

ENSEÑANZA
DE LA QUÍMICA

El movimiento STEM en el currículum: origen, fundamentación y análisis crítico



J. Quílez Pardo

IES Lluís Vives (Valencia)

E-mail: jquilez@uji.es

Recibido: 20/04/2022

Aceptado: 07/09/2022

ORCID: 0000-0001-5428-4617

Juan Quílez

Resumen: Se realiza una breve introducción del origen del movimiento STEM. Posteriormente, se analizan los problemas que surgen de su falta de conceptualización precisa y del intento de su puesta en práctica en el ámbito educativo, señalándose las críticas que recibe el enfoque integrado desde tres campos relacionados: las didácticas específicas, la psicología cognitiva y la teoría curricular.

Palabras clave: STEM, integración, indagación, competencias, conocimiento.

Abstract: A brief introduction to the origins of the STEM movement is given. Subsequently, the problems arising from both the lack of its precise conceptualisation and the attempts to its implementation in educational settings are analysed, pointing out the criticisms its integrated approach has received from three related fields: specific didactics, cognitive psychology and curriculum theory.

Keywords: STEM, integration, inquiry, competences, knowledge.

Introducción

En un artículo reciente se hace una crítica fundamentada al nuevo marco legislativo que regula la enseñanza secundaria en España.^[1] Este trabajo toma una posición semejante sobre un aspecto concreto:^[2] la Lomloe establece que las materias se pueden agrupar por ámbitos de conocimiento hasta 3º de ESO. Ello supone fusionar dos o tres asignaturas, lo que implica que las materias afectadas pierden su carácter disciplinar. Por ejemplo, el ámbito científico-tecnológico suele agrupar en 1º de ESO a tres asignaturas, que son Biología, Matemáticas y Tecnología. En 2º de ESO, la estructura normal supone sustituir Biología por Física y Química.

El objetivo de este trabajo es conocer el origen y los fundamentos que han inspirado esta nueva estructura curricular, así como realizar un análisis de esta integración de materias a partir de lo que emana de la investigación educativa procedente de las distintas didácticas específicas, así como de la psicología cognitiva y de la teoría curricular.

Del lanzamiento del satélite Sputnik al movimiento STEM

El Sputnik I fue el primer satélite de la historia. Se puso en órbita el 4 de octubre de 1957. Su lanzamiento por parte de la antigua Unión Soviética supuso un verdadero shock para la sociedad estadounidense.^[3,4] Se pensó que tanto el sistema de defensa como el liderazgo económico de esta parte de Norteamérica necesitaban un decidido impulso en

la formación de científicos, matemáticos e ingenieros. La consecuencia inmediata fue la revisión y la actualización del currículum de las materias relacionadas con las ciencias y las matemáticas.^[5] Ejemplos de estas reformas curriculares para la enseñanza secundaria son *Physical Science Curriculum Study (PSCS)*, 1960 y *CHEM Study*, 1960.

Esta preocupación propició que, en el año 1959, la *National Academy of Science* organizara *The Woods Hole Conference*. Este congreso estuvo presidido por Jerome Bruner. Otros participantes relevantes fueron Skinner, Inhelder y Cronbach. Dos años después, Bruner publicó su influyente trabajo *The Act of Discovery*,^[6] que, como veremos posteriormente, ha permeado de forma importante enfoques posteriores de enseñanza de las ciencias.

Tras la crisis del satélite Sputnik, más o menos cada veinte años,^[3] nuevas situaciones análogas han resurgido en Estados Unidos (*A Nation at Risk-1983*, *No Child Left Behind-2002*) reavivando los mismos sentimientos de miedo por amenazas militares y de pérdida de liderazgo económico, recayendo de nuevo en la supuesta baja calidad del sistema educativo la responsabilidad de los peligros asociados a la defensa nacional y de la alarma generada por la posible pérdida de su posicionamiento destacado en el mercado internacional. En definitiva, los cambios educativos estuvieron siempre enmarcados en valoraciones de índole militar y comercial.^[7]

En este contexto fue tomando cuerpo a principios de este siglo el movimiento denominado STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*),^[8] que rápidamente ha ido adquiriendo una gran aceptación y un enorme desarrollo, extendiéndose ampliamente en el ámbito internacional.^[9] Básicamente, se señala que estas disciplinas son las responsables

del crecimiento económico de Estados Unidos en el contexto de globalización actual y que su impulso también permite atender aspectos de seguridad nacional.^[4] Se asume además que el sistema educativo debería estar formando un mayor número de profesionales en las áreas STEM para atender la creciente oferta de empleos relacionados con estos campos.

Sin embargo, diferentes estudios^[10-12] han demostrado que estas ideas no tienen un fundamento sólido, siendo como mínimo exageradas. A pesar de ello, se han aceptado acríticamente por la sociedad, más por la insistencia con la que cíclicamente reaparecen con la ayuda de los medios de comunicación en contextos de crisis (reales o generados)^[13] que por su fundamentación basada en hechos demostrados. Por tanto, una serie de mitos como la carencia de profesionales STEM^[14-16] o de ideas zombi relacionadas con aspectos económicos y militares^[16-20] ha permitido que el movimiento STEM sea bien recibido por la sociedad estadounidense y que haya encontrado también una buena acogida en el contexto internacional,^[21-23] facilitando en todos los casos que el currículum se articule dentro de parámetros de corte neoliberal.^[12,14,18]

La integración de materias STEM

Una vez señalado que las raíces fundacionales del movimiento STEM no son estrictamente educativas sino que su cimentación se enmarca principalmente en parámetros económicos y militares, así como en un intento de control del currículum, particularmente de las ciencias,^[24] conviene conocer cómo se ha asentado firmemente en el mundo académico.

Diferentes organismos (OCDE y el Banco Mundial, entre otros)^[25] han trasladado con éxito una serie de capacidades/competencias del ámbito de la empresa al contexto educativo. Particularmente, se habla del 'capital humano'^[24] y de 'las buenas prácticas'^[26] de la escuela y también se señala que a los estudiantes se les debe preparar en el desarrollo de una serie de habilidades o capacidades generales para su adecuada formación en su futura vida laboral.^[27] Por ello, se deben potenciar cualidades 'de hacer' que se centren en la 'resolución de problemas' prácticos, relacionados con situaciones de la vida real y que supongan el diseño y la realización de distintos artefactos, en los que se desarrolle un 'pensamiento crítico', así como un 'espíritu emprendedor', con capacidad de 'trabajo interdisciplinar'.

Esta visión ha encontrado un perfecto acomodo en la 'nueva' pedagogía,^[28] que se basa en las ideas de Dewey (aprendizaje por indagación o experimental; cuestionamiento del aprendizaje disciplinar; conocimiento surgido del estudio de problemas cotidianos),^[29] Kilpatrick (aprendizaje por proyectos)^[30] y Bruner (aprendizaje por descubrimiento),^[6] en las que se pone el énfasis en el método científico, focalizado en actividades prácticas, así como en el fomento de la capacidad general de resolución de problemas. En el contexto español, algunos pedagogos como Jurjo Torres^[31] ya recuperaron estas ideas en la etapa previa a la ley de educación de 1990 (LOGSE). Particularmente, este autor indicaba que las distintas materias proporcionan una visión fragmentada de la realidad, por lo que defendía un currículum integrado

o globalizado, con propuestas interdisciplinares que aboradaran problemas auténticos y que atendieran las necesidades e intereses de los alumnos. En el ámbito internacional, podemos encontrar visiones similares.^[32] Finalmente, estos mismos fundamentos han permeado las reformas curriculares de muchos países de la OCDE,^[33] de forma que se ha potenciado:^[23,34] a) un currículum interdisciplinar a partir de la integración de materias (en donde el movimiento STEM aparece como ejemplo paradigmático) y b) el aprendizaje centrado en el alumno mediante prácticas de indagación por descubrimiento, otorgando al profesorado un papel auxiliar.

Problemas educativos de la integración STEM

Conceptualización STEM

El concepto STEM posee una cierta ambigüedad conceptual,^[4] ya que abarca diferentes planos o ámbitos: a) el estrictamente profesional que encuadra a quienes trabajan en una de las áreas del acrónimo; b) el político-social, que suele emplearse como un eslogan muy seductor y c) el educativo, articulado en un supuesto marco de innovación y modernidad.^[35,36]

Si nos centramos en el marco estrictamente educativo, la bibliografía no proporciona un significado claro, preciso y compartido en lo que hace referencia a sus prácticas^[37] y a los principios que lo fundamentan.^[38] En cualquier caso, se trata de una moda a la que se está adhiriendo un creciente número de autores^[39,40] y que ha cuajado rápidamente en los planes educativos de muchos países,^[26] aceptándose de forma acrítica.^[16]

Si bien en muchos contextos educativos STEM hace referencia de forma genérica a cada una de las disciplinas individuales que componen el acrónimo,^[41] parece que se está asumiendo que estas siglas implican un tratamiento integrado de las distintas materias que lo componen,^[42] aunque la realidad es muy diversa. En general, las diferentes formas en las que se ha conceptualizado han generado una cierta confusión en la comunidad educativa.^[43,44] Otros acrónimos más recientes, como STEAM, en el que se añade el término 'Arts' han introducido nuevos elementos de desorientación por falta de concreción y de fundamentación teórica ajustada.^[45,46] Ante esta falta de marco conceptual claro, los problemas que surgen acerca de su efectividad (según se analiza en los siguientes apartados) y la diversidad con la que en la práctica se materializa, algunos autores han jugado irónicamente con el significado en inglés del acrónimo, señalando que *steam* sólo es 'humo'^[39] o que habría que saber quiénes son los 'sádicos' (S) y quiénes los 'masoquistas' (M) de STEM.^[47]

Finalmente, señalar que la práctica docente hace que en muchos casos STEM se entienda simplemente como ciencia y matemáticas, ya que los profesores no encuentran sencillo integrar la tecnología y la ingeniería, reduciendo en muchos casos este enfoque a simplemente emplear el ordenador como medio de búsqueda de conocimiento.^[4] Por otro lado, también se ha señalado que existe otro grupo importante de investigaciones y de profesores que se decantan hacia la T

y la E del acrónimo,^[48] por ser la tecnología y la ingeniería las áreas que permiten proporcionar una dimensión práctica a esta integración.^[8] Se trataría de potenciar actividades 'de hacer', más que de pensar o conceptualizar, mediante la construcción de distintos artefactos, destacando los relacionados con la robótica.^[11,39] Este enfoque trivializa la enseñanza de las matemáticas al otorgarle un papel meramente instrumental; de forma análoga, las ciencias suelen tomar un papel secundario.^[16] Esta focalización práctica o manual tan restrictiva propicia que en sus concreciones curriculares se excluyan las dimensiones socioculturales,^[16,49] como es el caso de la educación cívica.^[19]

Investigación didáctica

Un análisis crítico acerca de cómo conceptualizar y llevar a la práctica la integración STEM supone considerar los siguientes puntos clave:

Las carencias teóricas que fundamentan y posibiliten la integración adecuada STEM

Las distintas materias que conforman el acrónimo tienen unos fundamentos conceptuales, procedimentales y epistemológicos propios que, según algunos autores,^[36,50] hacen inviable su integración, más allá de situaciones puntuales o anecdóticas,^[39] por lo que las conexiones entre materias deberían realizarse únicamente desde planteamientos que conserven la identidad de las mismas,^[51] siempre teniendo como prerequisite un conocimiento previo disciplinar profundo.^[52]

Esta imposibilidad no permitiría otorgar a STEM un status epistemológico propio. Todo ello provoca que exista una falta de concreción de lo que supone realizar esta integración de materias.^[53] Este marco teórico difuso, unido a la formación del profesorado como especialistas (normalmente de sólo una de las materias que integran el acrónimo STEM), hace que cuando esta aproximación interdisciplinar se impone obligatoriamente a todo el profesorado,^[54] éste realice aproximaciones superficiales e irrelevantes en sus intentos de conexión entre las distintas materias.

Entre los peligros que surgen en los intentos de esta fusión disciplinar, otros autores señalan que se pueden generar serias lagunas conceptuales,^[55] así como impedirse una adecuada visión de la estructura, fines y prácticas específicas de cada una de las distintas disciplinas.^[56] Éstas poseen conceptos estructurantes particularmente jerarquizados que requieren presentaciones y procesos de construcción singulares, que se difuminan o se distorsionan con esta nueva forma de trabajo.^[57] Estos efectos se acrecientan por trivializaciones excesivas en los casos elegidos para la integración de materias.^[55] Esta metodología que se centra esencialmente sobre lo práctico devalúa de forma relevante la enseñanza de la ciencia y de las matemáticas al desconsiderar como importantes las formas de pensamiento que permiten trabajar con ideas abstractas y modelos.^[56] Además, esta minusvaloración del aspecto conceptual dificulta el aprendizaje del alumnado, ya que la terminología académica que se emplea en cada

materia posee su significado concreto que debería hacerse explícito en cada contexto.^[58] Esta barrera lingüística está asociada al empleo de un vocabulario específico que cobra distinto significado dependiendo del contexto particular en el que se emplea. Se pueden citar como ejemplos de léxico académico polisémico el término argumentación, que se conceptualiza de forma diferente en ciencias y en matemáticas, así como la palabra modelo, que adopta un significado diferente en ciencias y en ingeniería.

La existencia de un número escaso de estudios empíricos que muestren la efectividad de un modelo consolidado

Existen múltiples estudios que muestran la efectividad de un tratamiento puntual integrado de dos o más materias STEM, fundamentalmente en lo que hace referencia al aspecto motivacional del alumnado,^[59] aunque una revisión reciente concluye que esta forma de trabajo no es bien recibida por los estudiantes.^[60]

Las distintas revisiones realizadas concluyen que no existe suficiente investigación empírica que muestre la efectividad de un modelo consolidado de integración STEM sostenido en el tiempo.^[54,61]

Particularmente, los intentos de integración ciencias-matemáticas tienen una larga historia acerca de su escasa efectividad,^[47,62] que se remonta a principios del siglo XX a partir del marco curricular establecido por Kilpatrick y Dewey. Por otro lado, los estudios que han analizado el impacto de la inclusión de la tecnología y la ingeniería en el currículum de ciencias no han encontrado soporte experimental que muestre una mejora del conocimiento científico.^[11] En una revisión reciente,^[46] de los 548 artículos inicialmente obtenidos que respondían a un aprendizaje interdisciplinar STEM, finalmente únicamente se encontraron 11 trabajos que proporcionarían un verdadero soporte empírico sobre su mayor efectividad en el aprendizaje de los alumnos. Sin embargo, llaman la atención dos de estos once artículos seleccionados^[63,64] por el esfuerzo realizado por sus autores para presentarse desde el enfoque STEM integrado. En realidad, uno de ellos^[63] es básicamente un estudio de química sobre un trabajo práctico de electrólisis; análogamente, el otro^[64] se corresponde a una acción dentro del campo de la biología, ya que discute una mejora específica en el aprendizaje de la genética.

Finalmente, un aspecto no desdeñable es cómo realizar la evaluación del ámbito STEM,^[52] ya que se debe pasar de una evaluación puramente disciplinar a otra que valore el conocimiento transdisciplinar. Thibaut^[42] señaló la falta de criterios claros a la hora de evaluar proyectos STEM integrativos. En este sentido, los profesores que trabajan en el ámbito STEM han indicado la dificultad de evaluar individualmente a los estudiantes, ya que su trabajo se realiza en grupo.^[65]

Out-of-field teachers

Diversas investigaciones sobre la calidad de la enseñanza revelan que uno de los principales factores que determinan el éxito del proceso de enseñanza/aprendizaje es la calidad del profesorado responsable de su desarrollo.^[66]

Cuando un profesor tiene que enseñar fuera de su campo de especialización surgen serios problemas que afectan a la calidad del trabajo que se realiza en el aula. La problemática asociada a esta baja cualificación docente se enmarca en una línea de investigación muy potente denominada *out-of-field teachers*, que se ha convertido en un aspecto central en el ámbito de la enseñanza de las ciencias.^[67] Por ello, sorprende que en la metodología de STEM integrado un solo profesor sea quien se encarga normalmente de impartir todo el ámbito. Los profesores suelen tener formación inicial como especialistas de sólo una de las materias que componen el acrónimo. Esta circunstancia comporta tres problemas asociados: a) el profesorado STEM no tiene un conocimiento profundo de toda la materia a impartir (normalmente sólo de una parte), lo que supone que no se sienta ni seguro ni preparado^[68] y que manifieste un número importante de errores conceptuales sobre conceptos fundamentales;^[69] b) su conocimiento pedagógico (didáctico) de ese contenido (PCK, en sus siglas en inglés, a partir del trabajo de Shulman^[70]) es muy limitado;^[71] c) las dos limitaciones anteriores tienen consecuencias sobre la escasa preparación para diseñar la aproximación holística de la integración disciplinar que deben realizar.^[54,72] Estas restricciones representan un serio obstáculo para generar una enseñanza apropiada en contextos STEM, ya que su escasa preparación está asociada con una baja confianza en su trabajo, lo que ocasiona una deficiente calidad de las clases y, en consecuencia, un bajo rendimiento académico de los estudiantes y una reducción de su motivación hacia el estudio.^[73]

Aprendizaje por descubrimiento. La visión de la psicología cognitiva

El cuestionamiento de la instrucción directa por el profesor, dejando que los alumnos construyan su propio aprendizaje mediante procesos de indagación autónoma sobre problemas cotidianos, ha demostrado ser un auténtico desastre educativo.^[74] A pesar de ello, las ideas de Bruner y de Dewey han emergido periódicamente bajo diferentes denominaciones (aprendizaje por descubrimiento, experimental, basado en problemas o por indagación, entre otros)^[75] hasta llegar a nuestros días, impregnando de forma relevante los planteamientos educativos que fundamentan los proyectos curriculares de países de la OCDE, según se ha señalado previamente.

Los conocimientos actuales de psicología cognitiva acerca de cómo se aprende y cómo se organiza el conocimiento^[76] permiten asegurar que el aprendizaje por descubrimiento es inefectivo.^[77] En este ambiente de trabajo los alumnos se sienten frustrados y desorientados, generando al mismo tiempo errores conceptuales.^[75] Estos resultados negativos se acrecientan cuanto mayor es el tiempo que el alumno trabaja en este ambiente.^[78]

Los problemas reales de la vida diaria son muy complejos. La memoria de trabajo que va a permitir filtrar e integrar la nueva información en la memoria a largo plazo tiene una capacidad muy limitada. Si estas situaciones no se acotan adecuadamente, se produce un bloqueo por tener

que atender demasiados elementos a la vez, impidiendo que los alumnos aprendan significativamente, facilitando con ello un aprendizaje nulo o puramente memorístico. Es misión de los profesores administrar y graduar la información que se proporciona a los alumnos para que estos puedan procesarla adecuadamente.^[79] Por ejemplo, la presentación y resolución por parte del profesor de problemas en situaciones concretas facilita el aprendizaje, ya que disminuye la carga cognitiva de la memoria de trabajo.^[80]

Por otro lado, la psicología cognitiva^[81] también señala que el trabajo de capacidades científicas procedimentales (como, por ejemplo, la resolución de problemas), es efectivo cuando se desarrolla en contextos específicos en los que la memoria a largo plazo tiene los conocimientos previos suficientes para poner en práctica esas habilidades. Si no se dispone de una adecuada estructura de conceptos en la memoria a largo plazo, esos procesos no se pueden desarrollar, lo que cuestiona el pretendido efecto del trabajo de competencias o capacidades generales que presuntamente se pueden transferir a cualquier situación de aprendizaje.

Diferentes estudios realizados a gran escala,^[82] tomando como referencia pruebas internacionales, coinciden en señalar que el aprendizaje por indagación abierto produce una merma del aprendizaje y que éste mejora considerablemente cuando el profesorado asume un verdadero papel protagonista en su papel de proporcionar conocimiento.

Teoría curricular. El conocimiento poderoso

El enfoque pedagógico que promueve el aprendizaje por competencias desatiende el conocimiento,^[83] ya que priva a los estudiantes de los aspectos teóricos de las distintas disciplinas,^[84] devaluando la práctica instruccional al centrarse en aspectos casi exclusivamente prácticos,^[85] lo que supone una desprofesionalización del profesorado.^[86] Según algunos autores,^[23] un aspecto esencial (junto a la calidad del profesorado), que propicia que los alumnos puedan verdaderamente aprender, es la existencia de un currículo bien organizado, secuenciado y suficientemente detallado que facilite su comprensión y desarrollo por el profesorado.

Los conocimientos disciplinares son los que permiten al alumno desarrollar un conocimiento más amplio y más profundo que el que adquiere de su experiencia en su entorno cotidiano.^[87] El conocimiento epistémico no se promueve en los estudiantes a partir del estudio de temas generales, asociados a competencias genéricas y procedimientos de indagación autónoma.^[88] Esta carencia de una base que permita un pensamiento crítico dificulta a los alumnos una valoración de distintas concepciones que pueden competir entre sí a la hora de entender elementos básicos de su vida diaria. Por ello, la teoría curricular^[89] cuestiona la tradición pedagógica pavidocentrista basada en el marco instruccional articulado por Dewey.^[29] En consecuencia, esta visión crítica descarta que el profesorado deba tener un papel secundario como simple facilitador del aprendizaje, ya que su función como profesional de la enseñanza debe ser la de actuar como autoridad pedagógica, fruto del análisis de su expe-

riencia, compartida con otros profesores, y de su profundo conocimiento disciplinar y didáctico.^[90]

Young^[91] señala que el currículum no debe estar centrado en el alumno sino en intentar responder a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el conocimiento que un alumno (de secundaria, por ejemplo) tiene derecho a tener acceso? En su respuesta proporciona una serie de características de ese conocimiento:^[89] a) se trata de un conocimiento en el que se puede confiar; b) resulta de mejor calidad que el que el alumno adquiere de su experiencia cotidiana, ya que le permite abrir nuevas ventanas de comprensión y entendimiento; c) aporta ideas y conceptos que le ayudan a pensar de una forma abstracta y a construir nuevos significados, potenciando con ello su desarrollo intelectual; d) las explicaciones que proporciona se pueden poner a prueba; e) está sujeto a revisión; f) se adquiere en instituciones especializadas; g) normalmente está asociado a un aprendizaje disciplinar, que proporciona parámetros específicos de contextualización. Esta distinción entre dos formas de conceptualizar:^[92] 1) de forma teórica (científica) y 2) basada en experiencias cotidianas o de sentido común, cuestiona de forma muy significativa el aprendizaje por descubrimiento.^[6]

Además, esta perspectiva curricular también pone en duda la efectividad de la integración de materias y un currículum genérico, asociado todo ello a un planteamiento competencial,^[85,93] ya que este conocimiento disciplinar^[94] se adquiere en contextos específicos instruccionales, perfectamente delimitados por las distintas materias impartidas por profesores especialistas. En este entorno académico el profesor se asegura de establecer tanto las relaciones existentes entre los conceptos de su materia como las conexiones que se pueden realizar con otras, así como de proporcionar ejemplos significativos de aplicación. Se debe destacar que este enfoque pedagógico resulta especialmente beneficioso para los estudiantes que provengan de entornos socioeconómicos desfavorecidos, ya que este conocimiento poderoso^[95] es el único medio que poseen de ascender, por lo menos en el plano intelectual, desde sus circunstancias particulares.

Finalmente, señalar que la teoría curricular plantea una objeción adicional al enfoque competencial, ya que éste establece que existen unas competencias generales como capacidad de expresión práctica o método universal. Esta visión posee una deficiencia fundamental: esas competencias sólo toman sentido en contextos muy específicos, que están ligados a los conocimientos particulares que emanan de cada una de las materias para situaciones concretas. Por tanto, no sólo se cuestiona la fundamentación pedagógica de existencia de esas capacidades generales, sino que se pone en seria duda que el trabajo de STEM integrado sobre proyectos 'de hacer' permita una preparación adecuada para la futura vida laboral, ya que la adquisición de una competencia específica no significa que se pueda transferir a otros contextos.^[85]

Conclusiones

Los principios de índole económica y militar fundacionales del movimiento STEM, reavivados periódicamente en épocas de crisis, han propiciado que durante los últimos veinte años

este acrónimo se haya consolidado con gran éxito para la enseñanza de las ciencias. Su enorme atractivo se ha convertido en una acción pretendidamente salvadora que ha seducido a las autoridades educativas de muchos países, lo que ha provocado que se regulen cambios curriculares significativos en la enseñanza secundaria.

Sin embargo, existe una gran confusión entre la comunidad académica en lo que se refiere tanto a los principios teóricos que inspiran esta visión disciplinar como a los aspectos prácticos que permiten su desarrollo efectivo en las aulas. La integración STEM no posee una definición conceptual clara y compartida. A ello se debe añadir que se han planteado serias dudas sobre la viabilidad de esta fusión de materias a partir del estudio de los principios epistemológicos de cada una de las distintas disciplinas del acrónimo. En cada caso, sus conceptos, su significado específico y su estructura singular tienen implicaciones relevantes acerca de cómo se deben presentar, organizar y secuenciar para su aprendizaje, lo que cuestiona enormemente que se pueda conseguir con éxito la unificación de materias como alternativa pedagógica.

La pretendida efectividad de la enseñanza STEM se ha examinado desde distintos marcos relacionados. En el campo de las didácticas específicas se han formulado una serie de objeciones, entre las que destacan: a) la falta de atención de las ciencias y las matemáticas, que pasan a tener un papel secundario; b) la ausencia de evidencia empírica acerca del éxito del enfoque STEM integrado auténtico, sostenido en el tiempo, más allá de acciones puntuales; c) la dificultad de la evaluación; d) la práctica imposibilidad de que la mayor parte del profesorado domine tanto los contenidos de todas las materias como su didáctica, así como la práctica de aula que implica su agrupación; e) la escasa calidad del aprendizaje por descubrimiento, basado en aspectos eminentemente prácticos. Por su parte, la psicología cognitiva también es muy crítica por considerar que el profesorado debe tener un mayor protagonismo a la hora de ayudar en la organización del conocimiento de sus estudiantes. Un papel esencial del profesorado de cada materia es la de introducir conceptos y procedimientos, graduados según el nivel académico, así como proporcionar los ejemplos relevantes al alumnado, acotando adecuadamente los problemas de estudio. De esta forma, se evita que su memoria de trabajo se sature por tener que enfrentarse a problemas reales abiertos, debido a que éstos poseen intrínsecamente muchos elementos a considerar, lo que los hace cognitivamente muy complejos. Por último, la teoría curricular también proporciona nuevos elementos críticos, señalando la devaluación del conocimiento que se produce por un enfoque competencial, abogando por un conocimiento poderoso, desarrollado por profesores especialistas a partir de un currículum bien organizado. La concreción en el aula de esta estructura curricular debe permitir al alumnado trascender más allá de su experiencia cotidiana mediante la construcción de ideas científicas que le posibiliten conceptualizar de una forma mejor y más segura, lo que supone dominar el lenguaje académico^[58] para razonar, argumentar y debatir sobre cuestiones sociocientíficas. Finalmente, señalar otro aspecto relacionado que cuestiona el énfasis puesto en la pretendida adquisición de competen-

cias generales (la resolución de problemas o el pensamiento crítico, por ejemplo). Estas capacidades o habilidades sólo cobran sentido asociadas a conceptos particulares en contextos concretos, con dificultad de transferencia a otros terrenos, máxime si no se dominan los conocimientos necesarios.

De todos estos análisis se concluye que una aproximación interdisciplinar puede ser efectiva cuando ya se dominan los principios básicos de cada una de las materias a relacionar. Se infiere que las conexiones entre asignaturas se deben realizar desde cada uno de campos de estudio, en donde el papel de cada uno de los profesores especialistas es determinante a la hora de elegir el momento y la duración en que se trabajan esos nexos y aplicaciones. Los cambios curriculares precisan un soporte sólido conceptual y un apoyo empírico que demuestre su posible validez. Con estos prerrequisitos se evitarían imposiciones y adhesiones acríticas a modos de escasa efectividad que ponen en peligro una apropiada formación académica del alumnado.

Bibliografía

- [1] J. A. De Azcárraga, *Rev. Esp. Pedagog.* **2022**, 80(281), 111-129.
- [2] a) J. Quílez, *An. Quím.* **2021**, 117 (1), 7-8; b) J. Martínez-Torregrosa, J. Carrascosa, *Vitruvian Cogitationes* **2021**, 2(1), 1-13.
- [3] A. Steeves, P. E. Bernhardt, J. P. Burns, M. K. Lombard, *Am. Educ. Hist. J.* **2009**, 36(1), 71-87
- [4] R. W. Bybee *The case for STEM education: challenges and opportunities*. Arlington, VA: NSTA Press. 2013.
- [5] C. Wissehr, J. Concannon, L. H. Barrow, *Sch. Sci. Rev.* **2011**, 111(7), 368-375.
- [6] J. S. Bruner, *Harv. Educ. Rev.* **1961**, 31, 21-32.
- [7] E. V. Johanningmeier, *Am. Educ. Hist. J.* **2010**, 37(2), 347-365.
- [8] M. Sanders, *Technology Teacher*, **2009**, 68(4), 20-26.
- [9] S. Erduran, *Sci. & Educ.* **2020**, 29, 781-784.
- [10] J. Williams, *DATE* **2011**, 16(1), 26-35.
- [11] W. F. McComas, S. R. Burgin, *Sci. & Educ.* **2020**, 29, 805-829.
- [12] M. Zouda, *JASTE* **2016**, 7(1), 70 - 83.
- [13] N. Klein. *The shock doctrine. The rise of disaster capitalism*. Penguin. London. 2007.
- [14] K. Bencze, L. Reiss, M.J. Sharma, A. Weinstein, En: L. Bryan, K. Tobin (eds.) *13 Questions: Reframing Education's Conversation: Science*. (pp. 69-87). Peter Lang: New York. 2018.
- [15] H.J. Stevenson, *Issues in Teacher Education* **2014**, 23(1), 133-146.
- [16] D. L. Zeidler, B. C. Herman, M. P. Clough, J. K., Olson, S. Kahn, M. Newton, *J. Sci. Teacher Educ.* **2016**, 27, 465-476.
- [17] A. Sharma, *JASTE*, **2016**, 7 (1), 42-51.
- [18] M. Weinstein, *JASTE* **2016** 7(1), 63-72.
- [19] T. C. Hytten & K. Stenmagen, *Educ. Stud.* **2020**, 568(1), 18-36.
- [20] M. A. Takeuchi, P. Sengupta, M.C. Shanahan, J. D. Adams, M. Hachem, *Stud. Sci. Educ.* **2020**, 56(2), 213-253.
- [21] L. Parker, *Can. J. Educ. Adm. Policy* **2017**, 183, 44-60.
- [22] L. Carter, *Can. J. Sci. Math. Tech. Educ.* **2017**, 17, 247-257.
- [23] M. Henrekson y J. Wennström, *J. Institutional Econ.* **2019**, 15, 897-914;
- [24] M. Weinstein, D. Blades, S. C. Gleason, *Can. J. Sci. Math. Tech. Educ.* **2016**, 16(2), 201-212.
- [25] S. Blackley, J. Howell, *Aust. J. Teach. Educ.* **2015**, 40(7), 102-112.
- [26] D.L. Zeidler, *Cult. Stud. Sci. Educ.* **2016**, 11, 11-26.
- [27] A. P. Carnevale, N. Smith, M. Melton, *STEM: Science, technology, engineering & mathematics*. Washington: Center on Education and the Workforce. 2011.
- [28] L. Zhang, *Sci. & Educ.* **2016**, 25, 897-915.
- [29] a) J. Dewey, *How we think*. Boston: Heath. 1910; b) J. Dewey, *Science* **1910**, 31(787), 121-127; c) J. Dewey, *Sci. Educ.* **1916**, 1, 3-9; d) J. Dewey, *Experience and education*. New York: Simon and Schuster. 1938.
- [30] W. H. Kilpatrick, *Teachers College Record* **1918**, 19(4), 319-335.
- [31] a) J. Torres, *Revista de Educación* **1987**, 282, 103-130; b) J. Torres, *Cuadernos de Pedagogía* **1989**, 172, 10-13.
- [32] a) Hurd, P. D. *Educ. Leadersh.* **1991** 49(2), 33-35;. b) M. Roth, *Sch. Sci. Math.* **1993**, 93(3), 113-122; c) M. Gibbons, et al., *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*. Thousand Oaks, CA: Sage. 1994.
- [33] F. Waldow, *Prospects* **2015**, 45, 49-62
- [34] E. D. Hirsch, *Why Knowledge Matters: Rescuing Our Children from Failed Educational Theories*, Cambridge: Harvard Education Press. 2016.
- [35] J.M. Breiner, S.S. Harkness, C.C. Johnson, C.M. Koehler, *Sch. Sci. Math.* **2012**, 112(1), 3-11.
- [36] V. L. Akerson, A. Burgess, A. Gerber, M. Guo, T. A. Khan, S. Newman, *J. Sci. Teacher Educ.* **2018**, 29(1), 1-8.
- [37] N. Diana et al., *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, 1806 012219.
- [38] T. Martín-Páez, D. Aguilera, F.J. Perales-Palacios, J.M. Vilchez-González, *Sci. Educ.* **2019**, 103(4), 799-822.
- [39] A. García-Carmona, *Ápice. Revista de Educación Científica* **2020**, 4(2), 35-50.
- [40] a) R. B. Toma, A. García-Carmona, *Ens. Cien.* **2021**, 39(1), 65-80; b) Y. Li, K. Wang, Y. Xiao, J. E. Froyd, *Int. J. STEM Educ.* **2020**, 7, 11.
- [41] L. English, *Int. J. STEM Educ.* **2016**, 3(3), 1-8.
- [42] L. Thibaut, S. Ceuppens, H. De Loof, J. De Meester et al., *Eur. J. STEM Educ.* **2018**, 3(1), 1-12.
- [43] V. Wong, J. Dillon, H. King, *Int. J. Sci. Educ.* **2016**, 38(15), 2346-2366,
- [44] E.A. Dare, E.A. Ring y G.H. Roehrig, *Int. J. Sci. Educ.* **2019**, 41(12), 1701-1720.
- [45] S. Mejias, et al., *Sci. Educ.* **2021**, 105(2), 209-231.
- [46] D. White y S. Delaney, *LUMAT Int. J. Math. Sci. Technol. Educ.* **2021**, 9(2), 9-32.
- [47] N. G. Lederman, J. S. Lederman, *J. Sci. Teacher Educ.* **2013**, 24(8), 1237-1240.
- [48] a) J. L. Martin. *Secondary mathematics education in the age of STEM: Tensions and possibilities for policy and practice in NSW*. PhD Thesis. University of Technology Sydney Faculty of Arts and Social Science. 2021; b) J. Woodard, *American Affairs* **2019** III (3).
- [49] J. Pleasants, *Sci. & Educ.* **2020**, 29(4), 831-855.
- [50] J. Pleasants, J. K. Olson, *Sci. Educ.* **2019**, 103, 145-166.
- [51] N. G. Lederman, M. L. Niess, *Sch. Sci. Math.* **1997**, 97(2), 57-58.
- [52] G. Pearson, *J. Educ. Res.* **2017**, 110(3), 224-226.
- [53] K. Stinson, S. Harkness, H. Meyer, J. Stallworth, *Sch. Sci. Math.* **2009**, 109(3), 153-161.

- [54] A. Hasni, Y. Lenoir, F. Alessandra, *Issues in Interdisciplinary Studies* **2015**, 33, 144–180.
- [55] T. C. Mason, *J. Teach. Educ.* **1996**, 47(4), 263–270.
- [56] B. M. Reynante, M. E. Selbach-Allen, D. R. Pimentel, *Sci. & Educ.* **2020**, 29(4), 785–803.
- [57] K. J. Roth, *Am. Educator* **1994**, 18(1), 44–48.
- [58] J. Quílez, *Stud. Sci. Educ.* **2019**, 55(2), 121–167.
- [59] C. M. Czerniak, C. C. Johnson. En N. G. Lederman, S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (2nd ed., pp. 395–412). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2014.
- [60] P. Shekhar, M. Borrego, M. DeMonbrun, C. Finelli, C. Crockett, K. Nguyen, *J. Coll. Sci. Teach.* **2020**, 49(6), 45–54.
- [61] J. Brown, *J. STEM Educ.* **2012**, 13(5), 7–11.
- [62] a) C. M. Czerniak, W. B. Weber, A. Sandmann, J. Ahern, *Sch. Sci. Math.* **1999**, 99(8), 421–430; b) C. M. Czerniak, En K. S. Abell, N. G. Lederman & (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 537–560). Routledge: New York. 2007.
- [63] N. H. D. Huri, M. Karpudewan, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2019**, 20(3), 495–508.
- [64] A. A. Yaki, R. M. Saat, R. V. Sathasivam, H. Zulnaidi, *Malay. J. Learn. Instr.* **2019**, 16(1), 181–205.
- [65] a) K. C. Margot, T. Kettler, *I. J. STEM Educ.* **2019**, 6(2), 1–16; b) J.M. Diego-Mantecon, T. Prodromou, Z.Laviczka, et al., *ZDM Math. Educ.* **2021**, 53, 1137–1148.
- [66] a) L. Darling-Hammond, *Educ. Policy Anal. Arch.* **2000** 8(1); b) J. A. C. Hattie, *Visible learning: A synthesis of 800+ meta-analyses on achievement*. Routledge. 2009.
- [67] a) L. Hobbs, G. Törner *Examining the Phenomenon of “Teaching Out-of-field”*. Springer: Singapore. 2019; b) L. Shah, C. Jannuzzo, T. Hassan, B. Gadidov, H.E. Ray, G.T. Rushton, *PLoS ONE* **2019**, 14(9), e0223186; c) J. A. Luft, D. Hanuscin, L. Hobbs, G. Törner, *J. Sci. Teacher Educ.* **2020**, 31(7), 719–724.
- [68] a) M. Ratcliffe, R. Millar, *J. Res. Sci. Teach.* **2009**, 46, 946–959; b) R.B. Toma, I. M. Greca, *Eur. J. Math. Sci. Tech. Educ.* **2018**, 14(4), 1383–1395.
- [69] a) K. J. Schoon, W. J. Boone, *Sci. Educ.* **1998**, 82, 553–568; b) A. Antink-Meyer, D. Z. Meyer, *J. Sci. Teacher Educ.* **2016**, 27(6), 625–647.
- [70] a) L. S. Shulman, *Educ. Res.* **1986**, 15(2), 4–14; b) L. S. Shulman, *Harv. Educ. Rev.* **1987**, 57(1), 1–23; c) J.H. van Driel, N. Verlop, W. De Vos, *J. Res. Sci. Teach.* **1998**, 35(6), 673–695.
- [71] a) S. S. Guzey, M. Harwell y T. Moore, *Sch. Sci. Math.* **2014** 114(6), 271–279; b) A. E. Du Plessis, *Res. Sci. Educ.* **2020**, 50(4), 1465–1499.
- [72] H. El-Deghaidy, N. Mansour, M. Alzaghibi, K. Alhammad, *Eurasia J. Math. Sci.* **2017**, 13(6), 2459–2484.
- [73] a) J. Wallace, W. Louden, *Dilemmas of science teaching: Perspectives on problems of practice*. London: Routledge Falmer. 2002; b) J. P. Van Overschelde, A. Piatt, *REPAM*, **2020**, 2(1), 1–22.
- [74] a) R. E. Mayer, *Am. Psychol.* **2004**, 59(1), 14–19; b) P. A. Kirschner, J.J.G. van Merriënboer, *Educ. Psychol.* **2013**, 48(3), 169–183.
- [75] P. A. Kirschner, J. Sweller, R. E. Clark, *Educ. Psychol.* **2006**, 41(2), 75–86.
- [76] J. Sweller, P. Ayres, S. Kalyug, *Cognitive Load Theory*. Springer: New York. 2011.
- [77] J. Sweller, *Cognitive Sci.* **1988**, 12, 257–285.
- [78] J. Sweller, R. Mawer, W. Howe, *Am. J. Psychol.* **1982**, 95, 455–484.
- [79] M. M. Cooper, R. L. Stowe, *Chem. Rev.* **2018**, 118, 6053–6087.
- [80] a) J. Sweller, J. J. G. van Merriënboer, F. Paas, *Educ. Psychol. Rev.* **1998**, 10, 251–296; b) J. Sweller, J.J.G. van Merriënboer, F. Paas, *Educ. Psychol. Rev.* **2019**, 31, 261–292.
- [81] A. Tricot, J. Sweller, *Educ. Psychol. Rev.* **2014**, 26, 265–283.
- [82] L. Zhang, J. Van Reet, *Res. Sci. Educ.* **2021**.
- [83] a) J. Muller, M. Young, *High Educ.* **2014**, 67, 127–140; b) Z. Deng, *J. Curric. Stud.* **2015**, 47(6), 773–786; c) V. Millar, *Sci. & Educ.*, **2020**, 29, 929–948.
- [84] L. Wheelahan, *Br. J. Sociol. Educ.* **2007**, 28(5), 637–651.
- [85] a) I. Willbergh, *J. Curric. Stud.* **2015**, 47(3), 334–354; b) I. Willbergh, *Nordic Journal of Pedagogy & Critique* **2016**, 2, 111–124.
- [86] B. Barrett, J. Hordern, *J. Curric. Stud.* **2021**, 53(2), 153–165.
- [87] a) L. Wheelahan, *Why Knowledge Matters in Curriculum: A Social Realist Argument*, London: Routledge. 2010; b) J. Beck, *Camb. J. Educ.* **2013**, 43(2), 177–193.
- [88] G. McPhail, *J. Curric. Stud.* **2021**, 53(4), 420–434.
- [89] M. Young, *J. Curric. Stud.* **2013**, 45(2), 101–118.
- [90] a) C. Winch, A. Oancea, J. Orchard, *Oxf. Rev. Educ.* **2015**, 41(2), 202–216; b) J. Hordern, M. T. Taito, *Oxf. Rev. Educ.* **2018**, 44(6), 686–701.
- [91] M. Young, *J. Educ. Work* **2009**, 22, 193–204.
- [92] M. Young, J. Muller, *Rev. Educ.* **2013**, 1(3), 229–250.
- [93] a) M. Young, J. Muller, *Eur. J. Educ.* **2010**, 45(1), 11–27; b) L. Wheelahan, G. Moodie, J. Doughney, *Br. J. Soc. Educ.* **2022**, 42(3), 475–494.
- [94] J. Muller, M. Young, *Curric.* **2019**, 30(2), 196–214.
- [95] a) M. Young, *Rev. Res. Educ.* **2008**, 32, 1–28; b) N. Gericke, B. Hudson, C. Olin-Scheller, M. Stolare, *Lond. Rev. Educ.* **2018**, 16(3), 428–444; c) Z. Deng, *Br. Educ. Res. J.* **2021**, 47, 1652–1674.