/aprendizaje de procedimientos científicos? En: S. García Barros y C. Martínez Losada. *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales* (pp. 141-157). La Coruña: Universidad La Coruña.
- García, F. J., Quesada, A., Romero-Ariza, M. R. y Abril, A. (2019). Promoting inquiry in mathematics and science: professional development of primary and secondary school teachers. *Educación XX1*, 22(2), 335–359. 10.5944/educXX1.23513
- García-Mila, M., Pérez-Echeverría, M. P., Postigo, Y., Martí, E., Villarroel, C. y Gabucio, F. (2016). Nuclear power plants? Yes or no? Thank you! The argumentative use of tables and graphs / ¿Centrales nucleares? ¿Sí o no? ¡Gracias! El uso argumentativo de tablas y gráficas. *Infancia y Aprendizaje*, 39(1), 187-218. 10.1080/02103702.2015.1111605
- Gardner, P. L. (1975) Attitudes to Science: A Review. *Studies in Science Education*,

2(1), 1-41. 10.1080/03057267508559818.

Garnett, P. J., Garnett, P. J. y Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69–96. 10.1080/03057269508560050.

Garrido-Espeja, A. y Couso, D. (2017). *Models and modelling as a training context: what are pre-service teachers' perceptions?* <https://pdfs.semanticscholar.org/68bf/832ad16a69a28224519cd48b7fc3706c4f69.pdf>.

Gauche, R., Ribeiro da Silva, R., de Aguiar Baptista, J., Luiz Pereira dos Santos, W., de Souza Mól, G. y Fernandes Lootens Machado, P. (2007). Formación de profesores de química: concepciones y propuestas. *Educación Química*, 18(1), 30-33. 10.22201/fq.18708404e.2007.1.65974

Gericke, N. M. y Hagberg, M. (2010). Conceptual incoherence as a result of the use of multiple historical models in school textbooks. *Research in Science Education*, 40(4), 605–623. 10.1007/s11165-009-9136-y.

Gershon, W. S. y Ben-Horin, O. (2014). Deepening inquiry: What processes of making music can teach us about creativity and ontology for Inquiry Based Science Education. *International Journal of Education & the Arts*, 15(19), 1–37. 10.1177/1321103X0001500110

Ghanbari, S. (2014). *Integration of the Arts in STEM: A Collective Case Study of Two Interdisciplinary University Programs*. University of California, San Diego. http://csusm-dspace.calstate.edu/bitstream/handle/10211.3/121208/GhanbariSheena_Spring2014.pdf?sequence=1

Gil, D. (1987). Los errores conceptuales como origen de un nuevo modelo didáctico: de la búsqueda a la investigación. *Investigación en la Escuela*, 35-41. 10.12795/IE.1987.i01.05

Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21204>.

Gil, D. y Martínez Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science*

- Education*, 54(4), 447-455. 10.1080/0140528830050408
- Gil, D., Martínez-Torregrosa, J. y Senent, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: Una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), 131-146. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51079>
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en educación secundaria*. ICE. Universitat de Barcelona: Barcelona.
- Girod, M., Twyman, T. y Wojcikiewicz, S. (2010). Teaching and learning science for transformative, aesthetic experience. *Journal of Science Teacher Education*, 21, 801–824. 10.1007/s10972-009-9175-2
- Goleman, D. (1996). *Inteligencia emocional*. Barcelona: Kairós.
- Gottlieb, S., Keltner, D. y Lombrozo, T. (2018). Awe as a scientific emotion. *Cognitive Science*, 42, 2081–2091. 10.1111/cogs.12648
- Graham, M. A. (2021). The disciplinary borderlands of education: art and STEAM education (Los límites disciplinares de la educación: arte y educación STEAM), *Journal for the Study of Education and Development*, 44(4), 769-800. 10.1080/02103702.2021.1926163
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822. 10.1002/tea.3660280907.
- Grossman, P. (2018). *Teaching Core Practices in Teacher Education (Core Practices in Education Series)*. Harvard Education Press. ISBN-10:1682531872
- Grossman, P., Hammerness, K. y McDonald, M. (2009) Redefining teaching, re-imagining teacher education. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 15(2), 273-289. 10.1080/13540600902875340
- Grossman, P. y McDonald, M. (2008). Back to the Future: Directions for Research in Teaching and Teacher Education. *American Educational Research Journal*, 45(1), 184–205. 10.3102/0002831207312906
- Guisasola J. y Oliva J.M. (2020) Nueva sección especial de REurEDC sobre investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3001. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3001

- Guisasola J., Ametller J. y Zuza K. (2021) Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1801. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Guskey, T. R. (2020). Flip the Script on Change: Experience Shapes Teachers' Attitudes and Beliefs. *The Learning Professional*, 41(2), 18-22. https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1044&context=edp_facpub
- Halawa, S., Hsu, Y.-S., Zhang, W.-X., Kuo, Y.-R. y Wu, J.-Y. (2020). Features and trends of teaching strategies for scientific practices from a review of 2008–2017 articles. *International Journal of Science Education*, 42, 1183–1206. 10.1080/09500693.2020.1752415
- Hamachek, D. (1999). Effective teachers: What they do, how they do it, and the importance of self-knowledge. En: R. P. Lipka y T. M. Brinthaupt (Eds.). *The role of self in teacher development* (pp. 189-224). Albany, N.Y.: State University of New York Press.
- Han, S., Capraro, R. y Capraro, M. M. (2015). How Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Project-Based Learning (PBL) affects high, middle, and low achievers differently: the impact of student factors on achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(5), 1089–1113. 10.1007/s10763-014-9526-0
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education. ISBN: 978 0 86357 4 313.
- Harlen, W. (2013). Assessment and Inquiry-Based Science Education: Issues in Policy and Practice. Trieste: IAP-SEP. https://www.interacademies.org/sites/default/files/publication/ibse_assessment_guide_iap_sep_0.pdf
- Harlen, W. (2018). *The Teaching of Science in Primary Schools*. London: Taylor & Francis Ltd.
- Heilman, K. M. (2016). Possible brain mechanisms of creativity. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 31(4), 285–296. 10.1093/arclin/acw009
- Hernández, M. I., Couso, D. y Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of

- materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 356-377. 10.1007/s10956-014-9503-y
- Hitonn, C. y Fischer, K. W. (2010). Learning from the developmental and biological perspective. En: H. Dumont, D. Istance, y F. Benavides, (eds.), *The Nature of Learning: Using Research to Inspire Practice* (pp. 114-134). Paris: OECD. https://read.oecd-ilibrary.org/education/thenature-of-learning_9789264086487-en#page117
- Hodson, D. (1996). Practical work in school science: exploring some directions for change. *International Journal Science Education*, 18(7), 755-760. 10.1080/0950069960180702
- Hoe, K. Y. y Subramaniam, R. (2016). On the prevalence of alternative conceptions on acid-base chemistry among secondary students: insights from cognitive and confidence measures. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 263-282. 10.1039/C5RP00146C.
- Hollweck, T. (2016). Robert K. Yin. (2014). Case study research design and methods (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. 282 pages. *The Canadian Journal Of Program Evaluation*, 30(1). 10.3138/CJPE.BR-240
- Howard-Jones, PA. (2007). *Neuroscience and education: Issues and opportunities, A Commentary by the Teaching and Learning Research Programme*. TLRP/ESRC. <http://www.bristol.ac.uk/education/people/academicStaff/edpahj/publications/comm.pdf>
- Inkinen, J., Klager, C., Juuti, K., Schneider, B., Salmela-Aro, K., Krajcik, J. y Lavonen, J. (2020). High school students' situational engagement associated with scientific practices in designed science learning situations. *Science Education*, 104(4), 667-692. 10.1002/sce.21570
- Ireland, J., Watters, J., Brownlee, J. y Lupton, M. (2014). Approaches to Inquiry Teaching: Elementary teacher's perspectives. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1733-1750. 10.1080/09500693.2013.877618
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), 45-59. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21559>.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En: F. J. Perales y P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Marfil.

- Izquierdo-Aymerich, M. y Aduriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12, 27–43. 10.1023/A:1022698205904.
- Jaber, L. Z. y Hammer, D. (2016). Learning to feel like a scientist. *Science education*, 100, 189–220. 10.1002/sce.21202
- Jaén, M. y García-Estañ, R. (1997). Una revisión sobre la utilización del trabajo práctico en la enseñanza de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5(2), 107-116. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/88431>.
- James, M. (2012). Assessment in harmony with our understanding of learning: problems and possibilities. En: J. Gardner (ed.). *Assessment and Learning* (pp. 187-205). London: Sage.
- Jewitt, C. (2008a). Multimodality and literacy in school classrooms. *Review of Research in Education*, 32(February), 241–267. 10.3102/0091732X07310586
- Jewitt, C. (2008b). *The visual in learning and creativity: A review of the literature*. Institute of Education, University of London.
- Jiang, F. y McComas, W.F. (2015). The Effects of Inquiry Teaching on Student Science Achievement and Attitudes: Evidence from Propensity Score Analysis of PISA Data. *International Journal of Science Education*, 37(3), 554-576. 10.1080/09500693.2014.1000426
- Jiménez Aleixandre, M.P. (1992). *Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza*. Curso ACD. MEC: Madrid.
- Jiménez-Liso, M. R. (2000). *Contenidos relacionados con los procesos ácido-base: diagnóstico y propuestas didácticas al nivel universitario*. [Tesis Doctoral, Universidad de Granada].
- Jiménez-Liso, M. R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). En: D. Couso, M. R., Jimenez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (Eds.). *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 60–69). Penguin Random House Grupo Editorial. <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>.
- Jiménez Liso, M. R. y Manuel Torres, E. de (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 451-464, <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21837>.
- Jiménez Liso, M. R., Manuel Torres, E. de, González García, F. y Salinas López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las*

ciencias, 18(3), 451–461. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21696>

Jiménez-Liso, M. R., Giménez-Caminero, E., Martínez-Chico, M., Castillo-Hernández, F. J. y López-Gay, R. (2019). El enfoque de enseñanza por indagación ayuda a diseñar secuencias: ¿Una rama es un ser vivo? En: J. Solbes, M. R. Jiménez-Liso y T. Pina (Eds.). *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto* (pp. 97–119). Tirant lo blanch.

Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L. y Dillon, J. (2020). Changing How We Teach Acid-Base Chemistry. A proposal Grounded in Studies of the History and Nature of Science Education. *Science & Education*, 29(5), 1291–1315. DOI: 10.1007/s11191-020-00142-6

Jiménez Liso, M.R., López Banet, L. y Dillon, J, (2021a). Cambiar la forma de enseñar reacciones ácido-base. Del modelo de Arrhenius al modelo de Lewis. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 103, 31-37. <https://www.grao.com/es/producto/cambiar-la-forma-de-ensenar-las-reacciones-acidobase-al103100308>

Jiménez-Liso, M. R., López-Gay, R. y Márquez, M. (2010). Química y cocina : del contexto a la construcción de modelos (Chemistry and cooking: from context to building models). *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 65, 33–44. <https://www.grao.com/es/producto/quimica-y-cocina-del-contexto-a-la-construccion-de-modelos-al06519215>

Jimenez-Liso, M. R., Martinez Chico, M., Avraamidou, L. y López-Gay, R. (2021). Scientific Practices in Teacher Education: The Interplay of Sense, Sensors, and Emotions. *Research in Science and Technological Education*, 39(1), 44–67. 10.1080/02635143.2019.1647158

Jimenez-Liso, M. R., Martinez Chico, M., Avraamidou, L. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2021b). Scientific practices in teacher education: the interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39, 44–67. 10.1080/02635143.2019.1647158

Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M. y Salmerón-Sánchez, E. (2018). Chewing gum and pH level of the mouth: a model-based inquiry sequence to promote scientific practices. *World Journal of Chemical Education*, 6(3), 113-116. 10.12691/wjce-6-3-2

Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M. y Salmerón-Sánchez, E. (2018). Chewing

- gum and pH level of the mouth: a model-based inquiry sequence to promote scientific practices. *World Journal of Chemical Education*, 6(3), 113–116. 10.12691/wjce-6-3-2
- Jiménez-Liso, M. R., Sánchez Guadix, M. A. y De Manuel, E. (2002). Química cotidiana para la alfabetización científica: ¿realidad o utopía? *Educación Química*, 13, 259–266. 10.22201/fq.18708404e.2002.4.66284
- Jimenez-Liso, M.R., Bellocchi, A., Martinez-Chico, M. y López-Gay, R (2022). A Model-Based Inquiry Sequence as a Heuristic to Evaluate Students' Emotional, Behavioural, and Cognitive Engagement. *Research in Science Education*, 52, 1313–1334 (2022). 10.1007/s11165-021-10010-0
- Jiménez-Liso, M.R., Martínez-Aznar, M.M., López-Banet, L., Quesada, A. y Romero-Ariza M. (2021c). Para prevenir contagios por coronavirus hay que lavarse las manos, ¿con jabón, hidroalcohol, lejía o agua oxigenada? En: A. M. Abril, A. Blanco-López, y A. J. Franco (coords.). *Enseñanza de las ciencias en tiempos de Covid-19. De la investigación didáctica al aula* (pp. 177-191). Graó. Barcelona. 978-84-18627-67-5.
- Jiménez-Liso, M.R., Romero, M., Martínez-Chico, M., Amat, A. y Salmerón, E. (2017). Sensopíldora chicles orbit: uso de sensores para promover prácticas científicas de indagación con modelos. *Enseñanza de las Ciencias, num. extra*: 685-690.
https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/12._sensopildora_chicles_orbit.pdf
- Jonassen, D. (2011). Supporting Problem Solving in PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 5(2), 9–27. 10.7771/1541-5015.1256
- Judge, A. (1996). *Understanding Sustainable dialogue: The secret within bucky's ball?*
<https://www.laetusinpraesens.org/musings/bucky.php>
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (1999a). A cause of ahistorical science teaching: use of hybrid models. *Science Education*, 83(2), 163–177. 10.1002/(SICI)1098-237X(199903)83:23.0.CO;2-I.
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (1999b). The history and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science & Education*, 8(3), 287–307. 10.1023/A:1008645714002.
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En: R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.). *Teaching scientific inquiry: recommendations for research and*

- implementation* (pp. 99–117). Brill Sense. https://doi.org/10.1163/9789460911453_009.
- Keltner, D. y Haidt, J. (2003). Approaching awe, a moral, spiritual, and aesthetic emotion. *Cognition and Emotion*, 17, 297–314. 10.1080/02699930302297
- Kenyon, L., Schwarz, C. y Hug, B. (2008). The benefits of scientific modeling. *Science and Children*, 46(2), 40-44. <https://my.nsta.org/resource/6875/the-benefits-of-scientific-modeling>
- Khader, F. R. (2012). Teachers' pedagogical beliefs and actual classroom practices in social studies instruction. *American International Journal of Contemporary Research*, 2(1), 73–92. https://www.uop.edu.jo/download/Research/members/111_2027_fakh.pdf
- Khan, S. (2007). Model-based Inquiries in Chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905. 10.1002/sce.20226
- Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91, 877–905. doi: 10.1002/sce.20226
- Kim, B. H. y Kim, J. (2016). Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM Education in Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1909-1924. 10.12973/eurasia.2016.1537a
- Kim, M. y Tan, A.L. (2011). Rethinking Difficulties of Teaching Inquiry-Based Practical Work: Stories from elementary pre-service teachers. *International Journal of Science Education*, 33(4), 465-486.
- Kipnis, N. (2011). Errors in science and their treatment in teaching science. *Science and Education*, 20(7), 655– 685. 10.1007/s11191-010-9289-0.
- Kitchen J. y Petrarca D. (2016). Approaches to Teacher Education. En: J. Loughran y M. Hamilton M. (eds)., *International Handbook of Teacher Education* (pp. 137-186). Springer, Singapore. 10.1007/978-981-10-0366-0_4
- Korthagen, F. A. J., (2010). La práctica, la teoría y la persona en la formación del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 68(24,2), 83-101.
- Kuhn, D., Arvidsson, T.S, Lesperance, R. y Corprew, R. (2017). Can Engaging in Science Practices Promote Deep Understanding of Them? *Science Education*, 101(2). 232-250. 10.1002/sce.21263

- Lawson, A.E. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las ciencias*, 12(2), 165-187. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21356>
- Leden, L., Hansson, L., Redfors, A. y Ideland, M. (2015). Teachers' ways of talking about nature of science and its teaching. *Science and Education*, 24(9-10), 1141-1172. 10.1007/s11191-015-9782-6.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S., Jimenez, J., Acosta, K., Akubo, M., Aly, S., Andrade, M. A. B. S. d., Atanasova, M., Blanquet, E., Blonder, R., Brown, P., Cardoso, R., Castillo-Urueta, P., Chaipidech, P., Concannon, J., Dogan, O. K., El-Deghaidy, H., Elzorkani, A., ... Wishart, J. (2021). International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: is progress Being made? *International Journal of Science Education*, 43(7), 991-1016. 10.1080/09500693.2021.1894500
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-880). Lawrence Erlbaum Associates.
- Lémery, N. (1697). *Cours de Chymie*. E. Michallet (ed.).
- Levinson, R. (2018). Introducing socio-scientific inquiry-based learning (SSIBL). *School Science Review*, 100(371), 31-35. https://www.ase.org.uk/system/files/SSR_December_2018_031-035_Levinson_0.pdf
- Lewis, E.B., Hoeven Kraft, K. J. van der, Watts, N.B., Baker, D.R., Wilson, M.J. y Lang. M. (2011). Elementary Teachers' Comprehension of Flooding through Inquiry-based Professional Development and Use of Self-regulation Strategies. *International Journal of Science Education*, 33(11), 1473-1512.
- Lewis, G. N. (1923). *Valence and the structure of atoms and molecules* (Issue 14). Chemical Catalog Company, Incorporated.
- Lewis, T. (2006). Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum? *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 255-281. 10.1002/tea.20111
- Löfström, E. y Poom-Valickis, K. (2013). Beliefs about teaching: Persistent or malleable? A longitudinal study of prospective student teachers' beliefs.

- Teaching and Teacher Education*, 35, 104–113. 10.1016/j.tate.2013.06.004
- LOMCE (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *BOE*, 3 de enero. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- López-Banet, L., Aguilera, D., Jiménez-Liso, M.R. y Perales-Palacios, F.J. (2021a). Emotional and Cognitive Preservice Science Teachers' Engagement While Living a Model-Based Inquiry Science Technology Engineering Mathematics Sequence About Acid-Base, *Frontiers in Psychology*, 12, 719648. 10.3389/fpsyg.2021.719648.
- López-Banet, L., Perales, F. J., and Jiménez-Liso, M. R. (2021b). STEAM views from a need: the case of the chewing gum and pH sensopill. *Journal for the Study of Education and Development*, 44, 1–34. doi: 10.1080/02103702.2021.1927505
- López-Banet, L., Ruiz González, C. y Ayuso Fernández, E. (2020). Relationships between Knowledge, Attitudes and Interests of Spanish Preuniversity Students in Relation to Different Areas of Biotechnology. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(12), em1916. 10.29333/ejmste/9158
- López-Gay, R., Martínez Sáez, J. y Martínez Torregrosa, J. (2015). Obstacles to mathematization in physics: The case of the differential. *Science and Education*, 24(5–6), 591–613. 10.1007/s11191-015-9757-7
- López-Simó, V., Grimalt-Álvaro, C. y Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 15(3), 3302 1-15. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3302
- Lowry, T. M. (1923). The uniqueness of hydrogen. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 42(3), 43–47.
- Lupión-Cobos, T., López-Castilla, R. y Blanco-López, Á. (2017). What do science teachers think about developing scientific competences through context-based teaching? A case study. *International Journal of Science Education*, 39(7), 937–963. 10.1080/09500693.2017.1310412
- Maass, K., Geiger, V., Romero-Ariza, M. y Goos, M. (2019). The role of

- Mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM - Mathematics Education*, 51(6), 869–884. 10.1007/s11858-019-01100-5
- Madden, M. E., Baxter, M., Beauchamp, H., Bouchard, K., Habermas, D., Huff, M., Ladd, B., Pearson, J. y Plague, G. (2013). Rethinking STEM education: An interdisciplinary STEAM curriculum. *Procedia Computer Science*, 20, 541–546. 10.1016/j.procs.2013.09.316
- Marchán-Carvajal, I. y Sanmartí, N. (2015). Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas: aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. *Educación Química*, 26, 267-274. 10.1016/j.eq.2015.06.001
- Markic, S. y Eilks, I. (2008). A case study on German first year chemistry student teachers' beliefs about chemistry teaching, and their comparison with student teachers from other science teaching domains. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 25–34. 10.1039/B801288C
- Markic, S., Eilks, I. y Valanides, N. (2008). Developing a tool to evaluate differences in beliefs about science teaching and learning among freshman science student teachers from different science teaching domains: a case study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 4(2), 109-120. 10.12973/ejmste/75311
- Martínez Chico, M., López-Gay Lucio-Villegas, R. y Jiménez Liso, M^a R. (2013). Propuesta de formación inicial de maestros fundamentada en la enseñanza por indagación centrada en el modelo de sol-tierra. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, n.º Extra, 2173-2178, <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/307757>
- Martínez Mondelo, C. y García Barros, S. (2002). La utilidad de las actividades de enseñanza de las ciencias en la ESO desde la perspectiva del profesorado. *XX Encuentros de didáctica de las ciencias experimentales*, 512-520. La Laguna. ISBN 84-607-5317-4
- Martínez Mondelo, C., García Barros, S. y Mondelo, M. (1993). Las ideas de los profesores de ciencias sobre la formación docente. *Enseñanza de las ciencias*, 11(1), 26-32. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/39773>
- Martínez-Chico, M. (2013). *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza*. [Tesis doctoral, Universidad de Almería]. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=k>

WSS9z0JTnA%3D

- Martínez-Chico, M., López-Gay Lucio-Villegas, R. y Jiménez-Liso, M. R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 32(3), 591-608. 10.5565/rev/ensciencias.1376
- Martínez-Chico, M., López-Gay, R., Jiménez-Liso, M. R. y Acher, A. (2013). Demandas de maestros en activo y materiales curriculares para la enseñanza de las ciencias. *Investigación En La Escuela*, 80, 35–48. 10.12795/IE.2013.i80.03
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. y Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. 10.1002/sce.21522
- McClary, L. M. y Bretz, S. L. (2012). Development and assessment of a diagnostic tool to identify organic chemistry students' alternative conceptions related to acid strength. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2317–2341. 10.1080/09500693.2012.684433
- McComas, W. F. (2006). *The nature of science in science education: rationales and strategies*. En: W. F. McComas (Ed.). Springer Science & Business Media. 10.1007/978-0-306-47215-2
- McDonald, M., Kazemi, E. y Kavanagh, S. S. (2014). Core Practices and Pedagogies of Teacher Education: A Call for a Common Language and Collective Activity. *Journal of Teacher Education*, 64(5), 378–386. 10.1177/0022487113493807
- McMillan, J. y Schumacher, S. (2005). *Investigación educativa. Una introducción conceptual*. 5a Edición. Madrid (España). Pearson Educación.
- Mehta, G., Yam, V. W. W., Krief, A., Hopf, H. Y. y Matlin, S. A. (2018). The chemical sciences and equality, diversity, and inclusion. *Angewandte Chemie International Edition*, 57, 14690–14698. 10.1002/anie.201802038
- Mellado Jiménez, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las ciencias*, 21(3), 343–358. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21943>
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., et al. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 32, 11–36. 10.5565/rev/ensciencias.1478
- Milne, C. y Otieno, T. (2007). *Understanding Engagement: Science*

- Demonstrations and Emotional Energy. *Science Education*, 91(4), 523–553.
10.1002/sce20203
- Milner, A., Sondergeld, T. A., Demir, A., Johnson, C. C. y Czerniak, C. M. (2012). Elementary teachers' beliefs about teaching science and classroom practice: an examination of pre/post NCLB testing in science. *Journal of Science Teacher Education*, 23, 111–132. 10.1007/s10972-011-9230-7
- Ministerio de Educación y Ciencia (2006). *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-238>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional (2022). *Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria*.
- Moraga, S. H., Espinet, M. y Merino, C. G. (2019). El contexto en la enseñanza de la química: Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en formación inicial. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1604.
10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1604
- Moreno, L., Zuñiga, K., Cofré, H. y Merino, C. (2018). Efecto (¿o no?) de la inclusión de naturaleza de la ciencia en una secuencia para el aprendizaje y la aceptación de la teoría de la evolución. *Revista Lusófona de Educação*, 15(3), 3105. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105
- Murphy, A.N., Luna, M.J. y Bernstein, M.B. (2017). Science as experience, exploration, and experiments: elementary teachers' notions of 'doing science'. *International Journal of Science Education*, 39 (17), 2283-2303.
10.1080/09500693.2017.1374578
- Naciones Unidas (UN) (2016). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Nueva York.
- Naciones Unidas (UN) (2020). *Objetivos de desarrollo sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/gender-equality/>
- Nadelson, L. S., Callahan, J., Pyke, P., Hay, A., Dance, M. y Pfiester, J. (2013). Teacher STEM perception and preparation: Inquiry-based stem professional development for elementary teachers. *Journal of Educational Research*, 106(2), 157–168. 10.1080/00220671.2012.667014

- Nakhleh, M. B. y Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and ph concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077–1096. 10.1002/tea.3660311004
- National Research Council (NRC) (1998). National Science Education Standards. National Committee on Science Education Standards and Assessment. Washington, DC. National Academy Press (NAP). <http://www.nap.edu/catalog/4962.html>
- National Research Council (NRC) (2000). Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC) (2003). *Beyond the molecular frontier: challenges for chemistry and chemical engineering*. Washington, DC: National Academy Press
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. 10.17226/9596.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education. Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. 10.17226/13165.
- Navarro-Loidi, J. y Llombart, J. (2008). The introduction of logarithms into Spain. *Historia Mathematica*, 35(2), 83–101. 10.1016/j.hm.2007.09.002
- Niaz, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science and Education*, 18(1), 43–65. 10.1007/s11191-007- 9082-x.
- Nieda, J. (1994). Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en secundaria. *Alambique*, 2, 15-20. <http://hdl.handle.net/11162/20650>
- Nieda, J. (2006). Los trabajos prácticos diez años más tarde. *Alambique*, 48, 25-31. <https://www.grao.com/es/producto/los-trabajos-practicos-diez-anos-mas-tarde-al04813976>
- Nieveen N. (2010). Formative evaluation in educational design research. En: T. Plomp y N. Nieveen (Eds.). *An introduction to educational design research* (pp. 89-10). Enschede: SLO.
- Nieveen, N. y Folmer, E. (2013). Formative Evaluation in Educational Design Research. En: T. Plomp, y N. Nieveen (Eds.). *Educational Design Research. Part*

A: An introduction (pp. 152–16). Enschede: SLO.

- Nouri, N., McComas, W. F. y Aponte-Martinez, G. J. (2019). Instructors' rationales and strategies for teaching history of science in preservice settings: illustrations from multiple cases with implications for science teacher education. *Science and Education*, 28(3–5), 367–389. 10.1007/s11191-019-00055-z
- NRC (2012). *A framework for K-12 Science Education. Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas*. The National Academies Press.
- Nyachwaya, J. M. (2016). General chemistry students' conceptual understanding and language fluency: acidbase neutralization and conductometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 509–522. 10.1039/C6RP00015K
- Oatley, K. y Jenkins, J. M. (1992). Human emotions: function and dysfunction. *Annual Review of Psychology*, 43(1), 55-85. 10.1146/annurev.ps.43.020192.000415
- OCDE (2006). PISA 2006: *Marco de la evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura*. <http://browse.oecdbookshop.org/oecd/pdfs/free/9806034e.pdf>
- OCDE (2000). *Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. OECD Publications Service: France.
- OCDE (2017). *Resultados de PISA 2015 (Volumen V). Solución colaborativa de problemas*. 10.1787/9789264285521-en
- OECD (2016). *PISA 2015. Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos. Informe Español*. <http://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Spain.pdf>
- Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. 10.1080/09500693.2010.502191.
- Olejarz, J. (2017). Liberal Arts in the Data Age. *Harvard Business Review*, (July-August), 144–145. <https://hbr.org/2017/07/liberal-arts-in-the-data-age>
- Oliva J. M^a (2020) Sobre la importancia de contextualizar las investigaciones en didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1), 1001. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1001

- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. 10.1007/s10972-014-9384-1.
- Osborne, J. y Dillon, J. (coords.) (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London: Nuffield Foundation.
- Ottonello, G. y Moretti, R. (2004). Lux-Flood basicity of binary silicate melts. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65(8–9), 1609–1614. 10.1016/j.jpcs.2004.01.012.
- Özmen, H., DemİrcİoĖlu, G. y Coll, R. K. (2009). A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students' understanding of acid-base chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(1), 1–24. 10.1007/s10763-007-9087-6.
- Paik, S. H. (2015). Understanding the relationship among Arrhenius, Bronsted-Lowry, and Lewis theories. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1484–1489. 10.1021/ed500891w.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford: Oxford University Press. En: W. Harlen (2018). *The Teaching of Science in Primary Schools*. London: Taylor & Francis Ltd.
- Pareja Roblin, N., Schunn, C. y McKenney, S. (2018). What are critical features of science curriculum materials that impact student and teacher outcomes? *Science Education*, 102(2), 260–282. 10.1002/sce.21328.
- Parker, J. (2006). Exploring the impact of varying degrees of cognitive conflict in the generation of both subject and pedagogical knowledge as primary trainee teachers learn about shadow formation. *International Journal of Science Education*, 28, 1545–1577. 10.1080/09500690600780179
- Pearson, R. G. (1963). Hard and soft acids and bases. *Journal of the American Chemical Society*, 85(22), 3533–3539. 10.1021/ja00905a001.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C. y Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. 10.1016/j.edurev.2015.02.003.
- Perales, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 24(1), 13-30.

<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/73529>

- Perales, F. J. y de Jiménez, J. D. (2002). Las Ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 369–386. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21826/21660>
- Perignat, E. y Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43. 10.1016/j.tsc.2018.10.002
- Piaget, J. (1971). *Genetic Epistemology*. New York, NY: Norton Library. 10.7312/piag91272
- Pickett, S. y Bianchi, L. (2018). Let music be the food of...science! *Primary Science*, 153(May), 8–10. https://www.ase.org.uk/system/files/8-10_4.pdf
- Pilitsis, V. y Duncan, R.G. (2012). Changes in Belief Orientations of Preservice Teachers and Their Relation to Inquiry Activities. *Journal of Science Teacher Education*, 23(8), 909-936. 10.1007/s10972-012-9303-2
- Plomp, T. (2013). Educational Design Research: An Introduction. En: T. Plomp y N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research. Part A: An introduction* (pp. 10–51). Enschede: SLO.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcaráte, M. y Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de Ciencias I: marco teórico y formativo. *Enseñanza de las ciencias*, 28(1), 31–46. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/189094>.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata: Madrid.
- Prins, G. T., Bulte, A. M.W. y Pilot. A. (2018). Designing context-based teaching materials by transforming authentic scientific modelling practices in chemistry. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1108-1135. 10.1080/09500693.2018.1470347
- Pro (2000). La construcción social de la ciencia; implicaciones en el diseño de una propuesta de enseñanza y en la elaboración de instrumentos de análisis y de evaluación del aprendizaje. *XIX Encuentros de didáctica de las ciencias experimentales*. Madrid.
- Quigley, C. F. y Herro, D. (2016). “Finding the Joy in the Unknown”: Implementation of STEAM Teaching Practices in Middle School Science and Math Classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 410–426.

10.1007/s10956-016-9602-z

Quigley, C. F., Herro, D. y Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1–2), 1–12. 10.1111/ssm.12201

Quílez, J. (2019). A categorisation of the terminological sources of student difficulties when learning chemistry. *Studies in Science Education*, 00(00), 1–47. 10.1080/03057267.2019.1694792.

Ramírez, L., Gil, D. y Martínez-Torregrosa, J. (1994). *La resolución de problemas de Física y Química como investigación*. Madrid: MEC.

Rau, G. (2009). An activity to help students learn about observation, interpretation, and argumentation. *The Science Teacher*, 76(8), 30–35 https://search.proquest.com/openview/d17fb9b36f453372be586adc1496650a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40590&casa_token=uoJUIA-q53cAAAAA:hqasIJWD5BmriLScKiuaHXvbKkDumwnjVpSRjKWqAKUbiRw1EGLWN7po_todPcPWWI5fdzboXbNL

Reis, P. (2013). Da discussão à ação sociopolítica sobre controvérsias sócio-científicas: uma questão de cidadania. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista*, 3(1), 1-10. 10.20912/2237-4450/v3i1.1028

Reis, P. (2020). Environmental Citizenship and Youth Activism. En: A. C. Hadjichambis, P. Reis, D. Paraskeva-Hadjichambi, J. Činčera, J. B. Pauw, N. Gericke y M.-C. Knippels (Eds.). *Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education* (pp. 139–148). Springer Open.

Rivero García, A. y Jiménez Liso, M. R. (2021). *Prácticas clave en la formación de docentes de ciencias: aproximaciones para un debate necesario*. Conferencia. 11º Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. 7-10 septiembre.

Rivero, A., Hamed, S., Delord, G. y Porlán, R. (2020). Las concepciones de docentes universitarios de ciencias sobre los contenidos. *Enseñanza de las ciencias*, 38(3), 15-35. 10.5565/rev/ensciencias.2845

Robelen, E. W. (2011). STEAM: Experts make case for adding arts to STEM. *Education Week*, 31(13), 8.

Rocard, M., Csermely, P, Jorde, D., Lenzen, D. Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future*

of Europe. Brussels: Directorate General for Research, Science, Economy and Society.

- Rollnick, M. (2019). Introduction. En: S. Erduran y E. Kaya (Eds.). *Transforming teacher education through the epistemic core of chemistry* (pp. XIII–XV). Springer. 10.1007/978-3-030-15326-7.
- Romero-Ariza M. (2014). Uniendo investigación, política y práctica educativas: DBR, desafíos y oportunidades. *magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 7(14), 159-176. <https://www.redalyc.org/pdf/2810/281032883012.pdf>
- Romero-Ariza M. (2017). El aprendizaje por indagación, ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299. <http://hdl.handle.net/10498/19218>
- Romero-Ariza, M., Abril, A. M. y Quesada, A. (2018). Empowering teachers to bring authenticity and responsive action into the science classroom. *School Science Review*, 100(371), 40–45. <https://www.ase.org.uk/resources/school-science-review/issue-371/empowering-teachers-bring-authenticity-and-responsive>
- Romero-Ariza, M., Quesada, A., Abril, A.-M. y Cobo, C. (2021): Changing teachers' self-efficacy, beliefs and practices through STEAM teacher professional development. *Journal for the Study of Education and Development*, 44(4), 942-969. 10.1080/02103702.2021.1926164
- Root-Bernstein, R. y Root-Bernstein, M. (2013). The art and craft of home. *Educational Leadership*, 70(5), 16–21. <http://www.ascd.org/publications/educational-leadership/feb13/vol70/num05/The-Art-and-Craft-of-Science.aspx>
- Ross, B. y Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13(1), 11–23. <https://doi.org/10.1080/0950069910130102>
- Ruiz C., López-Banet L. y Ayuso E. (2021) Conocimientos y valoraciones de estudiantes de bachillerato sobre la utilización de aplicaciones biotecnológicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1102. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1102

- Sadler, T. D. y Zeidler, D. L. (2009). Scientific literacy, PISA, and socioscientific discourse: assessment for progressive aims of science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 909–921. <https://doi.org/10.1002/tea.20327>
- Sanchez-Martin, J., Cañada-Cañada, F. y Dávila-Acedo, M. A. (2018). Emotional responses to innovative science teaching methods: acquiring emotional data in a general science teacher education class. *Journal of Technology and Science Education*, 8(4), 346-359. 10.3926/jotse.408
- Sandoval, W.A. y Bell, P. L. (2004). Design-based research methods for studying learning in context: Introduction. *Educational Psychologist*, 39(4), 199-201. 10.1207/s15326985ep3904_1
- Sanmartí i Puig, N. (2001). Enseñar a enseñar Ciencias en Secundaria: un reto muy complicado. *RIFOP: Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 40, 31-48
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis.
- Scerri, E. R. (2019). Five ideas in chemical education that must die. *Foundations of Chemistry*, 21(1), 61–69. 10.1007/s10698-018-09327-y
- Schmidt, H.-J. (1991). A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13(4), 459–471. 10.1080/0950069910130409
- Schneider, R. M. y Plasman, K. (2011). Science teacher learning progressions: a review of science teachers' pedagogical content knowledge development. *Review of Educational Research*, 81(4), 530–565.
- Schwarz (2009). Developing Preservice Elementary Teachers' Knowledge and Practices Through Modeling-Centered Scientific Inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744. 10.1002/sce.20324
- Schwarz, C. V., and Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91, 158–186. 10.1002/sce.20177
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. 10.1002/tea.20311.

- Segura, D. (1991). Una premisa para el cambio conceptual: El cambio metodológico. *Enseñanza de las ciencias*, 9(2), 175-180. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51379>.
- Sevian, H., Dori, Y. J. y Parchmann, I. (2018). How does STEM context-based learning work: What we know and what we still do not know. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1–13. 10.1080/09500693.2018.1470346
- Shanwei, J. L., Lim, K. Y. T., De, Y. M. y Hilmy, A. (2019). Exploring the affordances of open-source sensors in promoting authenticity in mathematics learning. En: Y.-S. Hsu y Y.-F. Yeh (Eds.). *Asia-Pacific STEM Teaching Practices* (pp. 117–137). Singapore: Springer. 10.1007/978-981-15-0768-7_8
- Shavelson, R. y Towne, L. (2002). *Scientific research in education*. Washington DC: National Academic Press (website: <http://books.nap.edu/books>)
- Shen, J. y Confrey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: a case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education*, 91(6), 948–966. 10.1002/sce.20224
- Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 32–45. 10.1039/b5rp90014j.
- Simarro Rodríguez, C. y Couso Lagaron, D. (en prensa). Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de las ciencias*, 1-18. 10.5565/rev/ensciencias.3507
- Simarro, C. y Couso Lagarón, D. (2018). Visiones en educación STEAM: y las mates, ¿qué? *Uno. Revista de Didáctica de La Matemática*, 81, 49–56. <https://www.grao.com/es/producto/visiones-en-educacion-steam-y-las-mates-que-un08193917>
- Sinatra, G. M., Heddy, B. C. y Lombardi, D. (2015). The challenges of defining and measuring student engagement in science. *Educational Psychology*, 50, 1–13. 10.1080/00461520.2014.1002924
- Sosu, E. M. y Gray, D. S. (2012). Investigating change in epistemic beliefs: An evaluation of the impact of student teachers' beliefs on instructional preference and teaching competence. *International Journal of Educational Research*, 53, 80–92. 10.1016/j.ijer.2012.02.002
- Stavridou, H. y Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the

- construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), 205–221. 10.1080/0950069980200206.
- Stavy, R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12(5), 501–512. 10.1080/0950069900120504.
- Stefani, C. y Tsaparlis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: a phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(5), 520–536. 10.1002/tea.20279.
- Stewart, J., Cartier, J.L. y Passmore, C.M. (2005). *Developing understanding through model-based inquiry*. En: M.S. Donovan y J.D. Bransford (eds.). *How students learn* (pp. 515-565). Washington D.C.: National Research Council.
- Strack, F., Pauli, P. y Weyers, P. (2016). Editorial: emotion and behavior. *Frontiers in Psychology*, 7(313), 1-2. 10.3389/fpsyg.2016.00313
- Strippel, C.G. y Sommer, K. (2015). Teaching Nature of Scientific Inquiry in Chemistry: How do German chemistry teachers use labwork to teach NOSI? *International Journal of Science Education*, 37(18), 2965-2986. 10.1080/09500693.2015.1119330
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123. 10.1039/b1rp90014e
- Talanquer, V. (2013). School Chemistry: The Need for Transgression. *Science & Education*, 22, 1757–1773. 10.1007/s11191-011-9392-x
- Talanquer, V. y Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemical Education Research and Practice*, 11, 74–83. 10.1039/C005349J
- Tamir, P. y García Rovira, M.P. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las ciencias*, 10(1), 3-12. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/39881>.
- Tamir, P. y Amir, R. (1981). Retrospective curriculum evaluation: an approach to the evaluation of long-term effects. *Curriculum Inquiry*, 11, 259–278. 10.1080/03626784.1981.11075259
- Tarhan, L. y Acar Sesen, B. (2012). Jigsaw cooperative learning: acid-base theories. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 307–313.

10.1039/c2rp90004a

- Tasquier, G., Levrini, O. y Dillon, J. (2016). Exploring students' epistemological knowledge of models and modelling in science: results from a teaching/learning experience on climate change. *International Journal of Science Education*, 38(4), 539–563. 10.1080/09500693.2016.1148828.
- Taton, R. (1957). *La science antique et médiévale*. Presses Universitaires de France.
- Taton, R. (1959). Histoire générale des sciences, t. II: *La science moderne*. Presses Universitaires de France.
- Taton, R. (1964). *Histoire générale des sciences*. Presses Universitaires de France.
- Taton, R. y Goupil, M. (1961). Histoire des sciences. En: *T. III-La science contemporaine* (Vol. 1).
- Tena, E. y Couso, D. (2022). Construcción de un marco para la evaluación de SEAs desde el paradigma IBD. *30 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. La enseñanza de las ciencias en un entorno intercultural. Universidad de Granada, Servicio de Publicaciones. ISBN: 978-84-338-7039-1 (edición electrónica).
- The Design-Based Research Collective: Baumgartner, E., Bell, P., Brophy S., Hoadley, C., His, S., Joseph, D., Orrill, C., Puntambekar, S., Sandoval, W. y Tabak, I. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8. 10.3102/0013189X03200100
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van De Velde, D., Van Petegem, P. y Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 2. 10.20897/ejsteme/85525
- Tobin, K. y Espinet, M. (1989). Impediments to change: application of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 105–120. 10.1002/tea.3660260203
- Torre de la, M. J. y Casanova, P. F. (2008). Expectativas de eficacia e inquietudes docentes de profesores en ejercicio y aspirantes en formación. *Infancia y Aprendizaje*, 31(2), 179–196. 10.1174/021037008784132932
- UNESCO (2017). *Cracking the Code: Girls' and Women's Education in Science*,

- Technology, Engineering and Mathematics (STEM)*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479>.
- UNESCO (2019). Descifrar el código: la educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649>
- United Nations (2021). *Sustainable Development Goals*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- Usanowitsch, M. (1939). Theory of acids and bases. *J. Allg. Chem. (USSR)*, 9, 182–198.
- Uskola Ibarluzea, A. (2016). ¿Los productos homeopáticos pueden ser considerados medicamentos? Creencias de maestras/os en formación. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 13(3), 574–587. 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i3.05.
- Uum, M. S. J., Verhoeff, R.P. y Peeters, M. (2016). Inquiry-based science education: towards a pedagogical framework for primary school teachers. *International Journal of Science Education*, 38(3), 450-469. 10.1080/09500693.2016.1147660
- Valdesolo, P., Shtulman, A. y Baron, A. S. (2017). Science is awe-some: the emotional antecedents of science learning. *Emotion Review*, 9, 215–221. 10.1177/1754073916673212
- Valente, S. y Lourenço, A. A. (2020). Conflict in the classroom: how teachers' emotional intelligence influences conflict management. *Frontiers in Education*, 5(5), 1-10. 10.3389/feduc.2020.00005
- Van den Akker, J. (1999). Principles and Methods of Development Research. En van den Akker, J., Branch, R.M., Gustafson, K., Nieveen, N., Plomp, T. (eds) *Design Approaches and Tools in Education and Training*. Springer, Dordrecht. 10.1007/978-94-011-4255-7_1
- Van Zee, E. H. (2006). Teaching “science teaching” through inquiry. En: K. Appleton (ed.). *Elementary Science Teacher Education* (pp. 239–257). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Van Zee, E. H. y Roberts, D. (2001). Using pedagogical inquiries as a basis for learning to teach: prospective teachers' reflections upon positive science learning experiences. *Science education*, 85, 733–757. 10.1002/sce.1036

- VanWynsberghe, R. y Khan, S. (2007). Redefining Case Study. *International Journal of Qualitative Methods*, 6(2), 80–94. 10.1177/160940690700600208
- Vázquez Alonso, A. y Manassero Mas, M^a.A. (2007). En defensa de las actitudes y emociones en la educación científica (I): evidencias y argumentos generales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), 247-271. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3803>
- Vázquez, A., Acevedo, J. A. y Manassero, M. A. (2005). Más allá de una enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2). http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART5_Vol4_N2.pdf
- Vázquez-Bernal, B., Mellado, V., Jiménez-Pérez, R. y Taboada, M. C. (2012). The process of change in a science teacher's professional development: A case study based on the types of problems in the classroom. *Science Education*, 96(2), 337–363. 10.1002/sce.20474
- Wake, G. D. y Burkhardt, H. (2013). Understanding the European policy landscape and its impact on change in mathematics and science pedagogies. *ZDM - International Journal on Mathematics Education*, 45(6), 851–861. 10.1007/s11858-013-0513-7
- Wandersee, J. H. (1986). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581–597. 10.1002/tea.3660230703.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. y Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En: D.L. Gabel (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning: A Project of the National Science Teachers Association*. MacMillan, 177- 210.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. y Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En D. L. Gabel (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning. A Project of the National Science Teachers Association* (pp. 177–210). New York, NY: MacMillan.
- Watkins, C. (2003). *Learning: A Sense-Maker's Guide*. London: Association of Teachers and Lecturers.
- Wee, B., Shepardson, D., Fast, J. y Harbor, J. (2007). Teaching and Learning about Inquiry: Insights and Challenges in Professional Development. *Journal of Science Teacher Education*, 18(2), 63-89. 10.1007/s10972-006-9031-6

- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112–143. 10.1002/sce.10044
- Windschitl, M. y Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigations: Can pre-service instruction foster teachers' understandings of model-based inquiry? *American Educational Research Journal*, 43(4), 783-835. 10.3102/00028312043004783
- Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. 10.1002/sce.20259
- Woods-McConney, A., Wosnitza, M. y Sturrock, K.L. (2016). Inquiry and groups: student interactions in cooperative inquiry-based science. *International Journal of Science Education*, 38(5), 842-860. 10.1080/09500693.2016.1169454
- Worth, K., Duque, M. y Saltiel, E. (2009). *Designing and implementing inquiry-based science units for primary education*. Paris: The Pollen FP 6 project.
- Wynne, B. (1989). Sheepfarming after Chernobyl a case study in communicating scientific information. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 31(2), 10–39. 10.1080 /00139157.1989.9928930
- Yalcin, F. (2011). Investigation of the change of science teacher candidates' misconceptions of acids-bases with respect to grade level. *Journal of Turkish Science Education*, 8(3), 161–172 <http://tused.org/index.php/tused/article/view/377>
- Yin, R. K. (2002). *Case Study Research: Design and Methods (Applied Social Research Methods) Third Edition*. Volume 5. Third Edition, SAGE Publications.
- Zembał-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science education*, 93, 687–719. doi: 10.1002/sce.20325
- Zembylas, M. (2016). Making sense of the complex entanglement between emotion and pedagogy: contributions of the affective turn. *Cultural Studies of Science Education*, 11, 539–550. 10.1007/s11422-014-9623-y
- Zhang, D. y Campbell, T. (2012). An Exploration of the Potential Impact of the Integrated Experiential Learning Curriculum in Beijing, China. *International Journal of Science Education*, 34(7), 1093-1123. 10.1080/09500693.2011.625057
- Zoller, U. (1990). Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (general and organic). *Journal of Research in Science*

Teaching, 27(10), 1053–1065. 10.1002 /tea.3660271011.

Zidny, R., Ningtias Laraswati, A y Eilks, I. (2021). A case study on students' application of chemical concepts and use of arguments in teaching on the sustainability-oriented chemistry issue of pesticides use under inclusion of different scientific worldviews. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(7), em1981. 10.29333/ejmste/10979

Zull, J. E. (2004). The Art of Changing the Brain. *Educational Leadership*, 62(1), 68-72.

