

Sobre la innovación educativa en la enseñanza de la química en las universidades españolas

On educational innovation in the teaching of chemistry in Spanish universities

Juan Quílez

GEDH – RSEQ

PALABRAS CLAVE:

Innovación educativa, investigación educativa en ciencias, química universitaria, éxito académico, motivación

RESUMEN:

Se realiza un análisis crítico sobre los supuestos beneficios formativos que serían inherentes al empleo de las nuevas metodologías en la enseñanza de la química universitaria. Se sugiere que estas acciones de innovación educativa deberían estar enmarcadas en el cuerpo de conocimientos provisto por la investigación en didáctica de las ciencias.

KEYWORDS:

Educational innovation, science education research, college chemistry, educational success, motivation

ABSTRACT:

It is carried out a critical analysis on the supposed intrinsic learning benefits that would be assumed to the use of the new methodologies in teaching university chemistry. It is suggested that these educational innovative actions should be framed into the body of the knowledge provided by science education research.

Introducción

Este estudio no trata de realizar una revisión exhaustiva sobre los métodos de enseñanza que están inspirando en la actualidad diferentes acciones de innovación educativa en las facultades de química españolas. Como artículo de opinión, tampoco contiene un examen pormenorizado de la situación real actual (grado de extensión, formas de aplicación, valoración del profesorado y del alumnado, resultados obtenidos, etc.). Estos análisis corresponderían a trabajos más ambiciosos de investigación educativa, lo que excede el ámbito de esta reflexión personal.

Este artículo tiene como propósito principal la realización de una valoración crítica sobre los métodos de innovación educativa que se están desarrollando actualmente en el espacio universitario. Este análisis pretende ayudar a despertar el interés sobre el tema a otros profesores de química, como estímulo inicial que posibilite abrir el debate sobre cómo mejorar de forma efectiva la calidad de la enseñanza de la química en la universidad.

Para iniciar este examen voy a exponer brevemente el marco de referencia general que sustenta el actual movimiento de innovación educativa. Posteriormente, presentaré con más detalle este planteamiento pedagógico.

Muchos de los nuevos métodos de enseñanza se apoyan en visiones del aprendizaje que se centran en facilitar ambientes de trabajo en el aula en los que el alumnado descubra o construya inductivamente su propio conocimiento,^[1] con lo que el profesorado

deja de tener un papel destacado. En consecuencia, este marco de referencia no valora adecuadamente el rol esencial que desempeñan los docentes, ya que su labor se manifiesta como uno de los factores principales que determinan el éxito académico de sus estudiantes.^[2] Este posicionamiento educativo no es estrictamente nuevo, ya que se basa en una amplia tradición histórica, fundamentada básicamente en las ideas de principios del siglo XX de Dewey y Kilpatrick y, posteriormente, de Bruner (inicio de la reforma post-Sputnik), que han resurgido periódicamente con diferentes nombres,^[1,4] como a continuación se indica.

Normalmente, en la justificación del empleo de los nuevos enfoques de innovación educativa, se reduce en exceso el análisis de un problema académico muy complejo, lo que permite a los defensores de las nuevas metodologías exponer su solución seductora. Particularmente, estos métodos alternativos se suelen motivar a partir de un posicionamiento que presenta un perfil general del profesorado limitado al de un mero transmisor de conocimientos ya elaborados. Una vez asumida como indiscutible esta premisa inicial, concluyen que, en ese marco simplificado, el alumnado sólo puede adoptar un papel pasivo de escucha y memorización de contenidos enciclopédicos. Su alternativa didáctica invoca, en consecuencia, invertir este protagonismo poniendo dinámicamente a los estudiantes en el 'centro del aprendizaje' (a hacer), actuando como si fueran científicos auténticos,^[3] mediante métodos pedagógicos que han recibido diferentes nombres a lo

largo del tiempo: aprendizaje por indagación, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje experimental por descubrimiento o inductivo, apoyado en el desarrollo de competencias generales.^[4]

Pero la naturaleza de estos nuevos métodos de enseñanza resulta controvertida. Particularmente, el cuestionamiento de su efectividad, realizado en los primeros años de este siglo,^[4] generó un intenso debate.^[5] Estos pronunciamientos críticos no han impedido que esos nuevos marcos pedagógicos se hayan aceptado de forma amplia en los distintos niveles académicos, como luego detallaremos. Recientemente, se han vuelto a mostrar las limitaciones de estas novedosas perspectivas,^[6] reabiéndose la controversia inicial, aunque en esta ocasión se han formulado propuestas de consenso referidas a las circunstancias específicas en las que estas formas de enseñanza deben estar presentes en el aula.^[7] En este sentido, los profesores no deberían desconsiderar que el aumento de su protagonismo en sus clases produce un aprendizaje de una calidad superior^[8] a la de otros métodos de enseñanza que confían a los estudiantes la construcción de su propio conocimiento,^[9] dejando en este caso al profesorado un papel secundario, restringido al de mero guía o facilitador del aprendizaje de sus estudiantes.^[10] Además, este rol presenta, en la práctica, un amplio margen de posibles actuaciones en función del particular significado otorgado, en paralelo con otros términos relacionados, según se señala en el siguiente apartado.

Las nuevas metodologías activas de enseñanza

Cualquier situación de enseñanza siempre ha estado asociada a algún tipo de método didáctico. Como hemos señalado, desde los primeros años de este siglo, nuevas formas de innovación educativa han surgido. Se trata de metodologías que se presentan como alternativa a métodos clásicos, de modo que su supuesta idoneidad intrínseca justificaría su aplicación universal a cualquier nivel, contexto o situación de aprendizaje. Es decir, se han consolidado como técnicas pedagógicas generales, independientes respecto a los contenidos a enseñar, lo que supone un cambio de concepción respecto a planteamientos didácticos previos en la enseñanza de las ciencias.^[11]

Entre esos nuevos métodos didácticos, se pueden mencionar: la *clase invertida* (*flipped classroom*), la *gamificación*, el *escape room*, el *Aprendizaje Basado en Problemas* (PBL), el empleo de plataformas como *TikTok* o *kahoot*, así como *proyectos integrativos STEAM*.

Muchos de estos procedimientos didácticos comparten en cierta medida una serie de rasgos definitorios:^[12] se trata de enseñanzas *activas*, por *indagación* (*inquiry*), *centradas en el alumno*, en las que prima el enfoque *competencial*, que en muchos casos implica la realización de distintos *proyectos* sobre aspectos o problemas *prácticos* (*hands on*), mediante un aprendizaje *cooperativo*. Pero estos términos tan cautivadores, que *a priori* no habría que cuestionar, poseen en estos contextos innovadores un amplio espectro de significados y de formas de desarrollo en el aula. Esta ambigüedad conceptual y procedimental^[13] genera algunos peligros de interpretación, plantea varios interrogantes y deja sin resolver algunas dudas, por lo que suscita diversas cautelas.

Algunos peligros, interrogantes y cautelas sobre los nuevos métodos de enseñanza

A pesar de la indeterminación señalada, estas 'metodologías activas' han ganado una aceptable reputación como alternativa apropiada a lo que genéricamente se denomina 'clase tradicional'. De este modo, se les presupone una eficacia didáctica inherente, independiente del ámbito, los contenidos, el tipo y el nivel del alumnado o del tiempo de aplicación, quedando todavía

abiertos muchos interrogantes acerca de cómo, cuándo y por qué se deben emplear. Por ello, se pueden considerar como *modas* que se han asumido de forma acrítica por un amplio y creciente sector del profesorado como métodos seguros de mayor eficacia que los modelos de enseñanza convencionales.

En el contexto instruccional de estos nuevos procedimientos, los contenidos disciplinares suelen adquirir un papel secundario, ya que en algunos de estos escenarios innovadores habitualmente quedan difuminados^[14] y desestructurados.^[15] Sus defensores aducen su valor motivacional, dado el componente lúdico que presentan.^[16] Pero, como señala Gregorio Luri,^[17] una sobrevaloración del juego puede desvirtuar el papel de la escuela como generadora de conocimiento poderoso.^[18] Además, revisiones recientes señalan que en algunos de estos ambientes de trabajo los alumnos terminan perdiendo interés hacia el estudio de las materias científicas.^[19]

Sin negar *a priori* el potencial beneficio educativo de estas técnicas o métodos de enseñanza, aunque siempre dentro de su adecuado encaje disciplinar, no sólo habría que demostrar convenientemente su eficacia educativa (más allá de acciones puntuales y limitadas), sino que además habría que acotar sus principios teóricos, así como los modos de llevarlos a la práctica, señalando sus limitaciones, así como los posibles peligros o efectos no deseados que se pueden producir.

Como ya se ha señalado previamente, estas innovaciones docentes (en ocasiones, basadas en cursos breves de formación del profesorado sobre aspectos puramente metodológicos)^[20] tratan de aplicar unos métodos de enseñanza de forma general a cualquier proceso de aprendizaje, lo que produce un escepticismo sobre su capacidad de utilización absoluta. Estas dudas se acrecientan cuando se comprueba que no sólo adolecen de una imprecisa fundamentación teórica sino que además presentan serios interrogantes por resolver relativos a su implementación y a su rendimiento académico.^[1b-d, 9, 21]

A pesar del creciente número de estudios de algunas de estas novedosas metodologías,^[22] convendría mostrar cautela en la valoración de sus eventuales beneficios debido a:^[23]

- i) las debilidades de diseño (fiabilidad, validez, etc.) encontradas en varias de las investigaciones educativas realizadas y los sesgos de publicación a favor;
- ii) la heterogeneidad de las acciones con las que se llevan a la práctica (a veces inconsistentes con sus principios pedagógicos), lo que genera dudas acerca de la generalización y de la transferencia de los resultados obtenidos;
- iii) la ausencia de consenso claro que oriente acerca cómo se deben poner en práctica en contextos específicos;
- iv) la posible promoción de habilidades cognitivas de baja demanda conceptual;
- v) su éxito (o fracaso) está afectado por muchos factores.

Un ejemplo que muestra la multicausalidad asociada a la posible mejora producida es la amplia gama de marcos de referencia correspondientes al profesorado:^[24] 1) cuál debe ser su nuevo papel, 2) sus creencias pedagógicas, 3) su conocimiento en la elaboración de materiales y en la ejecución de las nuevas técnicas, 4) el tiempo que precisa para su diseño concreto y posterior desarrollo, 5) su habilidad y deseo de motivar al alumnado en el nuevo entorno de aprendizaje, 6) su entendimiento del propósito de la innovación y el desafío que supone su puesta práctica de forma efectiva, 7) su formación específica y su experiencia previa, 8) su fidelidad en la ejecución de las tareas con respecto a los presupuestos generales asumidos. A lo que habría que añadir otras barreras y diferentes retos para su adecuado desarrollo, como son la duración apropiada de la innovación, el

tipo de evaluación elegido, el contexto particular de aplicación, el perfil singular del grupo, la oposición de una parte del alumnado al cambio o su incumplimiento de las tareas asignadas, lo que dificulta el avance, así como otros de tipo operativo referidos al material necesario.

Estas formas de trabajo docente, 'centradas en el alumno', están bien asentadas desde hace tiempo en la educación infantil y primaria.^[16] Este hecho es una de las consecuencias de que en las facultades de educación (particularmente en el grado de magisterio) se dedique más tiempo lectivo al tratamiento de estas nuevas metodologías generales que al estudio didáctico de aspectos puramente disciplinares de las ciencias.

Pero, ninguna etapa educativa está actualmente exenta de estos supuestos métodos innovadores de enseñanza. En secundaria se están instalando fácilmente y en la universidad también han empezado a ser una realidad. Me voy a centrar en este último nivel, ya que el análisis de la situación actual en secundaria, con la implantación del enfoque competencial de la LOMLOE (como fin en sí mismo, mediante una minusvaloración de los contenidos), necesita un estudio más detallado, fundamentado y completo^[14, 25] que excede el campo de este estudio.

La innovación educativa en el marco de la investigación educativa

En muchas universidades españolas existen departamentos de innovación educativa que promueven este tipo de acciones docentes entre su profesorado. Como ejemplo de la extensión de estas nuevas metodologías a la educación superior en el contexto español se puede citar la *VIII Reunión de Innovación Docente en Química (INDOQUIM)*, celebrada en Valencia entre los días 21 y 23 del pasado mes de junio de 2023. En este encuentro presentaron comunicaciones grupos de profesores de química de 12 universidades (Barcelona, Granada, Vigo, Cádiz, Burgos, Alicante, Ramón Llull, UPV, Sevilla, Jaén, Córdoba y Rovira i Vigili). En la conferencia inaugural, el ponente informó con detalle del creciente impacto experimentado en su facultad de química de un conjunto de innovaciones educativas, aplicadas tanto en asignaturas de grado como de máster. Uno de los logros que resaltó fue que el profesorado 'innovador' había crecido en los últimos años de forma notable, aunque consideró que existía mucho camino por recorrer, ya que todavía quedaba una parte del cuerpo docente que no estaba predispuesta a realizar este cambio -a su juicio- positivo.

Al finalizar su conferencia, preguntado acerca de si disponía de datos que garantizaran que todo ese esfuerzo colectivo había supuesto una mejora formativa para los futuros químicos de su facultad, señaló que no se había efectuado ningún estudio evaluativo en este sentido. De modo que no disponía de resultados empíricos que avalasen su supuesta eficacia. Pero afirmó que estaba convencido de que con estas innovaciones los alumnos acaban los estudios mejor preparados. Mediante esta respuesta parece inferirse que sólo a partir de meras percepciones personales o de simples conjeturas estaría ya justificado seguir impulsando estas acciones de innovación educativa. No sólo puede sorprender esta postura subjetiva sino que además no se entiende por qué en su facultad el rigor empleado en las investigaciones científicas de las distintas áreas de conocimiento no se aplica también a las innovaciones metodológicas de esta nueva comunidad docente.

En el libro de resúmenes de estas jornadas de innovación en la enseñanza de la química, varias comunicaciones ni siquiera presentaron bibliografía. En otros casos, se hizo únicamente referencia a cursos de formación genérica o a proyectos realizados en la propia universidad, páginas web y publicaciones generales sobre los nuevos recursos (la clase invertida, *PBL*, etc.), con au-

sencia, en muchos casos, de una fundamentación sólida basada en trabajos de revistas de investigación educativa. Además, no se presentaron pruebas concluyentes de mejora del aprendizaje o de la motivación, ni se hizo referencia a que los nuevos métodos deberían conllevar cambios asociados en los sistemas de evaluación. Esta atención casi exclusiva sobre procedimientos educativos de amplio espectro, estaría impidiendo al profesorado de química de universidad contemplar la necesidad que tiene de desarrollar una base sólida del denominado *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*^[26] para la mejora de su labor docente.

Resulta llamativo que en el ámbito universitario parece estar muy extendido que los criterios de perfección y de excelencia para evaluar la calidad de la investigación básica no se apliquen en el marco de la innovación docente. Esta omisión puede ser una consecuencia de que en este nivel se otorgaría un valor ontológico incuestionable de eficacia a estas nuevas metodologías. Por tanto, al parecer, este convencimiento no necesita en este contexto de pruebas que avalen académicamente el éxito asumido que producen.

Innovar no significa implantar la primera ocurrencia o la moda de turno en las aulas.^[27] No puede haber innovación educativa sin investigación.^[28] En este sentido, García-Carmona señala:^[29]

En la implementación de una innovación educativa no será suficiente con verificar si el alumnado mejora en algo, pues, incluso hasta el método, enfoque o recurso más *antipedagógico* puede propiciar algún aprendizaje. La pregunta que realmente habría que hacer, ante cualquier innovación educativa, es *si el alumnado aprendió más y/o mejor* sobre lo pretendido que con respecto al anterior método, enfoque o recurso que se empleaba con ellos para eso mismo. Esto se debe verificar, además, con rigor, es decir, mediante la obtención y análisis de *pruebas fiables*; y no con meras *sensaciones* habitualmente sesgadas por la complacencia personal del supuesto *profesor innovador*.

Existe un cuerpo de conocimientos consolidado en la didáctica de la química,^[30] con muchos investigadores trabajando en esta área científica, que publican sus trabajos en destacadas revistas de investigación educativa en ciencias y en otras áreas relacionadas. En consecuencia, más que intentar aprender unas técnicas de enseñanza, supuestamente innovadoras (como pretendidas creaciones de progreso y mejora), para aplicarlas de forma automática a cualquier caso, convendría primero fundamentarse bien en esta área de conocimiento. Esto ayudaría a formular las hipótesis de trabajo y a establecer los diseños de avance firme, así como a analizar finalmente su presunta eficacia (si supone impacto positivo significativo o no).^[31] Si bien la ilusión, el esfuerzo y el trabajo en equipo son elementos necesarios para el éxito de la labor docente, no parece que sean suficientes para garantizar que el alumnado adquiera una mejor preparación para su futura vida profesional.

Elementos básicos de cualquier innovación educativa

Partiendo del hecho de que la mera aplicación de nuevos métodos de enseñanza no garantiza el éxito educativo,^[24a, 31] se deben remarcar algunos aspectos que el profesorado de ciencias (en este caso, de química) debería tener siempre presentes, independientemente del tipo de innovación en la que participe.

Se han hallado múltiples factores que afectan tanto al interés del alumnado de ciencias^[32] como a su aprendizaje,^[33] lo que hace que su estudio sea de mucha complejidad y determine los múltiples aspectos a tener en cuenta en la formación del profesorado (en nuestro caso, universitario).^[20b, 34] Sin embargo, se puede afirmar que existen unos rasgos esenciales de manejo y dinámica de la clase,^[35] cuya ausencia dificulta al alumnado su

éxito académico, actuando también como obstáculo en el desarrollo de su motivación intrínseca hacia el estudio de las distintas asignaturas. Entre estos parámetros básicos, asociados a un apropiado ambiente instruccional, destacan los siguientes:

- i) talento, seguridad y entusiasmo del profesor percibidos por su alumnado, así como las altas expectativas de éxito depositadas en el grupo en un ambiente de valoración, cordialidad y estima hacia cada uno de sus componentes;
- ii) realización adaptaciones que tengan en cuenta el conocimiento previo de la clase con evaluaciones formativas de progreso y actividades que promuevan la participación;
- iii) favorecimiento de activaciones cognitivas mediante ayudas dialógicas, analogías apropiadas y ejemplos ilustrativos que propicien el metaconocimiento de los estudiantes;
- iv) existencia de un clima de apoyo y una orientación efectiva que destaquen los aspectos relevantes, su jerarquía y sus relaciones, actuando como guías para alcanzar las metas previamente establecidas;
- v) respeto de un hilo conductor claro, así como mantenimiento de la atención y del ambiente de trabajo que posibiliten un aprovechamiento efectivo del tiempo de clase;
- vi) establecimiento de una adecuada organización, una estructura correcta y un ritmo idóneo de avance que faciliten una progresión segura.

El alumnado puede valorar positivamente una clase de química si al acabar la misma tiene conciencia de que ha aprendido algo nuevo. Cognitivamente, esto se traduce en su percepción de que dispone de nuevas herramientas conceptuales y/o procedimentales que le han permitido modificar o ampliar su visión inicial en su comprensión y explicación de una propiedad o de un proceso físico-químico, lo cual le facilita su capacidad de resolución de problemas específicos, así como seguir aprendiendo de forma autónoma. En definitiva, este desarrollo mental (*minds on*)^[36] le posibilita generar nuevas formas de pensamiento para entender mejor, justificar, examinar y predecir las propiedades de la materia, que manifiesta mediante una mejora en las formas de comunicación tanto oral como de lectoescritura.^[37] De esta manera, transcurrido un cierto tiempo, podrá ser consciente de que ha logrado construir un conocimiento disciplinar conceptualmente bien organizado y jerarquizado, que le ayudará a que pueda apreciar su relevancia.^[38] Y ello, en buena medida, gracias a todas las acciones formativas realizadas por sus profesores en cada una de sus horas de clase, como agentes de singular importancia en esta mejora del aprendizaje de su alumnado,^[31, 35c, 36] para lo que precisan una amplia, cimentada y crítica formación docente disciplinar.^[20b, 34]

Como resultado, este conocimiento pedagógico específico^[39] puede ayudar al profesorado de química de universidad a explicar los modelos didácticos en los que basa su trabajo docente, de modo que le permita reflexionar acerca de la mejora en la planificación y el desarrollo en el aula de sus actividades académicas.^[40]

Conclusiones

Muchas de las nuevas metodologías que se están utilizando de forma creciente en la enseñanza de la química en la universidad se estarían asumiendo acríticamente como innovaciones auténticas. Normalmente, se instituyen como métodos universales de enseñanza de pretendida eficacia, aunque estén desligados de los contenidos específicos disciplinares. De esta forma, no suelen fundamentarse sobre una base científica sustentada en el cuerpo de conocimientos de la investigación educativa de esta materia. Además, en la práctica, normalmente no se realizan evaluaciones precisas sobre su supuesta efectividad.

Por todo ello, convendría que los criterios de rigurosidad y de calidad científica, asumidos por el profesorado universitario a la hora de realizar investigación básica, se extiendan al conocimiento y a las prácticas de sus tareas docentes. Estas actuaciones didácticas superarían las insuficiencias derivadas del simple empleo de métodos pedagógicos generales,^[41] al efectuarse sobre contenidos específicos de la química y, por tanto, estar enmarcadas en el desarrollo profesional de su PCK.^[26]

Esta evolución metacognitiva del PCK de cada docente posibilita la transformación progresiva de su necesario profundo saber epistemológico de esta disciplina en conocimiento didáctico específico para enseñar de forma idónea a sus estudiantes los conceptos, los procedimientos y los aspectos socio científicos del currículum de química que corresponda. El perfeccionamiento instruccional asociado a esta conversión de saberes precisa una sólida fundamentación teórica de los componentes que configuran el PCK,^[42] en conjunción con la reflexión compartida sobre la propia práctica.^[43]

Agradecimientos

El autor de este trabajo quiere manifestar su agradecimiento al profesor Antonio García-Carmona por las sugerencias y los comentarios realizados tras la lectura de los dos primeros borradores.

Bibliografía

- [1] a) S. Papert, *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*, Basic Books, **1980**; b) C. Haeck, P. Lefebvre, P. Merrigan, *Econ. Educ. Rev.* **2014**, 1, 137-160, <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2014.03.004>; c) M. Henrekson, J. Wennström, *J. Inst. Econ.* **2019**, 15(5), 897-914, <https://doi.org/10.1017/S174413741900016X>; d) J. Quílez, *An. Quím. RSEQ* **2022**, 118(3), 199-205.
- [2] a) L. Darling-Hammond, *Educ. Policy Anal. Arch.* **2000**, 8(1), <https://doi.org/10.14507/epaa.v8n1.2000>; b) J. A. C. Hattie, *Visible learning: A synthesis of 800+ meta-analyses on achievement*, Routledge, **2009**.
- [3] a) W. R. Van Joolingen, T. De Jong, A. W. Lazonder, E. Savelsbergh, S. Manlove, *Computers in Human Behavior*, **2005**, 21(4), 671-688, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2004.10.039>; b) T. Bell, D. Urhahne, S. Schanze, R. Ploetzner, *Int. J. Sci. Educ.* **2010**, 32(3), 349-377, <https://doi.org/10.1080/09500690802582241>; c) E.M. Furtak, W.R. Penuel, *Sci. Ed.* **2019**, 103 (1), 167-186, <https://doi.org/10.1002/sce.21488>.
- [4] a) D. Hodson, *J. Curr. Stud.* **1996**, 28 (2), 115-135, <https://doi.org/10.1080/0022027980280201>; b) P. A. Kirschner, J. Sweller, R. E. Clark, *Educ. Psychol.* **2006**, 41(2), 75-86, https://doi.org/10.1207/s15326985sep4102_1; c) A. Tricot, J. Sweller, *Educ. Psychol. Rev.* **2014**, 26, 265-283, <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1>.
- [5] a) H.G. Schmidt, S.M.M. Loyens, T. van Gog, F. Paas, *Educ. Psychol.* **2007**, 42(2), 91-97, <https://doi.org/10.1080/00461520701263350>; b) C.E. Hmelo-Silver, R.G. Duncan, C.A. Chinn, *Educ. Psychol.* **2007**, 42(2), 99-107, <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>; c) D. Kuhn, *Educ. Psychol.* **2007**, 42(2), 109-113, <https://doi.org/10.1080/00461520701263376>; d) J. Sweller, P. A. Kirschner, R. E. Clark, *Educ. Psychol.* **2007**, 42(2), 115-121, <https://doi.org/10.1080/00461520701263426>.
- [6] a) L. Zhang, *Sci. & Educ.* **2016**, 25, 897-915, <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9856-0>; b) G. Ashman, S. Kalyuga, J. Sweller, *Educ. Psych. Rev.* **2020**, 32, 229-247, <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09500-5>; c) L. Zhang, P. A.

- Kirschner, W. W. Cobern, J. Sweller, *Educ. Psych. Rev.* **2022**, 34, 1157-1176, <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09646-1>.
- d) L. Zhang, J. Sweller, *Eur. J. Psych. Educ.* **2024**.
- [7] a) T. de Jong, A. Lazonder, C. Chinn, F. Fischer, J. Gobert, C. Hmelo-Silver, et al., *Educ. Res. Rev.* **2023**; b) J. Sweller, L. Zhang, G. Ashman, W. Cobern, P. A. Kirshner, *Educ. Psych. Rev.* **2024**.
- [8] a) J. Stockard, T. W. Wood, C. Coughin, C. R. Khoury, *Rev. Educ. Res.* **2018**, 88(4), 479-507, <https://doi.org/10.3102/0034654317751919>; b) C. Dugnath, M.V.J. Veeman, *Educ. Psychol. Rev.* **2021**, 33, 489-533, <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09534-0>.
- [9] a) J. Wennström, *J. Educ. Pol.* **2019**, 35(5), 665-691, <https://doi.org/10.1080/02680939.2019.1608472>; b) M. Oliver, A. McConney, A. Woods-McConney, *Res. Sci. Educ.* **2021**, 51, 595-616, <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09901-0>; c) L. Zhang, J. Van Reet, *Res. Sci. Educ.* **2022**, 52, 1435-1449, <https://doi.org/10.1007/s11165-021-09990-w>.
- [10] a) S. Pedersen, M. Liu, *ETR&D* **2003**, 51(2) 57-76, <https://doi.org/10.1007/BF02504526>; b) C. Maya, J. Iglesias, X. Giménez, *Revista de Educación* **2021**, 391, 15-39.
- [11] a) J. Pozo, M. A. Gómez-Crespo, M. Limón, A. Sanz-Serrano, *Procesos Cognitivos en la Comprensión de la Ciencia: Las Ideas de los Adolescentes sobre Química*, MEC, **1991**; b) D. Gil, J. Carrascosa, C. Furió, J. Martínez-Torregrosa, *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, Horsori, **1991**; c) D. Gil, *Ens. Cien.* **1994**, 12(2), 154-164, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4438>; d) I. Pozo, M. A. Gómez-Crespo, *Aprender y Enseñar Ciencia*, Morata, **1998**.
- [12] a) G. L. Huber, *Revista de Educación* **2008**, N.E., 59-81; b) J.M. Breiner, S.S. Harkness, C.C. Johnson, C.M. Koehler, *Sch. Sci. Math.* **2012**, 112(1), 3-11, <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>; c) E.A. Dare, E.A. Ring, G.H. Roehrig, *Int. J. Sci. Educ.* **2019**, 41(12), 1701-1720, <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1638531>; d) K. Wilson, *Int. J. Sci. Math. Educ.* **2021**, 19, 881-897, <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10103-8>.
- [13] a) M. R. Blanchard, S. A. Southerland, E. Granger, *Sci. Ed.* **2009**, 93, 322-360, <https://doi.org/10.1002/sce.20298>; b) E.M. Furtak, T. Seidel, H. Iverson, D.C. Briggs, *Rev. Educ. Res.* **2012**, 82, 300-329, <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>; c) I. Willbergh, *J. Curr. Stud.* **2015**, 47(3), 334-354, <https://doi.org/10.1080/00220272.2014.1002112>; d) A. Tahirsylaj, D. Sundberg, *Curr. Persp.* **2020**, 40, 131-145, <https://doi.org/10.1007/s41297-020-00112-6>; e) M. A. Takeuchi, P. Sengupta, M.C. Shanahan, J. D. Adams, M. Hachem, *Stud. Sci. Educ.* **2020**, 56(2), 213-253, <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1755802>; f) D. Lombardi, T. F. Shiple et al., *PSPI*, **2021**, 22(1), 8-43; g) P. Doolittle, K. Wojdak, A. Walters, *Teaching & Learning Inquiry*, **2023**, 11, 1-23, <https://doi.org/10.20343/teachlearninqu.11.25>.
- [14] H. Sevian, V. Talanquer, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2014**, 15, 10-23, <https://doi.org/10.1039/C3RP00111C>.
- [15] B. M. Reynante, M. E. Selbach-Allen, D. R. Pimentel, *Sci. & Educ.* **2020**, 29(4), 785-803, <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00121-x>.
- [16] a) K. Kapp, *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*, Pfeiffer, **2012**; b) J. Rodrigues-Silva, A. Alsina, *Revista Práxis* **2023**, 20(1), 188-212, <https://doi.org/10.25112/rpr.v1.3170>.
- [17] G. Luri, *La escuela no es un parque de atracciones. Una defensa del conocimiento poderoso*, Ariel, **2019**.
- [18] a) M. Young, *J. Educ. Work* **2009**, 22, 193-204, <https://doi.org/10.1080/13639080902957848>; b) M. Young, *J. Curric. Stud.* **2013**, 45(2), 101-118, <https://doi.org/10.1080/00220272.2013.764505>; c) M. Young, J. Muller, *Rev. Educ.* **2013**, 1(3), 229-250, <https://doi.org/10.1002/rev3.3017>.
- [19] P. Shekhar, M. Borrego, M. DeMonbrun, C. Finelli, C. Crockett, K. Nguyen, *J. Coll. Sci. Teach.* **2020**, 49(6), 45-54, <https://doi.org/10.1080/0047231X.2020.12290664>.
- [20] a) J. L. González-Geraldo, F. Monroy, B. del Rincón Igea, *Educación XX1*, **2021**, 24(1), 213-232, <https://doi.org/10.5944/educxx1.26725>; b) R. Porlán, A. Pérez-Robles, G. Delord, *Ens. Cien.* **2024**, 42(1), 5-22, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5998>.
- [21] C. C. Johnson, C. M. Czerniak, en *Handbook of Research on Science Education*, vol. III, (Eds.: D. L. Zeidler, N. G. Lederman, J. S. Lederman), Routledge, **2023**, pp. 559-585.
- [22] a) M. K. Seery, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2015**, 16, 758, <https://doi.org/10.1039/C5RP00136F>; b) M. I. Zakaria, S. M. Maat, F. Khalid, *Creative Education* **2019**, 10, 2671-2688, <https://doi.org/10.4236/ce.2019.1012194>; c) A. Manzano-León, P. Camacho-Lazarraga, M. Guerrero, L. Guerrero-Puerta, J. Aguilar-Parra, R. Trigueros, A. Alias, *Sustainability* **2021**, 13, 2247, <https://doi.org/10.3390/su13042247>; d) A. Veldkamp, L. van de Grint, M.C.P. Knippels, W.R. van Joolingen, *Educ. Res. Rev.* **2020**, 31, 100364, <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>; e) C. Bosch-Farré; J. Cicres; J. Patiño-Masó, P. Morera-Basulto, P. Toran-Monserrat, A. Lladó-Martínez; M. C. Malagón-Aguilera, *Educación XX1* **2024**, 27(1), 19-56, <https://doi.org/10.5944/educxx1.35773>.
- [23] a) T. Lag, R.G. Saele, *AERA Open* **2019**, 5(3), 1-17; b) C. L. Harvis, *C & EN* **2020**, 98(3); c) G. Zhu, *Education Tech. Research Dev.* **2021**, 69, 733-761, <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09983-6>; d) M. Kapur, J. Hattie, I. Grossman, T. Sinha, *Front. Educ.* **2022**, 7, 956416, <https://doi.org/10.3389/feeduc.2022.956416>; e) F. I. McLure, K. S. Tang, P. J. Williams, *Int. J. STEM Educ.* **2022**, 9(1), <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00390-8>.
- [24] a) T. M. Andrews, M. J. Leonard, C. A. Colgrove, S. T. Kalinowski, *CBE Life Sci. Educ.* **2011**, 10, 394-405, <https://doi.org/10.1187/cbe.11-07-0061>; b) M. Stains, T. Vickrey, *CBE Life Sci. Educ.* **2017**, 16(1), 1-11, <https://doi.org/10.1187/cbe.16-03-0113>; c) C. K. Lo, K.F. Hew, *Res. Pract. Tech.* **2017**, 12(4); d) S. F. Bancroft, M. Jalaeian, S. R. John, *J. Chem. Educ.* **2021**, 98, 2143-2155, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01327>.
- [25] a) I. Willbergh, *Nordic Journal of Pedagogy & Critique* **2016**, 2, 111-124; b) M. Young, J. Muller, *Eur. J. Educ.* **2010**, 45(1), 11-27, <https://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2009.01413.x>; c) J. Muller, M. Young, *Curric.* **2019**, 30(2), 196-214, <https://doi.org/10.1080/09585176.2019.1570292>; d) J. Quílez, *Anales de Química RSEQ* **2021**, 117(1), 7-8; e) J. A. De Azcárraga, *Rev. Esp. Pedagog.* **2022**, 80(281), 111-129, <https://doi.org/10.22550/REP80-1-2022-08>; f) F. López-Rupérez, *Rev. Esp. Pedagog.* **2022**, 80(281), 55-68, <https://doi.org/10.22550/REP80-1-2022-05>.
- [26] a) L. S. Shulman, *Educ. Res.* **1986**, 15(2), 4-14, <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>; b) L. S. Shulman, *Harv. Educ. Rev.* **1987**, 57(1), 1-22, <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>; c) V. Kind, K. K. H. Chan, *Int. J. Sci. Educ.* **2019**, 41(7), 964-978, <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1584931>; d) J. H. van Driel, A. Hume, A. Berry, en *Handbook of Research on Science Education*, vol. III, (Eds.: D. L. Zeidler, N. G. Lederman, J. S. Lederman), Routledge, **2023**, pp. 1123-1161.
- [27] A. Galán, *Educación XX1* **2022**, 25(2), 9-11.
- [28] E. Liesa, P. Mayoral, *Ámbitos de Psicopedagogía* **2019**, 50, 63-77; b) J. L. del Río, *Márgenes. Revista de Educación de la Universidad de Málaga* **2023**, 4(1), 7-19, <https://doi.org/10.24310/mgnmar.v4i1.15923>.

- [29] A. García-Carmona, *Cuestiones Pedagógicas. Revista de Ciencias de la Educación* **2023**, 2(32), 43-64.
- [30] a) J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust, J. van Driel, *Chemistry Education: towards Research-based Practice*, Kluwer, **2003**, <https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X>; b) K. S. Taber, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2015**, 16, 6-8, <https://doi.org/10.1039/C4RP90014F>; c) M. M. Cooper, R. L. Stowe, *Chem. Rev.* **2018**, 118, 6053-6087, <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020>; d) K. S. Taber, *DISER* **2019**, 1(1), 5.
- [31] J. Hattie, *Scholarsh. Teach. Learn. Psychol.* **2015**, 1(1), 79-91.
- [32] a) J. Osborne, S. Simon, S. Collins, *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, 25(9), 1049-1079, <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>; b) A. Krapp, M. Prenzel, *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, 33(1), 27-50, <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518645>; c) P. Potvin, A. Hasni, *Stud. Sci. Educ.* **2014**, 50(1), 85-129, <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>.
- [33] a) G. Sirham, *J. Tur. Sci. Educ.* **2007**, 4(2), 2-20; b) B. L. L. Ng, W. C. Liu, C. K. Wang, *Int. J. Sci. Math. Educ.* **2016**, 14, 1359-1376, <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9654-1>; c) C.-L. Wang, P.-Y. Liou, *Int. J. Sci. Educ.* **2017**, 39(7), 898-917, <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1310410>.
- [34] J. Quílez, C. Segura, M. Cardenosa, E. Thibaut, J. Olmo, R. Crespo, J. M. Azkarraga, *MSEL* **2017**, 10(1), 113-133, <https://doi.org/10.4995/msel.2017.6545>.
- [35] a) M. C. Wang, G. D. Haertel, H. J. Walberg, *Rev. Educ. Res.* **1993**, 63(3), 249-294, <https://doi.org/10.3102/00346543063003249>; b) M. Kunter, J. Baumert, O. Köller, *Learning and Instruction* **2007**, 17, 494-509, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.002>; c) J. Hattie, *Visible learning for teachers*, Routledge, **2012**, <https://doi.org/10.4324/9780203181522>.
- [36] J. Osborne, *Sci. Ed.* **2019**, 103(5), 1280-1283, <https://doi.org/10.1002/sce.21543>.
- [37] a) J. Quílez, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **2016**, 16(2), 449-476; b) J. Quílez, *Educación Química* **2016**, 27(2), 105-114, <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.10.002>; c) J. Quílez, *Stud. Sci. Educ.*, **2019**, 55(2), 121-167, <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1694792>; d) J. Quílez, *Int. J. Sc. Educ.* **2021**, 43(9), 1459-1482, <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1918794>; e) K. S. Tang, *Discourse strategies for science teaching & learning: Research and practice*, Routledge, **2020**, <https://doi.org/10.4324/9780429352171>; f) A. Ramos, *Educación Química* **2022**, 33(3), 1-8, <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.3.83073>.
- [38] I. Eilks, A. Hofstein. *Relevant Chemistry Education. From Theory to Practice*, Sense, **2015**, <https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5>
- [39] a) C. Winch, A. Oancea, J. Orchard, *Oxf. Rev. Educ.* **2015**, 41(2), 202-216, <https://doi.org/10.1080/03054985.2015.1017406>; b) J. Hordern, M. T. Totto, *Oxf. Rev. Educ.* **2018**, 44(6), 686-701, <https://doi.org/10.1080/03054985.2018.1438254>.
- [40] J. Sjöström; I. Eilks; V. Talanquer, *J. Chem. Educ.* **2020**, 97(4), 910-915, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034>.
- [41] P. Hanley, R. Thompson, *Teach. Teach. Educ.* **2021**, 98, 103233, <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103233>.
- [42] J.-M. G. Rodríguez, M. H. Towns, *J. Chem. Educ.* **2019**, 96, 1797-1803, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00415>.
- [43] J. Bond-Robinson, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2005**, 6(2), 83-103, <https://doi.org/10.1039/B5RP90003D>.



Juan Quílez

GEDH – RSEQ

C-e: jquilez@uji.es

ORCID: 0000-0001-5428-4617

Juan Quílez es doctor en Ciencias Químicas. Ha sido catedrático de Física y Química, director de instituto, asesor en centros de formación permanente y profesor de formación inicial del profesorado en las universidades de Valencia y Jaume I. Sus principales líneas de investigación educativa son el lenguaje de la química, la historia de la química, el estudio didáctico del equilibrio químico y el análisis crítico del currículum de química de secundaria, así como del enfoque STEM integrado. También ha publicado libros de texto de Física y Química de bachillerato.