

Retos en el currículum español de química de la enseñanza secundaria obligatoria y del bachillerato

Challenges in the Spanish chemistry curriculum for compulsory secondary education and baccalaureate

Juan Quílez

Grupo Especializado de Didáctica e Historia – RSEF – RSEQ. Valencia. España.

PALABRAS CLAVE:

Currículum
Enseñanza secundaria
Estructura
Sobrecarga de conceptos
Investigación educativa

RESUMEN:

Se realiza un análisis crítico del actual currículum español de química de la educación secundaria, referido en la normativa del Ministerio de Educación (ME) y de la Comunidad Valenciana (CV). En la ESO, el del ME está poco acotado y se encuentra escasamente organizado, con notables ausencias, a diferencia del de la CV, que encuentra fundamentación en la investigación en la enseñanza de la química. En el bachillerato, un número excesivo de especificaciones sobrecargan el del ME, siguiendo una tradición de rigidez curricular, que dificulta atender propuestas fundamentadas de hacerlo menos extenso y más comprensible y asequible para el alumnado.

KEYWORDS:

Currículum
Secondary education
Structure
Concept overload
Chemistry education re-
search

ABSTRACT:

A critical analysis is made of the current Spanish chemistry curriculum for secondary education, referring to the regulations of the Ministry of Education (ME) and of the Valencian Community (CV). In ESO, that of the ME is poorly defined and is presented with minor organization, with notable absences, unlike that of the CV, which is based on chemical education research. In the baccalaureate, an excessive number of specifications overload the ME curriculum, following a tradition of curricular rigidity, which makes it difficult to address well-founded proposals to make it less extensive and more understandable and attainable to students.

Introducción

En los veinticinco años de este siglo se han producido varios debates y se han ido elaborando distintos marcos teóricos y enfoques metodológicos para el currículum de las ciencias.^[1,2] En el caso español, la nueva ley de educación ha supuesto un nuevo ámbito normativo, que ha determinado el currículum de química mediante la publicación de los decretos del Ministerio de Educación (ME),^[3,4] así como los de la Comunidad Valenciana (CV),^[5,6] entre otros autonómicos.

El objetivo de este trabajo es el análisis del actual currículum de química de la enseñanza secundaria, referido básicamente a sus contenidos y a su organización a través de los distintos cursos de cada nivel. Este estudio se inspira en lo que emana de la investigación educativa sobre cómo mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la química. En consecuencia, a lo largo de la discusión se aportan referencias específicas a trabajos de enseñanza de la química que han generado conocimiento fundamentado sobre aspectos esenciales del currículum de esta materia.

Análisis del currículum

Según se ha indicado anteriormente, a lo largo de los últimos veinticinco años, diferentes trabajos han realizado un examen

crítico del currículum tradicional de las ciencias.^[7-11] Estos estudios confluyen en remarcar la existencia de una histórica rigidez disciplinar, referida tanto al contenido de estos marcos curriculares como a su desarrollo en las aulas.

Dentro del objetivo propuesto en este estudio, en el análisis de esta escasa flexibilidad curricular (como obstáculo de avance y progreso), conviene tener presente los cinco niveles interdependientes desde los que se puede realizar una revisión curricular dentro del marco de la investigación educativa:^[2,7] *normativo* (prescrito); *interpretado* (libros de texto); *enseñado* (profesorado); *aprendido* (alumnado) y *evaluado*. A estas cinco categorías del currículum explícito se deben añadir dos más: el *currículum oculto* (tácito) y el *nulo* (desatendido).

Si bien el cumplimiento del objetivo propuesto se centra en el análisis de la componente normativa del currículum, en la discusión se aportan también referencias correspondientes al resto de niveles. Este examen se puede facilitar mediante una categorización de las visiones restringidas y sólidamente ancladas del currículum de química.^[7,8] Cada uno de los apartados resultantes de esta clasificación está asociado a importantes carencias y enfoques educativos ampliamente cuestionados por la investigación en la enseñanza de la química, según se detalla a continuación.

1) Sobrecarga de contenidos

En el currículum de química tradicionalmente prima la extensión sobre la profundidad,^[8,12-14] con una carga conceptual excesiva,^[11] que limita lo que el alumnado puede realmente aprender.^[15,16]

2) Conocimiento previo del alumnado y construcción del pensamiento científico.

a) Normalmente, se desconsideran los conocimientos previos del alumnado como punto de partida de un aprendizaje significativo,^[17] sus formas de pensamiento,^[18] así como las ideas alternativas asociadas.^[19-21]

b) Habitualmente, no se valora la importancia que tienen los problemas de comprensión y de utilización del lenguaje académico de la química: i) referido a los términos tanto técnicos como los no técnicos;^[22-24] ii) correspondiente a sus códigos de representación: símbolos empleados, ecuaciones matemáticas y químicas, gráficas, tablas y diagramas.^[25-30]

c) Se debe destacar la enseñanza y la evaluación de ideas y de reglas fuera de su campo de acción,^[31] sin mostrar sus limitaciones,^[32-35] propiciando incluso la generación de errores conceptuales.^[36,37]

d) Con cierta frecuencia, los libros de texto de química: i) están redactados de forma poco comprensible para el alumnado,^[38] o simplemente proporcionan explicaciones demasiado sucintas o inadecuadas, lo que le dificulta la comprensión de los temas tratados;^[39] ii) introducen con escasa argumentación los distintos conceptos mediante su presentación en su forma final y acabada (retórica de las conclusiones),^[40] a veces de forma superficial e incluso errónea;^[41] iii) favorecen la memorización sin entendimiento;^[37] iv) contienen errores conceptuales,^[42-46] o son potenciales generadores de ideas alternativas.^[47,48]

e) Los tres niveles de representación química (macroscópico, submicroscópico y simbólico),^[49] que el alumnado debe comprender y emplear para entender, explicar y predecir las propiedades de las sustancias, así como los procesos en los que participan, precisan una gran demanda conceptual por su alto nivel de abstracción.^[14] En este sentido, existen dos problemas de enseñanza: i) si bien el profesorado está acostumbrado en sus explicaciones a cambiar inconscientemente de forma continua entre los tres niveles, los alumnos encuentran muy complicado seguir esos saltos mentales entre cada uno de esos modos de conceptualización;^[50-52] ii) en los libros de texto existe un número muy reducido de actividades para que el alumnado desarrolle su conocimiento entre las relaciones que debe establecer entre estos tres niveles de pensamiento químico.^[53]

3) Ausencia de relevancia

La conexión de las ideas científicas con asuntos sociales relevantes y de la vida diaria es un aspecto que precisa mejora.^[54,55] Esta falta de tratamiento adecuado de aspectos sociocientíficos se enmarca en un enfoque puramente disciplinar, con vocación propedéutica.^[7,56,57] Estos planteamientos dificultan que los estudiantes entiendan por qué es importante estudiar los contenidos de cada uno de los cursos de química.^[58] Esta ausencia de relevancia proporciona una visión de la química como una ciencia muy difícil de comprender por su alto grado de abstracción y el empleo asociado de un lenguaje científico y simbólico complicado. Como resultado, este enfoque limita el interés por el estudio de la química a una buena parte del alumnado y dificulta su adecuada formación como futuro ciudadano crítico y responsable.^[59]

4) Naturaleza de la ciencia.

Esa dimensión implica prestar una adecuada atención a la valoración de aspectos históricos y filosóficos de la química.^[40,60] Ello requiere tomar en consideración: a) el planteamiento de cuestiones epistemológicas como la siguiente: ¿cómo hemos llegado a saber lo que sabemos de química?^[61] con el análisis de su carácter tentativo,^[62] mediante las controversias y los debates producidos,^[40,63] así como de las dificultades de cambio por las resistencias manifestadas por la comunidad científica;^[63,64] b) qué ideas centrales o cuestiones epistémicas determinan su estructura (jerarquía y relaciones),^[8,13,58,65-69] que posibilitan marcos de razonamiento, comprensión y toma de decisiones;^[70] c) el papel desempeñado por científicos relevantes, sus aportaciones más significativas y su contexto social, como elementos clave de nuestra cultura.^[63]

A esta perspectiva educativa se le presta normalmente una reducida consideración,^[62,71,72] con el agravante de que ha tenido tradicionalmente una inspiración positivista,^[7,40,73] favoreciendo con ello una visión distorsionada de la naturaleza del conocimiento científico.^[74-77]

A pesar del alto valor que poseen los modelos para el aprendizaje de la química,^[40,47,78] su significación no se suele ver reflejada de forma suficiente y adecuada en los distintos niveles del currículum.^[79-81]

Curriculum de química de la ESO

Al comparar el nuevo currículum de la ESO del ME con el de la CV, se obtienen los siguientes resultados:^[82]

1) Acotación

a) Existe un notable contraste entre la normativa curricular del ME (genérico, de poco detalle y escasa organización) y la de la CV. En este currículum los contenidos se hallan singularmente distribuidos por cursos (lo que no siempre se ha realizado en otros currículos autonómicos), resolviendo la agrupación curricular de 2º y 3º de ESO establecida en el del ME; además, se especifica con detalle el nivel que corresponde a cada uno de los contenidos tratados. Tanto su estructura como las delimitaciones que realiza referidas a su progresión, facilitan su interpretación y lo hacen más factible.

b) La acotación y la especificación realizadas en el currículum de la CV suponen una ventaja para el profesorado, ya que le ayuda a precisar la evaluación y le permite que su actividad se centre en la difícil y trabajosa tarea que supone su desarrollo en el aula mediante el diseño previo de las correspondientes secuencias de aprendizaje.

2) Conocimiento previo.

Los contenidos que se recogen en la CV tienen en cuenta el conocimiento previo del alumnado. Esta consideración tiene particular relevancia en el currículum de 2º de ESO. En concreto, según se detalla en los siguientes apartados, a partir de sus ideas iniciales sobre conceptos básicos, en el de la CV se establece una construcción cíclica de conceptos clave, lo que implica aumentar progresivamente su grado de demanda conceptual, que se manifiesta con la incorporación paulatina de distintos modelos, así como con la consideración de cuestiones epistémicas.

3) Ideas centrales y evolución curricular.

A diferencia de lo establecido por el ME, en la CV a lo largo de los tres cursos se trabajan de forma expresa dos ideas centrales de la química:^[83,84] sustancia y reacción química (desde los tres niveles de conceptualización: macroscópico, submicroscópico y simbólico).

Dado que se trata de conceptos difíciles por su grado de abstracción y complejidad, se precisan largos periodos de tiempo para su adecuada asimilación.^[85] Por ello, el currículum de la CV se desarrolla en espiral, de forma que estas dos ideas fundamentales se vuelven a tratar una vez introducidas para darles una dimensión cognitiva más amplia. En cada curso se proponen revisiones y ampliaciones de estos dos conceptos mediante trabajos prácticos y modos de representación que pretenden ayudar a su comprensión. Este desarrollo cíclico prosigue en primero de bachillerato.

El orden con el que se presentan estos dos conceptos y su demarcación curricular (CV) pueden facilitar su progresiva construcción conceptual: el estudio del concepto de sustancia precede en cada nivel al de reacción química. Además, inicialmente, el enfoque es exclusivamente macroscópico,^[86] incorporándose paulatinamente la conceptualización submicro y la representación simbólica.^[87]

En este sentido, se debe mencionar que en la CV se introduce explícitamente el concepto de elemento químico, realizando también una progresiva evolución curricular;^[88] a pesar de su papel central en el estudio de las reacciones químicas y de la tabla periódica, en el currículum del ME ni siquiera se menciona.

4) Lenguaje de la química.

Otro aspecto claramente diferenciado entre ambas normativas es la importancia que se otorga al lenguaje de la química en la CV. Las formas de razonar que el alumnado debe ir desarrollando gradualmente están estrechamente asociadas a un vocabulario académico específico (técnico y no técnico),^[22-24] así como a distintas formas de comunicación multimodal,^[29,89] que el currículum establece como elemento competencial fundamental, a partir de las que va a poder comprender y expresar ideas científicas, como componente básico de su educación científica.

5) Historia de la química, aspectos epistemológicos y el uso de modelos

El currículum de la CV incluye expresamente diferentes momentos clave para la construcción del pensamiento químico (por ejemplo, el congreso de Karlsruhe, la primera ordenación de elementos químicos de Mendeleiev –criterio, predicciones y limitaciones– o el descubrimiento múltiple del oxígeno y la síntesis conceptual de Lavoisier)^[63], lo que permite analizar la confrontación de ideas, como la diferente explicación de las reacciones de combustión (flogisto $\leftrightarrow$ oxígeno). El modelo cinético corpuscular se introduce en 2º de ESO. Posteriormente, progresa en la evolución de los distintos modelos atómicos: en 3º de ESO se realiza la transición del modelo corpuscular al de Dalton y en 4º de ESO se presentan los de Thomson y Rutherford, sin llegar al de Bohr. Como contraste, el currículum del ME introduce los modelos atómicos ya en 2º de ESO (lo que se respeta por varios autores de libros de texto), llegando al cuántico en 4º de ESO, pero sin una perspectiva epistémica definida.^[40] En este sentido, en consonancia con el punto anterior, se debe destacar la continua referencia que hace el currículum de la CV al significado de modelo cuando corresponde realizar la explicación o predicción de alguna propiedad de la materia.

6) Aspectos sociocientíficos

La construcción del pensamiento químico se complementa en el currículum de la CV con el conocimiento de aspectos sociocientíficos concretos, sobre lo que el del ME sólo realiza apreciaciones genéricas. En su conjunto, los elementos tratados (CV) se muestran adecuados por contemplar problemas

actuales relacionados con la obtención y el empleo de materiales esenciales, la salud, el uso de medicamentos, de fertilizantes o de explosivos, ayudando a generar pensamiento crítico sobre cuestiones candentes referidas a fuentes alternativas de energía o relacionadas con la contaminación ambiental.

Curriculum de química del bachillerato

A diferencia del estudio previo del currículum de química de la ESO,^[82] para el análisis de la química del bachillerato no se dispone de una referencia que haya realizado un estudio tan pormenorizado. A esta carencia se añade la limitación de espacio que imposibilita el examen de los aspectos curriculares más relevantes de una forma amplia y detallada. Esta restricción ha permitido únicamente la discusión de sólo dos puntos: a) la consideración del conocimiento previo del alumnado para el currículum de química de primero del bachillerato; b) la extensión curricular en el de segundo.

Organización y acotación

La primera característica del currículum de química de bachillerato del ME es su contraste en cuanto a su organización y extensión con respecto al de la enseñanza secundaria obligatoria. A su evidente mayor estructuración de contenidos (2º de bachillerato), se une que no se trata de un currículum tan inespecífico y abierto, existiendo ahora más detalle en cuanto al número de puntos que se incorporan a cada tema principal, aunque en varias ocasiones sigue adoleciendo de una formulación vaga e imprecisa. Por su parte, el de la CV limita puntualmente los temas a tratar y simplifica su contenido en diferentes casos, de forma que en cada uno de los apartados que lo componen se presenta acotado de una forma más clara que el del ME. Estas características se ejemplifican y se discuten en los siguientes puntos.

Transición de la ESO al bachillerato

El primer tema que incluye el currículum de química de primero de bachillerato del ME se titula *Enlace químico y estructura de la materia*, en el que, después de una referencia genérica a las contribuciones históricas en la elaboración de sistema periódico actual, básicamente se centra en la estructura electrónica de los elementos químicos y su posición en la tabla periódica, la similitud de los elementos de un mismo grupo y la estabilidad átomos e iones en la predicción de enlaces, aunque esto último formulado con una cierta imprecisión, lo que invita a revisar estudios previos al respecto.^[32]

En el siguiente gran apartado de los saberes básicos, titulado *Reacciones químicas*, directamente se centra en los cálculos estequiométricos.

Por tanto, parecería que el currículum del ME considera que el alumnado promocionado a este nivel domina todos los conceptos y procedimientos básicos establecidos en la ESO, por lo que no sería preciso revisarlos. Además, tampoco consideraría necesario profundizar en su estudio. En cambio, el currículum de la CV no sólo realiza esta revisión conceptual, sino que trata los contenidos correspondientes con un mayor nivel que en la ESO desde el prisma del proceso histórico que supuso su construcción teórica. En concreto, previamente al estudio de la estequiometría de las reacciones químicas, contiene un primer bloque de contenidos titulado *Propiedades físicas y químicas de la materia. Modelos explicativos*. Por otro lado, antes de la introducción del modelo de orbital atómico y del estudio histórico del sistema periódico propone (dentro de un segundo bloque titulado *Estructura atómica de la materia*) un recorrido en la evolución de los distintos modelos atómicos hasta el cuántico. Estos dos bloques se analizan brevemente a continuación.

Propiedades físicas y químicas de la materia. Modelos explicativos (CV)

La secuencia de modelos que se realiza en este bloque de contenidos es la siguiente: Modelo cinético-corpúscular → Dalton → Avogadro → Cannizzaro-Mendeleiev. La introducción de cada modelo supone poder explicar (y predecir) unas propiedades particulares de la materia, así como señalar sus limitaciones. De esta forma, el currículum establece la paulatina explicación de las propiedades físicas de los gases; la diferencia entre mezcla y sustancia pura; la diferencia entre sustancia simple y compuesto; la explicación de las leyes de Lavoisier y de Proust; la explicación de la ley de los volúmenes de combinación de Gay-Lussac; las relaciones submicro y macro entre las sustancias que participan en una reacción química, a partir de su representación, así como el criterio de ordenación de elementos químicos de Mendeleiev.

Partiendo de la clasificación inicial de sustancias simples de Lavoisier y del modelo de Dalton, el concepto de elemento químico se convierte en una idea central para la química. En este sentido, la disputa Dalton-Avogadro sobre la composición de los gases tuvo consecuencias sobre la determinación de masas atómicas. Esta controversia fue resuelta por Cannizzaro mediante una comunicación en el congreso de Karlsruhe.^[90,91] A esta primera reunión científica de químicos asistió Mendeleiev, lo que le permitió utilizar como criterio de ordenación de elementos químicos sus valores correctos de masas atómicas.

En toda esta discusión sobre la evolución de conceptos en la explicación de las propiedades químicas de la materia, se precisa conocer los distintos significados otorgados a los términos 'átomo' y 'molécula', así como el de 'sustancia' (simple y compuesto). Finalmente, el currículum aborda la necesidad del concepto cantidad de sustancia, con lo que toman significado las relaciones de los conceptos 'masa atómica' y 'masa molecular' con el de 'masa molar', así como la interpretación a escala macroscópica de las relaciones/proporciones existentes entre las diferentes sustancias representadas en una ecuación química. A pesar de la importancia que tiene todo este conocimiento epistémico, como elemento básico para la construcción del cuerpo teórico de la química, el currículum del ME no menciona nada al respecto.

Estructura atómica de la materia (CV)

En este aspecto, según se ha mencionado previamente, existen notables diferencias entre el currículum del ME y el de la CV. En 4º de ESO el del ME ya establece la introducción del modelo cuántico, mientras que en el de la CV este estudio está acotado en 4º de ESO a los modelos atómicos de Thomson y Rutherford.

A diferencia del currículum de primero de bachillerato del ME, donde los modelos atómicos no se revisan, en el de la CV se realiza un recorrido histórico completo al establecer la siguiente secuencia: modelo cinético-corpúscular → Dalton → Thomson → Rutherford → Bohr → cuántico; estos dos últimos introducidos por vez primera. En esta evolución, se hace referencia a las controversias producidas, así como a las limitaciones de cada modelo, indicando, además, que se tengan en cuenta las ideas clave de cada modelo que permanecen en los siguientes. Finalmente, en 2º de bachillerato se revisa el modelo de Bohr y el cuántico.

Extensión curricular e investigación educativa

En 2º de bachillerato, el currículum del ME es más extenso que el de la CV. Particularmente, entre los aspectos curriculares que no se mencionan en este currículum autonómico y que sí que están presentes en el del ME destacan los siguientes:

1. Utilización del diagrama de Moeller.
2. La hibridación de orbitales atómicos y la teoría de las bandas para el enlace metálico.
3. Segundo principio de la termodinámica. La entropía como magnitud que afecta a la espontaneidad e irreversibilidad de los procesos químicos. Cálculo de la energía de Gibbs de las reacciones químicas y espontaneidad de las mismas en función de la temperatura del sistema.
4. El equilibrio químico como proceso dinámico: ecuaciones de velocidad y aspectos termodinámicos. Expresión de la constante de equilibrio mediante la ley de acción de masas.
5. Producto de solubilidad.
6. Principio de Le Châtelier.

Antes de seguir con el desarrollo de cada uno de estos apartados, conviene comentar que la mayoría de conceptos especificados en el cuadro anterior ya fueron analizados por Spencer,^[15] clasificándolos como imposibles de enseñar o como innecesarios en un curso básico de química general.

Configuraciones electrónicas. Diagrama de Moeller (ME)

Este diagrama es una pauta nemotécnica,^[92] que permite aplicar la regla de Madelung en el establecimiento de la configuración electrónica de los átomos.^[93] Esta regla ha sido cuestionada con fines pedagógicos.^[91] Aunque su aplicación permite obtener las configuraciones electrónicas de los elementos, en el bloque *d* y en el bloque *f* presenta múltiples excepciones. Pero lo más cuestionable de su enseñanza es que se basa en aspectos formales incorrectos, ya que únicamente es válida en el caso de las configuraciones de los primeros veinte elementos químicos y de sus iones.^[35]

Hibridación de orbitales atómicos y la teoría de las bandas para el enlace metálico (ME)

El gran nivel de abstracción y complejidad que tienen los modelos de enlace químico suponen una gran demanda cognitiva para los estudiantes, lo que dificulta enormemente su comprensión.^[94] Esta exigencia mental se manifiesta de forma particular en el caso de la hibridación de orbitales atómicos.^[95-97] A ello se debe añadir que la inclusión de la hibridación de orbitales atómicos en el primer curso de química universitaria se ha mostrado controvertida.^[98]

En el caso del enlace metálico, el modelo elemental electrostático ya presenta importantes problemas de entendimiento a los estudiantes.^[99-101]

La investigación educativa sugiere simplificar la enseñanza de los modelos de enlace químico,^[102,103] en lugar de enfocarla con fines propedéuticos, lo que implica un análisis crítico de la demanda conceptual de los conceptos básicos que se deben enseñar.

En lugar del concepto de hibridación, parece que en segundo de bachillerato puede ser suficiente el modelo de las repulsiones de los pares electrónicos de la capa de valencia.^[12,65] Este modelo no supone la sobrecarga cognitiva asociada a la hibridación, por lo que no resulta tan complicada su comprensión. En este sentido, Johnstone señaló: *Statements about hybridisation are often platitudinous mouthing without understanding*,^[49] lo que reafirmó incidiendo sobre la forma superficial de su enseñanza:

This is more intellectually rigorous than talking about tetrahedra arising from sp³ hybrids. To use the 'unreality'

of atomic electronic configurations (isolated atoms in the gas phase) and try to create the reality of molecular structure from them, is intellectually suspect. Without an understanding of the mathematics (which I suspect few chemists have), sp^3 or any other hybridisation label, is just mumbo jumbo. It is simply saying that, if you combine one s orbital with three p orbitals, you get a tetrahedral arrangement of orbitals, leading to bonds which point to the corners of a tetrahedron. Pasteur knew this long before orbitals were thought of!! (p. 36).^[104]

En esta misma línea de razonamiento, el estudio del modelo de las bandas para el enlace metálico tampoco parece necesario para un curso preuniversitario de química.^[15] La perspectiva básica que fundamenta los distintos modelos de enlace mediante las particulares interacciones que se establecen por la existencia de fuerzas electrostáticas,^[65,102] se concreta en el caso del enlace metálico mediante las fuerzas de atracción entre electrones y cationes metálicos.^[105] Este modelo elemental resulta suficiente en este nivel, en lugar de enseñar conceptos extremadamente abstractos relacionados con la teoría del orbital molecular.^[106]

Segundo principio de la termodinámica. Espontaneidad de una reacción química (ME)

Varios autores han señalado que los conceptos que se manejan en la enseñanza del segundo principio de la termodinámica son muy abstractos, difíciles de entender por los estudiantes; además, parecen innecesarios en un curso introductorio de química general.^[12,15] En este aspecto destaca la entropía, lo que se agrava porque en su enseñanza: i) se presenta con un amplio rango de significados;^[107] ii) en muchos casos, se introduce mediante métodos poco adecuados, asociados a diferentes errores conceptuales.^[108]

De forma análoga, la enseñanza del criterio de espontaneidad para reacciones químicas, no sólo requiere un tratamiento riguroso que excede el nivel de un curso preuniversitario de química, sino que además también ha estado asociada a tratamientos incorrectos tanto en los libros de texto,^[44,45] como en las pruebas de evaluación oficiales.^[109] La formulación con la que presenta el currículum del ME el criterio de espontaneidad, asociado a la variación de la temperatura, refuerza estos planteamientos tradicionales erróneos.^[109]

Todos estos aspectos problemáticos desaconsejan la inclusión del segundo principio de la termodinámica en segundo de bachillerato.

Equilibrio químico. Introducción. Constantes de equilibrio. Principio de Le Châtelier (ME)

La introducción cinética del equilibrio químico para deducir la expresión matemática de la constante de equilibrio es un error muy arraigado, ya discutido a mediados del siglo pasado.^[110] La referencia a ecuaciones de velocidad de la ley de acción de masas, que realiza el currículum del ME, refuerza este planteamiento histórico incorrecto.^[111,112]

Por otro lado, en lo que respecta a la expresión matemática de las constantes de equilibrio experimentales y su cálculo, la IUPAC claramente establece que tanto K_c como K_p son magnitudes que deben expresarse con las correspondientes unidades de concentración y de presión, respectivamente, de forma que su valor depende de las unidades elegidas;^[113] por el contrario, la constante de equilibrio termodinámica, K (no introducida normalmente en el nivel preuniversitario), es una magnitud adimensional, que posee un valor único (a una determinada temperatura). Sin embargo, muchos libros de texto expresan tanto

K_c como K_p sin dimensiones.^[114,115] Además, en las pruebas de acceso a la universidad, tanto en los enunciados de los problemas como en su resolución, las constantes de equilibrio experimentales se han expresado tradicionalmente sin unidades.^[116-118] Incluso, en algún distrito universitario (Cataluña, 2015) se penalizan las respuestas que expresan estas constantes con unidades; por el contrario, en otra circunscripción (Castilla-La Mancha, 2024), se aplica el criterio opuesto, al puntuar negativamente su incorrecta expresión adimensional.

En lo que se refiere al denominado principio de Le Châtelier, diferentes estudios históricos, termodinámicos y didácticos han indicado la conveniencia de su eliminación del currículum de química general.^[33,34] A pesar de su aparente simplicidad, la investigación educativa ha señalado la dificultad (imposibilidad) de su formulación cualitativa de forma precisa, general y sencilla, que supere su ambigüedad, lo que impide tanto su entendimiento claro como su aplicación inequívoca; a este problema se unen sus limitaciones. El currículum evaluado en las pruebas de acceso a la universidad ha mostrado de forma continuada serias deficiencias referidas a: i) una aplicación mecánica, sin el control de variables;^[119] ii) su empleo en casos en los que no tiene aplicación;^[119,120] iii) un control de variables incorrecto.^[34] En este punto conviene destacar la errónea asociación de la variación paralela masa-concentración,^[33,43] en las pruebas de selectividad,^[116,117] que se encuentra ejemplificada mediante la discusión del equilibrio $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2 NO_2(g)$ por variación del volumen en condiciones isotérmicas. Este error está muy extendido, ya que se puede encontrar en libros de texto,^[43] e incluso en trabajos de investigación educativa.^[121,122]

Finalmente, el currículum del ME menciona la constante de producto de solubilidad, lo que implica la realización de cálculos de solubilidad con la ayuda de la expresión matemática de esta constante para equilibrios heterogéneos en disolución acuosa. Si bien en algunos casos estas operaciones y procedimientos simples permiten obtener valores aceptables, normalmente estos cálculos no son válidos.^[123] En muchas situaciones, el planteamiento y la resolución de ejercicios tradicionales implica obtener resultados marcadamente falsos por la desconsideración de la complejidad que normalmente está asociada a estos sistemas.^[123-125] Un tratamiento cuantitativo correcto de estos problemas requiere atender los distintos factores que dificultan considerablemente su correcta resolución, lo está muy por encima del nivel de segundo de bachillerato, lo que también desaconsejaría su inclusión generalizada en este curso.^[125-127] A pesar de que el currículum de la CV restringe el estudio de equilibrios heterogéneos a la participación de gases, la comisión de coordinación autonómica de Química ha incluido estos equilibrios de solubilidad acuosa en los exámenes EBAU de este territorio.

Conclusiones e implicaciones curriculares

El análisis del actual currículum que la normativa española establece para la química en la enseñanza secundaria obligatoria y en el bachillerato ha permitido comparar lo establecido al respecto por el ME y la CV. En el caso de la ESO, el del ME es un currículum escasamente determinado, con notables ausencias, que deja amplio margen de concreción curricular en el aula. En cambio, el de la CV está mucho más acotado, tanto por niveles como por el detalle de sus contenidos, realizando una progresión cíclica de dos ideas esenciales: sustancia y reacción química; además, existen varios elementos singulares que permiten encontrar su fundamentación en la investigación educativa en ciencias, en general, y en química, en particular. Entre estos rasgos particulares se encuentran: a) la considera-

ción del conocimiento previo del alumnado; b) el énfasis que realiza en el desarrollo del lenguaje académico, así como en otras formas de comunicación multimodal; c) la organización curricular en espiral; d) la explícita apreciación de aspectos epistémicos y e) la aplicación del conocimiento en el tratamiento de aspectos sociocientíficos.

En lo que respecta al currículum del bachillerato, en el caso del currículum de la CV se realiza una progresiva transición entre el conocimiento que corresponde a la ESO y al primer curso de este nivel, profundizando en el asentamiento de conceptos básicos de la química, como la idea de elemento químico y el papel que juegan los modelos en la construcción del conocimiento científico.^[128] Este enfoque no está presente en el currículum del ME.

Finalmente, el currículum de química de segundo de bachillerato es mucho más extenso en el caso del ME. Esta sobrecarga de contenidos implica la inclusión de una serie de conceptos abstractos que producen una saturación curricular. En general, no parece que haya sido el conocimiento didáctico del contenido el que ha inspirado esta especificación curricular tan amplia,^[129,130] sino una larga tradición que provoca una cierta rigidez curricular, al estar básicamente pensado como un adelanto de estudios universitarios específicos de química.

Esta perspectiva no propicia la reducción del currículum de este curso (con la eliminación de partes prescindibles que históricamente han estado presentes), lo que impide hacerlo más factible tanto en su enseñanza como en su aprendizaje. La enorme cantidad de contenidos teóricos que contiene limita lo que realmente puede aprender el alumnado,^[15] con el agravante de que, en la práctica, suelen quedar elementos sin impartir por falta de tiempo. Esta barrera temporal también determina el tácito abandono del laboratorio escolar, a pesar de su papel crucial en el aprendizaje de la química.^[131]

Quedaría pendiente como reto aproximar la realidad escolar a la investigación educativa de la química,^[14,100,132] lo que permitirá obtener mejoras en el aprendizaje del alumnado mediante un currículum centrado en el conocimiento,^[133, 134] que sea claro y coherente (adecuadamente especificado, bien secuenciado y estructurado). Ello posibilitará dar respuestas fundamentadas a qué (y qué no) enseñar y por qué hacerlo, cuándo se debe realizar, así como qué formas de enseñanza pueden ser más efectivas,^[135] lo que determinará un avance en el conocimiento de qué, cuándo y cómo evaluar.^[14,54,78,136,137]

Bibliografía

- [1] V. Millar, W. Park, J. Dillon, *Int. J. Sci. Educ.* **2025**, 47, 1965-1971, <https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2504644>.
- [2] C. Cirkony, G. Fragkiadaki, R. Gunstone, *Sci. Educ.* **2025**, 109, 1149-1176, <https://doi.org/10.1002/sce.21949>.
- [3] Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, *BOE* 29 mar. **2022**, (76), disponible en <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217> (consultado: 28/10/2025).
- [4] Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato, *BOE* 5 abr. **2022**, (82), disponible en <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243/con> (consultado: 28/10/2025).
- [5] Decreto 107/2022, de 5 de agosto, del Consell, por el que se establece la ordenación y el currículo de Educación Secundaria Obligatoria [2022/7573], *DOGV* 11 ago. **2022**, (9403), https://dogv.gva.es/datos/2022/08/11/pdf/2022_7573.pdf (consultado: 28/10/2025).
- [6] Decreto 108/2022, de 5 de agosto, del Consell, por el que se establecen la ordenación y el currículo de Bachillerato. [2022/7578], *DOGV* 12 ago. **2022**, (9404), https://dogv.gva.es/datos/2022/08/12/pdf/2022_7578.pdf (consultado: 28/10/2025).
- [7] B. van Berkel, W. de Vos, A. H. Verdonk, A. Pilot, *Sci. & Educ.* **2000**, 9, 123-159, <https://doi.org/10.1023/A:1008765531336>.
- [8] J. K. Gilbert, *Int. J. Sci. Educ.* **2006**, 28(9), 957-976, <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>.
- [9] J. Dillon, *Int. J. Env. & Sci. Educ.* **2009**, 4(3), 201-213.
- [10] D. Hodson, *Towards scientific literacy. A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*, Sense, Rotterdam, **2008**.
- [11] V. Talanquer, J. Pollard, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2010**, 11, 74-83, <https://doi.org/10.1039/C005349J>.
- [12] R. J. Gillespie, *J. Chem. Educ.* **1991**, 68(3), 192-194, <https://doi.org/10.1021/ed068p192>.
- [13] M. Cooper, L. A. Posey, S. M. Underwood, *J. Chem. Educ.* **2017**, 94(5), 541-548, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00900>.
- [14] M. Cooper, R. L. Stowe, *Chem. Rev.* **2018**, 118, 6053-6087, <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00020>.
- [15] J. N. Spencer, *J. Chem. Educ.* **1992**, 69(3), 182-186, <https://doi.org/10.1021/ed069p182>.
- [16] M. S. Schwartz, P. M. Sadler, G. Sonnert, R. H. Tai, *Sci. Educ.* **2009**, 93(5), 798-826, <https://doi.org/10.1002/sce.20328>.
- [17] T. G. K. Bryce, E. J. Blown, *Current Psychology*, **2024**, 43, 4579-4598, <https://doi.org/10.1007/s12144-023-04440-4>.
- [18] V. Talanquer, *Educación Química*, **2023**, 34(4), 3-15, <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.4.86364>.
- [19] P. J. Garnett, P. J. Garnett, M. W. Hackling, *Stud. Sci. Educ.* **1995**, 25, 69-96, <https://doi.org/10.1080/03057269508560050>.
- [20] M. Çalik, A. Ayas, *J. Res. Sci. Teach.* **2005**, 42, 638-667, <https://doi.org/10.1002/tea.20076>.
- [21] H. D. Barke, I. A. Hazari, I. S. Yitbarek, *Misconceptions in Chemistry*, Springer, Berlin, **2009**.
- [22] A. M. Quílez-Díaz, J. Quílez-Pardo, *REurEDC* **2016**, 13(1), 20-35.
- [23] J. Quílez, *Stud. Sci. Educ.* **2019**, 55(2), 121-167, <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1694792>.
- [24] J. Quílez, *Int. J. Sci. Educ.* **2021**, 43(9), 1459-1482, <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1918794>.
- [25] N. Becker, M. Towns, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2012**, 13, 209-220, <https://doi.org/10.1039/C2RP00003B>.
- [26] Y. J. Dori, I. Sasson, *J. Res. Sci. Teach.* **2008**, 45(2), 219-250, <https://doi.org/10.1002/tea.20197>.
- [27] K. S. Taber, en *Multiple Representations in Chemical Education*, vol. v (Eds.: J. K. Gilbert, D. F. Treagust), Springer, **2009**, pp. 75-108.
- [28] K. Bain, J.-M. G. Rodríguez, M. H. Towns, *J. Chem. Educ.* **2019**, 96, 2086-2096, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00523>.
- [29] K. S. Tang, *Discourse strategies for science teaching & learning: Research and practice*, Routledge, **2021**.
- [30] V. Talanquer, *JACS Au* **2022**, 2, 2658-2669, <https://doi.org/10.1021/jacsau.2c00498>.
- [31] H. H. Sisler, C. A. VanderWerf, *J. Chem. Educ.* **1980**, 57(1), 42-44, <https://doi.org/10.1021/ed057p42>.
- [32] K. S. Taber, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2024**, 25, 949-957, <https://doi.org/10.1039/D3RP00232B>.
- [33] J. Quílez, *Sci. & Educ.* **2021**, 30, 1253-1288, <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00214-1>.
- [34] J. Quílez, *An. Quím. RSEQ* **2022**, 118(3), 185-191.
- [35] J. Quílez, *Found. Chem.* **2025**, 27, 287-317, <https://doi.org/10.1007/s10698-025-09534-4>.
- [36] A. N. Ogude, J. D. Bradley, *J. Chem. Educ.* **1994**, 71, 29-34, <https://doi.org/10.1021/ed071p29>.

- [37] B. Thompson, Z. Bunch, M. Popova, J. *Chem. Educ.* **2023**, 100, 2884-2895, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00385>.
- [38] M. Rusek, K. Vojř, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2019**, 20(1), 85-99, <https://doi.org/10.1039/C8RP00141C>.
- [39] M.R. Abraham, E.B. Grzybowski, J.W. Renner, E.A. Marek, *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, 29(2), 105-120, <https://doi.org/10.1002/tea.3660290203>.
- [40] M. Niaz, *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science*, Springer, **2016**.
- [41] L.M. Ferreira, J.P. Weiss, M. Lambach, *Found. Chem.* **2022**, 24, 171-187, <https://doi.org/10.1007/s10698-022-09425-y>.
- [42] M.J. Sanger, T.J. Greenbowe, *J. Chem. Educ.* **1999**, 76(6), 853-860, <https://doi.org/10.1021/ed076p853>.
- [43] J. Quílez, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2004**, 5, 281-300, <https://doi.org/10.1039/B3RP90033A>.
- [44] J. Quílez, *Ens. Cien.* **2009**, 27(3), 317-30, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3644>.
- [45] J. Quílez, *J. Chem. Educ.* **2012**, 89(1), 87-93, <https://doi.org/10.1021/ed100477x>.
- [46] J. Quílez, *REurEDC* **2024**, 21(3), 3204, <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2024.v21.i3.3204>.
- [47] R.S. Justi, J.K., Gilbert, en *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (Eds.: J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, J. Van Driel), Kluwer, Dordrecht, **2003**, pp. 47-68.
- [48] A. Bergqvist, M. Drechsler, O. de Jong, S.-N. C. Rundgren, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2013**, 14, 589-606, <https://doi.org/10.1039/C3RP20159G>.
- [49] N. Reid, *The Johnstone Triangle: The Key to Understanding Chemistry*, The Royal Society of Chemistry, **2021**, <https://doi.org/10.1039/9781839163661>.
- [50] J. D. Herron, *The Chemistry classroom. Formulas for successful teaching*, American Chemical Society, Washington, **1996**.
- [51] O. de Jong, J. Van Driel, N. Verloop, *J. Res. Sci. Teach.* **2005**, 42(8), 947-964, <https://doi.org/10.1002/tea.20078>.
- [52] S. Rees, V. Kind, D. Newton, *Isr. J. Chem.* **2018**, 58(1-2), 1-9, <https://doi.org/10.1002/ijch.201880101>.
- [53] K. Dávila, V. Talanquer, *J. Chem. Educ.* **2010**, 87(1), 97-101, <https://doi.org/10.1021/ed8000232>.
- [54] I. Eilks, A. Hofstein, *Teaching Chemistry: A Studybook*, Sense Publisher, Netherlands, **2013**.
- [55] J. Sjöström, F. Rauch, I. Eilks, en *Relevant Chemistry Education* (Eds.: I. Eilks, A. Hofstein), Sense Publishers, Rotterdam, **2015**, 163-184.
- [56] C. Furió, A. Vilches, G. Guisasaola, V. Romo, *Ens.Cien.* **2001**, 19(3), 365-376, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3988>.
- [57] M. Malaver, R. Pujol, A. D'Alessandro, *Educación Química*, **2003**, 14(4), 232-239, <https://doi.org/10.22201/fq.1870.8404e.2003.4.66231>.
- [58] O. de Jong, V. Talanquer en *Relevant Chemistry Education*. (Eds.: I. Eilks, A. Hofstein), Sense, Rotterdam, **2015**, pp. 11-32.
- [59] H. Pratomo, N. Fitriyana, A. W. Marfatun, *EduLearn* **2025**, 19(2), 909-920, <https://doi.org/10.11591/edulearn.v19i2.21826>.
- [60] S. Erduran, E. Scerri, en *Chemistry Education: Towards Research-based Practice* (Eds.: J.K., Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, J.H. Van Driel), Springer, Dordrecht, **2003**, pp. 7-27, https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_1.
- [61] M. Monk, J. Osborne, *Sci. Educ.*, **1997**, 81(4), 405-424, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199707\)81:4<405::AID-SCE3>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<405::AID-SCE3>3.0.CO;2-G).
- [62] L. Cardellini, *Educación Química* **2012**, 23, 305-310, [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30158-1](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30158-1).
- [63] J. Quílez, *An. Quím. RSEQ* **2021**, 117(2), 109-121.
- [64] J. M. Campanario, *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, 24(10), 1095-1110, <https://doi.org/10.1080/09500690210126702>.
- [65] R. J. Gillespie, *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(7), 862-864, <https://doi.org/10.1021/ed074p862>.
- [66] P. Atkins. *Pure Appl. Chem.* **1999**, 71(6), 927-929, <http://dx.doi.org/10.1351/pac199971060927>.
- [67] K. Padilla. *Educación Química*, **2006**, 17(1), 2-13, <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.1.66061>.
- [68] H. Sevan, V. Talanquer, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2014**, 15(1), 10-23, <https://doi.org/10.1039/C3RP00111C>.
- [69] T. Holme, C. Luxford, K. Murphy, *J. Chem. Educ.* **2015**, 92, 1115-1116, <https://doi.org/10.1021/ed500712k>.
- [70] V. Talanquer. *J. Chem. Educ.* **2016**, 93(1) 3-8, <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1101>.
- [71] L. Moreno, M.A. Calvo, *REurEDC* **2019**, 16(1), 1101, <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1101>.
- [72] J. K. Olson, *Sci. Educ.* **2018**, 27(7), 637-660, <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9993-8>.
- [73] J. Holbrook, M. Rannikmae. *Int. J. Sci. Educ.* **2007**, 29(11), 1347-1362, <https://doi.org/10.1080/09500690601007549>.
- [74] J. Osborne, S. Collins, M. Ratcliffe, R. Millar, *J. Res. Sci. Teach.* **2003**, 40(7), 692-720, <https://doi.org/10.1002/tea.10105>.
- [75] F. Abd-El-Khalick, M. Waters, A. Le, *J. Res. Sci. Teach.* **2008**, 45(7), 835-855, <https://doi.org/10.1002/tea.20226>.
- [76] A. García-Carmona, A. Vázquez-Alonso, M.A. Manassero-Mas, *Ens. Cien.* **2011**, 29(3), 403-412, <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n3.443>.
- [77] A. García-Carmona, *Rev. Esp. Pedag.* **2022**, 80(283), 433-450, <https://doi.org/10.22550/REP80-3-2022-01>.
- [78] G. Tsaparlis, H. Sevan, *Concepts of matter in science education*, Springer, **2013**.
- [79] S. Erduran, R. Duschl, *Stud. Sci. Educ.* **2004**, 40, 105-138, <https://doi.org/10.1080/03057260408560204>.
- [80] G. Chittleborough, D. Treagust, T. Mamiala, M. Mocerino, *Res. Sci. Tech. Educ.* **2005**, 23,195-212, <https://doi.org/10.1080/02635140500266484>.
- [81] M.J. Barthlow, S.B. Watson. *Sch. Sci. Math.* **2014**, 114(5), 246-255, <https://doi.org/10.1111/ssm.12076>.
- [82] J. Quílez, *REurEDC* **2024**, 21(2), 3304, <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2024.v21.i2.2304>.
- [83] P. Johnson, P. Tymms, *J. Res. Sci. Teach.* **2011**, 48(8), 849-877, <https://doi.org/10.1002/tea.20433>.
- [84] O. de Jong, K.S. Taber, en *Handbook of Research on Science Education* (Eds.: N.G. Lederman. S.K. Abell), Routledge, **2014**, pp. 457-480.
- [85] J.R. Hartman, E.A. Nelson, P.A. Kirschner, *Found. Chem.* **2022**, 24, 239-261, <https://doi.org/10.1007/s10698-022-09427-w>.
- [86] W. de Vos, A.H. Verdonk, *J. Chem.Educ.* **1985**, 62(3), 238-240, <https://doi.org/10.1021/ed062p238>.
- [87] J. Hierrezuelo, J. Bulles, *Ciencias de la naturaleza III: tercer curso de Educación Secundaria Obligatoria*, MEC, **1995**.
- [88] R.F. Hendry, *Synthese*, **2021**, 198 (Suppl. 14), S3391-S3411, <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02312-8>.
- [89] J.K.H. Pun, K.K.C. Cheung, *Res. Sci. Tech. Educ.* **2023**, 41(1), 271-288, <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1895101>.
- [90] J.W. van Spronsen, *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years*, Elsevier, New York, **1969**.
- [91] E.R. Scerri, *The Periodic Table*, OUP, Oxford, **2007**.
- [92] T. Moeller, *Inorganic Chemistry*, Wiley, New York, **1952**.
- [93] E. Madelung, *Die Mathematischen Hilfsmittel des Physikers*, Springer, Berlin, **1936**.
- [94] K.H. Hunter, J.-M.G. Rodriguez, N.M. Becker, *J. Chem. Educ.* **2022**, 99, 2451-2464, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00034>.

- [95] H. Salah, A. Dumon, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2011**, 12, 443-453, <https://doi.org/10.1039/C1RP90049H>.
- [96] S. Çaliş, *Univ. J. Educ. Res.* **2018**, 6(8), 1659-1666, <https://doi.org/10.13189/ujer.2018.060805>.
- [97] I.I. Salame, D. Krauss, S. Suleman, *Int. J. Chem. Educ. Res.* **2022**, 6(2), 83-91, <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol6.iss2.art4>.
- [98] A. Grushow, *J. Chem. Educ.* **2012**, 89, 578-579, <https://doi.org/10.1021/ed200746n>.
- [99] J. M. de Posada, *Sci. Educ.* **1997**, 81(4), 445-467, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199707\)81:4<445::AID-SCE5>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<445::AID-SCE5>3.0.CO;2-C).
- [100] K.S. Taber, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2001**, 2(1), 43-51, <https://doi.org/10.1039/B0RP90029J>.
- [101] M.M.W. Cheng, P.-T. Oon, *Int. J. Sci. Educ.* **2016**, 38(12), 1923-1944, <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1219926>.
- [102] K. S. Taber, R. Coll en *Chemical education: towards research-based practice* (Eds.: J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, J. Van Driel), Kluwer, Dordrecht, **2003**, pp. 213-234.
- [103] R. Coll, D. Treagust, *Sci. Educ.* **2003**, 87, 685-670, <https://doi.org/10.1002/sce.10059>.
- [104] A. H. Johnstone, *Univ. Chem. Educ.* **2000**, 4, 34-38.
- [105] G. Tsapalis, E. Pappa, B. Byers, *Chemistry Teacher Int.* **2020**, 2(1), 20190002, <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0002>.
- [106] L. Pauling, *J. Chem. Educ.* **1992**, 69(7), 519-521, <https://doi.org/10.1021/ed069p519>.
- [107] J. Haglund, F. Jeppson, H. Strömdahl, *Entropy* **2010**, 12, 490-515, <https://doi.org/10.3390/e12030490>.
- [108] J.S. Martin, N.A. Smith, C.D. Francis, *Evolution: Educ. Outreach* **2013**, 6(1), 1-9, <https://doi.org/10.1186/1936-6434-6-30>.
- [109] J. Quílez, *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121 (1), 25-31, <http://doi.org/10.62534/rseq.aq.2016>.
- [110] K.J. Mysels, *J. Chem. Educ.* **1956**, 33(4), 178-179, <https://doi.org/10.1021/ed033p178>.
- [111] J. Quílez, *Found. Chem.* **2019**, 21, 221-252, <https://doi.org/10.1007/s10698-018-9320-0>.
- [112] J. Quílez, *Found. Chem.* **2021**, 23, 85-103, <https://doi.org/10.1007/s10698-020-09376-2>.
- [113] J. Quílez, *Chemistry. Bulgarian J. Sci. Educ.* **2016**, 25(6), 815-825.
- [114] A. Quílez, J. Quílez, *Ens. Cien.* **2014**, 32(3), 187-203, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1046>.
- [115] J. Quílez, *Int. J. Phys. Chem. Educ.* **2019**, 11, 73-83, <https://doi.org/10.51724/ijpce.v11i3.51>.
- [116] S. Zubiaurre, J.M. Arsuaga, *Selectividad Logse Química* 2002, Anaya, Madrid, **2003**.
- [117] S. Zubiaurre, J.M. Arsuaga, *Selectividad* 2012: Química, Anaya, Madrid, **2013**.
- [118] S. Menargues, A. Gómez, *37 años de problemas y cuestiones de Química en las pruebas de acceso a las universidades públicas de la Comunidad Valenciana (1987-2023)*, Colegio de Químicos, Valencia. **2023**.
- [119] J. Quílez, *Ens. Cien.* **2006**, 24(2), 219-240, <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3802>.
- [120] J. Quílez, *An. Quím.* **2017**, 113(4), 247-252.
- [121] M. Aydeniz, A. Dogan, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2016**, 17, 111-119, <https://doi.org/10.1039/C5RP00170E>.
- [122] M. Peris, *Chemistry Teacher International* **2022**, 4(3), 203-205, <https://doi.org/10.1515/cti-2020-0030>.
- [123] J.N. Butler, *J. Chem. Educ.* **1961**, 38(9), 460-463, <https://doi.org/10.1021/ed038p460>.
- [124] A. Rojas, M.T. Ramírez, *Educ. Química* **1992**, 3(2), 106-113.
- [125] L. Meites, J.S.F. Pode, H.C. Thomas, *J. Chem. Educ.* **1966**, 43(12), 667-672, <https://doi.org/10.1021/ed043p667>.
- [126] S.J. Hawkes, *J. Chem. Educ.* **1998**, 75(9), 1179-1181, <https://doi.org/10.1021/ed075p1179>.
- [127] R.W. Clark, J.M. Bonicamp, *J. Chem. Educ.* **1998**, 75(9), 1182-1185, <https://doi.org/10.1021/ed075p1182>.
- [128] J.K. Gilbert, *Int. J. Sci. Math. Educ.* **2004**, 2, 115-130, <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>.
- [129] P.E. Childs, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, 10, 189-203, <https://doi.org/10.1039/B914496J>.
- [130] J. van Driel, O. de Jong, en *Chemistry Education. Best Practices, Opportunities and Trends* (Eds.: J. García, E. Serrano), Wiley, **2015**, pp. 99-121.
- [131] A. Hofstein, M. Hugerat, *Teaching and Learning in the School Chemistry Laboratory*, Royal Society of Chemistry, **2021**.
- [132] O. de Jong, *Univ. Chem. Educ.* **2000**, 4(1), 31-34.
- [133] T. Surma, C. Vanhees, M. Wills, J. Nijlunsing, N. Crato, J. Hat tie, D. Muijs, E. Rata, D. William, P.A. Kirschner, *Developing Curriculum for Deep Thinking: The Knowledge Revival*, Springer, **2025**.
- [134] C. Vanhees, J. Nijlunsing, D. Muijs, N. Crato, M. Wils, D. Wil iam, P. Kirschner, *Learning and Individual Differences* **2025**, 121, 102729, <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2025.102729>.
- [135] J. Quílez, *An. Quím RSEQ* **2024** 120(2), 61-66, <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.1977>.
- [136] J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, J. van Driel, *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Kluwer, Dordrecht, **2003**.
- [137] I. Eilks, A. Hofstein, *Relevant Chemistry Education*, Sense Publishers, Rotterdam, **2015**.



Juan Quílez

GEDH – RSEQ – RSEF

Ce: 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 (primaria y secundaria) en las universidades de València y Jaume I de Castelló.