



Integración de la ingeniería en la educación científico-tecnológica desde un prisma CTS

Integration of Engineering in Science and Technology Education from an STS Perspective

Antonio García-Carmona

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, España.
garcia-carmona@us.es • <https://orcid.org/0000-0001-5952-0340>

RESUMEN • Presentamos un análisis crítico sobre la integración de la ingeniería en propuestas curriculares del ámbito científico-tecnológico, auspiciada por el movimiento educativo STEM. Para ello, revisamos las principales perspectivas y planteamientos que se están haciendo al respecto. A continuación, analizamos qué novedad supone introducir explícitamente la ingeniería en el tradicional currículo de tecnología en España. Luego, examinamos bibliografía relevante sobre el tema para determinar qué relaciones podrían establecerse entre la tecnología y la ingeniería. Finalmente, hacemos una propuesta de conceptualización de estas dos disciplinas, incluyendo sus relaciones con la ciencia, que sintoniza con el marco de la educación CTS, y que puede servir de referente en diseños didácticos de integración curricular para el ámbito científico-tecnológico.

PALABRAS CLAVE: Ámbito científico-tecnológico; Educación CTS; Educación STEM; Ingeniería; Tecnología.

ABSTRACT • We present a critical analysis of the integration of engineering in curricular proposals for science and technology education, sponsored by the STEM educational movement. To this end, we revise the main perspectives and approaches considered in this regard. Next, we analyse what novelty it means to explicitly introduce engineering into the traditional curriculum for technology education in Spain. Then, we review relevant literature on the topic to determine which relationships could be established between technology and engineering. Finally, we make a proposal for the conceptualization of these two disciplines, including their relationships with science, which is in line with the educational framework of STS and can serve as a benchmark in didactic designs for curricular integration in science and technology education.

KEYWORDS: Scientific-technological domain; STS education; STEM education; Engineering; Technology.

Recepción: enero 2022 • Aceptación: octubre 2022 • Publicación: marzo 2023

Si la actividad de diseño está muy valorada en el discurso, la ingeniería en la práctica incluye también y sobre todo actividades menos prestigiosas que, sin embargo, son decisivas [...]: mantenimiento, planificación, organización y respuestas a imprevistos.

(Vinck, 2014, p. 235, traducción propia)

INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores hemos analizado la llegada del movimiento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) a nuestro contexto educativo (García-Carmona, 2020a; Toma y García-Carmona, 2021). Concluimos que su acogida se está haciendo de forma acrítica y mediante una política de *hechos consumados* que, previsiblemente, no favorecerá la implantación generalizada y efectiva de un enfoque STEM¹ auténtico en las aulas. Para sostener esto, esgrimimos argumentos epistemológicos, ontológicos, didácticos, curriculares y basados en resultados de investigación; los cuales no vamos a reproducir aquí por razones de espacio, pero podríamos sintetizarlos diciendo que, en el impulso de la educación STEM, parece obviarse que *no es posible tener leche de vaca sin vacas*².

El problema es que esa acogida acrítica está propiciando que muchas propuestas educativas sean etiquetadas como STEM por el mero hecho de ser –continuando con la metáfora– «líquidos blanquecinos»; lo que no hace más que desvirtuar este enfoque. Si bien no vamos a detenernos tampoco en señalar los motivos y las consecuencias de ello en el ámbito de la educación científico-tecnológica (García-Carmona, 2020a). Asumimos que STEM es un movimiento educativo de enorme influencia cuyos designios, aunque controvertidos, han venido para quedarse. Tanto es así que el nuevo currículo para la educación básica establece la *competencia STEM* como una de las ocho competencias clave (Real Decreto 217/2022). De modo que ello obliga a seguir profundizando en el análisis de aquellos aspectos más peliagudos de la educación STEM, con vistas a dilucidar cómo podría bosquejarse su implementación en las aulas apropiadamente.

Uno de esos aspectos es la atención explícita a la *ingeniería* en la educación científico-tecnológica, y más concretamente a las *prácticas* que desempeñan las personas dedicadas a esta disciplina (National Research Council [NRC], 2012). La ingeniería se añade a la *tecnología*, una disciplina cercana a ella desde un punto de vista epistemológico y ontológico, que constituye un área curricular con gran tradición en la mayoría de los sistemas educativos del mundo (De Vries, 2018). Y sucede que los intentos de integrar la ingeniería con la tecnología en propuestas educativas STEM, tratando de visibilizar cada una de ellas, suelen tener como resultado aproximaciones bastante limitadas de ambas; pero, sobre todo, de la tecnología. Efectivamente, se manejan conceptualizaciones *reduccionistas* que confieren a la tecnología un estatus de cierta inferioridad con respecto a la ingeniería. Recuerda a lo que ya sucediera entre la ciencia y la tecnología en determinadas interpretaciones de la educación CTS (*Ciencia-Tecnología-Sociedad*), donde la tecnología era reducida a «ciencia aplicada» (Acevedo-Díaz, 1998; Buch, 2003). Una concepción que, además de errónea (Bunge, 2016), inducía a pensar en la tecnología como una disciplina subordinada o subsumida en la ciencia (Layton, 1988).

Pese a la importancia del tema, consideramos que no está siendo objeto de suficiente discusión en el ámbito de la educación científico-tecnológica. Pero ¿es apropiado admitir concepciones simplistas de la tecnología en propuestas curriculares donde se integra con la ingeniería? ¿Qué planteamientos suscitan esa simplificación conceptual de la tecnología con respecto a la ingeniería? Asimismo, ¿cuál es realmente la nueva aportación de la ingeniería al tradicional ámbito curricular científico-tecnológico? Por otra par-

1. Integración de varias de las materias curriculares que componen el acrónimo en una misma situación de aprendizaje.
2. Metáfora usada por Mario Bunge en su crítica al utilitarismo de los economistas neoclásicos y estadistas «miopes» sobre el peligro que enfrenta la tecnología, si no se apoya a las ciencias básicas (Raynaud, 2018, p. 14).

te, si la tecnología y la ingeniería deben visibilizarse en propuestas de integración curricular del ámbito científico-tecnológico, ¿qué aspectos y relaciones entre ciencia, tecnología e ingeniería podrían manejarse? La finalidad de este artículo es ofrecer algunas respuestas a estas preguntas, sin duda, complejas, apoyándonos para ello en planteamientos y perspectivas concordantes con marcos teóricos del enfoque CTS.

OBSTÁCULOS PARA LA INTEGRACIÓN DIDÁCTICA ENTRE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Tradicionalmente, la integración de la tecnología en la educación científica ha sido un asunto espinoso de resolver (Acevedo-Díaz, 1998; Layton, 1988; Maiztegui et al., 2002). Sin embargo, con el movimiento educativo STEM no solo no se ha avanzado en este propósito (García-Carmona, 2020a; Pleasants et al., 2019), sino que se ha complicado aún más por el agregado de la *ingeniería*.

Por ejemplo, Ring-Whalen et al. (2018) analizaron el proceso de diseño de unidades de STEM integrado, en una muestra de 21 profesores de ciencias preuniversitarios estadounidenses. Encontraron que la mayoría de los profesores integraba la ingeniería con relativa facilidad, mediante procesos de diseño ingenieril usados como contextos para el aprendizaje de contenidos de ciencias. En cambio, la tecnología supuso para algunos profesores una *pieza misteriosa* difícil de determinar y encajar en el diseño integrado de las unidades.

También se observan dificultades en el análisis de documentos educativos enmarcados en STEM. Por ejemplo, Park et al. (2020), al analizar la naturaleza de STEM en documentos curriculares de EE. UU., Corea y Taiwán, decidieron considerar la ingeniería y la tecnología como un único campo, argumentando que la línea entre ellas es *fluida*. Similarmente, Daugherty et al. (2014) se refieren a la tecnología y la ingeniería como un todo indisoluble con la expresión «educación en tecnología e ingeniería», al reflexionar sobre el papel de estas en la educación STEM. Kim y Song (2021) hacen algo parecido cuando analizan las concepciones de profesorado coreano sobre la naturaleza de la tecnología e ingeniería, usando «NOTE» (Nature of Technology and Engineering) como acrónimo unificador de ambas disciplinas.

Otros autores llegan aún más lejos y plantean prescindir directamente de una de esas dos disciplinas en el enfoque educativo STEM. Por ejemplo, McComas y Burgin (2020) proponen eliminar la «T» del acrónimo (sería «SEM», en tal caso) para favorecer su desarrollo en el aula, aduciendo la estrecha relación entre tecnología e ingeniería y –según ellos– la falta de estatus disciplinario de la tecnología frente a la ingeniería. Realmente, no entendemos este último argumento, a la vista de la bibliografía existente sobre la tecnología como disciplina académica y profesional (*e.g.*, Acevedo-Díaz, 1998; Raynaud, 2018), además de como área curricular asentada en el ámbito educativo preuniversitario de la mayoría de los países (De Vries, 2018).

Lo anterior es solo una muestra de trabajos en los que se vislumbran dificultades para distinguir entre ingeniería y tecnología. En numerosas propuestas de educación STEM, la cuestión se resuelve concibiendo la tecnología como un *recurso* o *herramienta* (generalmente, *tecnologías de la información y comunicación*, y otras *aplicaciones* software) para facilitar el desarrollo de actividades enmarcadas en este enfoque educativo (Churi et al., 2021; Dogan y Robin, 2015; Ellis et al., 2020). Si bien, esto constituye una concepción simplista y, por tanto, *distorsionada* de la tecnología (Sanders, 2009). Como se verá después, la tecnología es un campo del saber humano mucho más amplio y holístico que esa simple idea.

Otra concepción bastante extendida es la de tecnología como *producto* o *resultado* de la ingeniería (Ellis et al., 2020). Lo cuestionable no es que esta sea una de las acepciones de tecnología, sino la limitación que supone restringirla a esa sola, tratándose de toda una disciplina académica (Acevedo, 1998;

Raynaud, 2018). Es como si redujéramos la ciencia a su producto final: el conocimiento científico. Sin embargo, nadie discute que la ciencia es, a la vez, un conjunto de conocimientos, un modo de conocer y una relación de procesos/métodos (Bell, 2009), cuyo desarrollo está íntimamente ligado a las circunstancias socioculturales de cada época (García-Carmona y Acevedo, 2018).

Entonces, ¿qué puede justificar que la concepción de tecnología sea reducida al producto o el resultado de la ingeniería en propuestas educativas de integración de ambas? Ciertamente es difícil saberlo, aunque podemos apuntar dos posibles razones a modo de conjeturas. Una es la *inercia* provocada por la necesidad de dar visibilidad y protagonismo a la ingeniería (NRC, 2012) que, hasta hace muy poco, era una disciplina desatendida –al menos, explícitamente– en los planes y las propuestas curriculares del ámbito científico-tecnológico. Prueba de esto es lo que Bybee³ (2011) escribió poco antes de la publicación de los últimos estándares nacionales para la enseñanza de las ciencias en EE. UU. (NRC, 2012), con relación a la educación en ingeniería:

[...] la verdad es que el acrónimo suele referirse a la ciencia o a las matemáticas, o a ambas. Rara vez se refiere a la tecnología y casi nunca incluye la ingeniería. Aunque la nación está preocupada por la educación STEM, la «T» es solo ligeramente visible y la «E», invisible. Una gran oportunidad para los estándares de educación en ingeniería es hacer visible la «E» en la educación STEM (Bybee, 2011, p. 26; traducción propia).

De manera que, en un afán por dar mayor protagonismo a la ingeniería en la educación STEM, y dada su gran proximidad a la tecnología, muchos rasgos o elementos característicos de esta última han sido ahora atribuidos a la ingeniería (véase, por ejemplo, Quellmalz, 2015). Lo cual se ha traducido, inevitablemente, en una merma de la noción de tecnología.

La otra razón posible, aunque ligada a la anterior, es que muchas propuestas educativas para un STEM integrado sitúan la ingeniería en el centro de estas; incluso cuando la integración se hace con solo dos de las disciplinas del acrónimo (Roehrig et al., 2021). De hecho, para Quinn et al. (2020) la ingeniería es la disciplina que mejor representaría la naturaleza integrada de STEM. Por tanto, la atribución a la tecnología de un estatus más desarrollado y ontológicamente similar al de la ingeniería supondría una *amenaza* para los cimientos de este marco de educación STEM. Sin embargo, la propuesta de *centralidad* de la ingeniería, en la integración disciplinar auspiciada por la educación STEM, genera dudas más que razonables en contextos educativos donde el ámbito curricular científico-tecnológico está conformado por materias de ciencias, matemáticas y tecnología; pero ninguna bajo la denominación de ingeniería.

QUÉ APORTA LA INGENIERÍA AL TRADICIONAL ÁMBITO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO

La propuesta más conocida sobre la integración de la ingeniería en la educación científico-tecnológica es la establecida en el documento estadounidense *A Framework for K-12 Science Education* (NRC, 2012). Esta se concreta en que los estudiantes participen en las *prácticas de ingeniería* enumeradas en la tabla 1. No obstante, según esta propuesta, solo las prácticas 1 (*Definir problemas*) y 6 (*Diseñar soluciones*) son consideradas exclusivas de la ingeniería; las restantes se asumen indistintamente como prácticas de la ciencia y de la ingeniería, aunque luego esas prácticas se matizan para cada una de estas disciplinas. Además, las prácticas sugeridas en este documento poseen un marcado cariz *epistémico*, des-cuidándose así la *vertiente sociológica* de la actividad científico-tecnológica (García-Carmona, 2021b).

3. Conviene saber que Rodger Bybee fue uno de los académicos que lideraron la elaboración del documento *A Framework for K-12 Science Education* (NRC, 2012).

Tabla 1.
Prácticas de ingeniería propuestas en el documento
A Framework for K-12 Science Education
(NRC, 2012, p. 3; traducción propia)

-
1. Definir problemas
 2. Desarrollar y usar modelos
 3. Planificar y realizar investigaciones
 4. Analizar e interpretar datos
 5. Usar pensamiento matemático y computacional
 6. Diseñar soluciones
 7. Participar en la argumentación a partir de pruebas
 8. Obtener, evaluar y comunicar información
-

En el contexto educativo español, el área curricular de tecnología se implantó a principios de los noventa con la LOGSE⁴. Ya entonces, muchas de las prácticas de ingeniería, antes citadas, se contemplaban de alguna manera en los objetivos generales de esta área (Real Decreto 1007/1991), solo que no eran etiquetadas como *prácticas*, sino como *capacidades* que desarrollar por el alumnado. Se hacía referencia, por ejemplo, a abordar problemas tecnológicos; diseñar y construir objetos; planificar proyectos; comunicar ideas y decisiones adoptadas; evaluar la idoneidad de los diseños desde diferentes puntos de vista; etc. Incluso se iba más lejos en determinados aspectos, con una atención expresa a la creatividad, organización, idoneidad, viabilidad, funcionalidad y gestión de recursos. Asimismo, se incluía la *dimensión sociológica* del desarrollo científico-tecnológico. Lo único que no hacía esta propuesta curricular era mencionar explícitamente la ingeniería. Todo esto puede comprobarse en la tabla 2.

Con la LOGSE se dio impulso también a la idea de *currículo integrado* y la *organización curricular en ámbitos* (García Rubio, 2018), que sugiere, entre otras, la posibilidad de integrar las áreas de ciencias, matemáticas y tecnología en un ámbito comúnmente llamado *científico-tecnológico*. En la propia propuesta de objetivos para el área de tecnología (tabla 2) se hace mención a ello (véase el objetivo 5).

4. Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo.

Tabla 2.
Objetivos generales para el área de tecnología
en el marco de la LOGSE (Real Decreto 1007/1991, Anexo I, pp. 74-75)

1. **Abordar con autonomía y creatividad problemas tecnológicos sencillos trabajando de forma ordenada y metódica para estudiar el problema, seleccionar y elaborar la documentación pertinente, concebir, diseñar y construir objetos o mecanismos que faciliten la resolución del problema estudiado y evaluar su idoneidad desde diversos puntos de vista.**
2. Analizar objetos y sistemas para **comprender** su funcionamiento, **la mejor forma de usarlos y controlarlos y las razones que han intervenido en las decisiones tomadas en su diseño y construcción.**
3. **Planificar la ejecución de proyectos tecnológicos sencillos, anticipando los recursos materiales y humanos necesarios, seleccionando y elaborando la documentación necesaria para organizar y gestionar su desarrollo.**
4. **Expresar y comunicar las ideas y decisiones adoptadas en el transcurso de la realización de proyectos sencillos, así como explorar su viabilidad y alcance utilizando los recursos gráficos, la simbología y el vocabulario adecuado.**
5. **Utilizar en la realización de proyectos tecnológicos sencillos los conceptos y habilidades adquiridos en otras áreas, valorando su funcionalidad y multiplicidad de perspectivas y saberes que convergen en la satisfacción de las necesidades humanas.**
6. *Mantener una actitud de indagación y curiosidad hacia los elementos y problemas tecnológicos, analizando y valorando los efectos positivos y negativos de las aplicaciones de la ciencia y de la tecnología en la calidad de vida y su influencia en los valores morales y culturales vigentes.*
7. Valorar la **importancia de trabajar como miembro de un equipo en la resolución de problemas tecnológicos**, asumiendo sus responsabilidades individuales en la ejecución de las tareas encomendadas con actitud de cooperación, tolerancia y solidaridad.
8. *Analizar y valorar críticamente el impacto del desarrollo científico y tecnológico en la evolución social y técnica del trabajo, así como en la organización del tiempo libre y en las actividades de ocio.*
9. *Analizar y valorar críticamente los efectos que sobre la salud y seguridad personal y colectiva tiene el respeto de las normas de seguridad e higiene, contribuyendo activamente al orden y a la consecución de un ambiente agradable en su entorno.*
10. *Valorar los sentimientos de satisfacción y disfrute producidos por la habilidad para resolver problemas que le permiten perseverar en el esfuerzo, superar las dificultades propias del proceso y contribuir, de este modo, al bienestar personal y colectivo.*

* Nota: Se resalta en **negrita** aquello que puede relacionarse con las prácticas de ingeniería, y en *cursiva*, lo relativo a la sociología de la tecnología.

Tres lustros después, se pondría en marcha la LOE⁵, en cuyas disposiciones curriculares (Real Decreto 1631/2006) se establecían prácticamente los mismos objetivos para el área de tecnología que en la LOGSE, por lo que no los vamos a reproducir⁶. Años más tarde entraría en vigor otra reforma curricular (Real Decreto 1105/2014) tras la puesta en marcha de la LOMCE⁷. Esta reforma del currículo no proponía objetivos generales para las materias, sino estándares de aprendizaje ligados a los distintos bloques de contenidos. Al revisar, por ejemplo, estos estándares en la concreción de la LOMCE para la Comunidad Autónoma de Andalucía (Orden de 14 de julio de 2016), se halla que la materia de tecnología para la ESO conservaba gran parte de los objetivos establecidos en las leyes precedentes. Asimismo, incorporaba el *Diseño Asistido por Ordenador* como una de las novedades más destacables.

5. Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.

6. Con la LOE se introdujeron las *competencias básicas*; entre ellas, la *competencia matemática* y la *competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico*, que integraba tímidamente la tecnología. A partir de la LOMCE, la *competencia matemática* y *competencias básicas en ciencia y tecnología* constituyen un solo bloque competencial.

7. Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa.

LA INGENIERÍA EN EL MARCO DE LA LOMLOE

No ha sido hasta la actual reforma curricular (Real Decreto 217/2022), derivada de la implantación de la LOMLOE⁸, cuando se ha empezado a hablar de *ingeniería*. Aunque su introducción es bastante general y parca. En la descripción de *la competencia STEM* se dice:

La competencia en matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería (competencia STEM por sus siglas en inglés) entraña la comprensión del mundo utilizando los métodos científicos, el pensamiento y representación matemáticos, la tecnología y los métodos de la ingeniería para transformar el entorno de forma comprometida, responsable y sostenible (Real Decreto 217/2022, p. 41.598).

No sabemos a qué se refiere el currículo con *los métodos de la ingeniería*. Asimismo, no se hace mención alguna a la ingeniería en los cinco descriptores operativos de la competencia STEM (Real Decreto 217/2022, pp. 41.599-41.600), solo a conocimientos y procedimientos/métodos científicos, matemáticos y tecnológicos. No obstante, resulta llamativo encontrar en el currículo de Biología y Geología, como algo aislado en la amplia prescripción de las materias del ámbito científico-tecnológico, el indicador competencial siguiente: «Analizar y explicar fenómenos biológicos y geológicos representándolos mediante modelos y diagramas, utilizando, cuando sea necesario, los pasos del diseño de ingeniería (identificación del problema, exploración, diseño, creación, evaluación y mejora)» (Real Decreto 217/2022, pp. 41.610 y 41.613). En nuestra opinión, es una mención forzada y poco precisa de la ingeniería. En primer lugar, porque es debatible que esos *pasos* sean propios o exclusivos de la ingeniería. Debería haberse concretado cuál es la naturaleza del *problema*, y especificar qué se *diseña*, ya que en ciencias experimentales y en matemáticas también se resuelven *problemas* y se *diseñan* investigaciones. En segundo lugar, porque no se aclara en qué fases de una investigación científica pueden aplicarse los pasos del diseño ingenieril, teniendo en cuenta que la finalidad de la ciencia no es fabricar *artefactos*, sino generar *conocimiento* sobre la naturaleza (el indicador competencial se refiere a *analizar y explicar fenómenos biológicos y geológicos*).

Poco más adelante, dentro de la descripción de la competencia STEM, se lee lo siguiente: «La competencia en tecnología e ingeniería comprende la aplicación de los conocimientos y metodologías propios de las ciencias para transformar nuestra sociedad» (Real Decreto 217/2022, p. 41.599). Con lo cual, el currículo transmite la idea de que la tecnología y la ingeniería consisten en *aplicar* conocimientos y prácticas de la ciencia. Esto, de algún modo, fomenta –y lamentablemente perpetúa– la idea ingenua de tecnología (ahora incluyendo a la ingeniería) como «ciencia aplicada».

Por lo demás, las disposiciones curriculares enmarcadas en la LOMLOE retoman muchos de los objetivos del área de tecnología, propuestos en las enseñanzas mínimas reguladas en las leyes anteriores. Asimismo, entre los aspectos más novedosos se incluyen saberes básicos relativos a: *pensamiento computacional* (mencionado también en las materias de biología y geología, y matemáticas), *inteligencia artificial*, *ingeniería de datos*, *automatización* y *robótica*. Su inclusión supone, sin duda, una actualización del área de tecnología. Si bien ello no es una consecuencia atribuible a influencias del movimiento educativo STEM. Como se ha visto, el área de tecnología, en España, se ha caracterizado por ir incorporando los últimos avances científico-tecnológicos a lo largo de las sucesivas reformas educativas.

Finalmente, criticamos con pesar que el nuevo currículo desatienda la comprensión de aspectos básicos sobre la *naturaleza de la ingeniería y de la tecnología*. Como ya se viene insistiendo, la simple participación en prácticas científicas y de ingeniería (o de tecnología, si se prefiere) no implica que se comprenda para qué son importantes estas prácticas, qué aportan en la construcción de conocimientos y productos tecnológicos, cuáles son sus limitaciones y cuándo son pertinentes desempeñarlas, entre

8. Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.

otras cuestiones (García-Carmona, 2020b, 2021b; Pleasants y Olson, 2019). Este *metaconocimiento* resulta, además, imprescindible para promover integraciones curriculares apropiadas y significativas de dichas disciplinas (García-Carmona, 2020a). De modo que esto debería estar claramente establecido en el currículo, no solo como sugerencias dirigidas a los educadores y diseñadores de propuestas didácticas, sino también como meta de aprendizaje para el alumnado.

En síntesis, (1) la ingeniería no es mínima ni adecuadamente conceptualizada en el nuevo currículo para la educación científico-tecnológica básica en España, y su mención llega a ser casi *anecdótica*; (2) la adopción de la perspectiva STEM no aporta nada sustancialmente novedoso –para bien o para mal– a la tradición curricular de la educación científico-tecnológica de este país; y (3) la comprensión de la *naturaleza* de las disciplinas que comprenden STEM, esencial para dar sentido a este enfoque educativo, no es considerada explícitamente en el currículo, más allá de algunas referencias a la naturaleza de la ciencia (García-Carmona, 2022).

QUÉ ENTENDEMOS POR TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

Acabamos de decir que una comprensión básica de la naturaleza de las disciplinas, que se desean transponer didácticamente para su uso escolar, debería ser tenida en cuenta por los educadores y diseñadores de currículos. Sin embargo, observamos que, en buena parte de las propuestas educativas STEM, la tecnología es reducida a *artefacto* (García-Carmona, 2020a) y la ingeniería a la *práctica de diseño* (Antink-Meyer y Brown, 2019; Cunningham y Carlsen, 2014). Por tanto, la naturaleza de ambos campos queda desvirtuada. En cuanto a la tecnología, porque también debería incluir, entre otros muchos aspectos, los conocimientos propios y procesos sistemáticos que aplica en la resolución de problemas (Acevedo-Díaz, 1998; Cullen y Guo, 2020; García-Carmona, 2021a). Y con respecto a la ingeniería, porque se obvian otras prácticas como el mantenimiento de sistemas sociotécnicos, la organización o la respuesta a imprevistos, que están entre las actividades más habituales de los ingenieros e ingenieras (Vinck, 2014).

Asimismo, algunos autores (*e.g.*, Pleasants y Olson, 2019) critican la desatención a una cuestión clave para lograr un enfoque educativo STEM auténtico: la relación de la ingeniería con la ciencia. Nosotros añadimos que este enfoque tampoco aborda adecuadamente la relación entre tecnología e ingeniería; o entre ciencia y tecnología, que sí ha sido profusamente conceptualizada en la educación CTS (*e.g.*, Acevedo-Díaz, 1998, 2006; Acevedo-Díaz et al., 2003; Buch, 2003).

En un estudio orientado a determinar los rasgos de la *naturaleza de la ingeniería*, Pleasants y Olson (2019) se quejan del poco interés que esta recibe en la educación STEM; y, por tanto, de la falta de un debate serio en torno al constructo de *ingeniería*. Aunque la naturaleza de la tecnología no ha sido tan desarrollada como la naturaleza de la ciencia, sí ha recibido más atención que la referente a la ingeniería durante las últimas décadas (*e.g.*, Acevedo-Díaz, 1998; Pleasants et al., 2019). Entre otras razones, porque, a diferencia de la ingeniería, la tecnología es una materia escolar con tradición en la educación preuniversitaria. Asimismo, los planteamientos de la educación CTS, cuyo origen es muy anterior al enfoque STEM, sugieren atender explícitamente a la tecnología en sus relaciones con la ciencia y la sociedad (Acevedo-Díaz et al., 2003; Buch, 2003; Layton, 1988).

Pleasants y Olson (2019) hacen un trabajo extraordinario para desentrañar los rasgos característicos de la ingeniería, incluyendo la relación que guarda con la ciencia, a fin de favorecer su integración en el ámbito escolar. Sin embargo, no se ocupan de las relaciones entre ingeniería y tecnología. Los rasgos o dimensiones que estos autores proponen para conceptualizar la naturaleza de la ingeniería se compendian en la tabla 3.

Tabla 3.
Dimensiones para conceptualizar la naturaleza
de la ingeniería, según Pleasants y Olson
(2019, p. 154; traducción propia)

1. Diseño en ingeniería
2. Especificaciones, limitaciones y objetivos
3. Recursos de conocimientos de ingeniería
4. Producción de conocimiento en ingeniería
5. Alcance de la ingeniería
6. Modelos de los procesos de diseño
7. Integración cultural de la ingeniería
8. Cultura interna de la ingeniería
9. Ingeniería y ciencia

Hace cerca de cuatro décadas, al tratar de clarificar el significado de tecnología en los estudios sobre CTS, Kline (1985) proponía las siguientes acepciones: *(i)* conjunto de productos artificiales fabricados por las personas (herramientas, instrumentos, máquinas, artefactos y todo tipo de sistemas); *(ii)* conocimientos, metodologías y destrezas necesarias para poder diseñar y realizar tareas productivas (*know-how*); *(iii)* recursos humanos y materiales del sistema sociotécnico de producción; y *(iv)* sistema sociotécnico necesario para el uso y mantenimiento de los productos fabricados, incluyendo los aspectos legales. De acuerdo con las dimensiones de Pleasants y Olson (2019) para la naturaleza de la ingeniería, puede decirse que la noción de tecnología propuesta por Kline integra muchos de los aspectos que ahora se atribuyen a la ingeniería.

En 1990, la American Association for the Advancement of Science [AAAS] publicaba el emblemático libro *Science for all Americans (Project 2061)*, que dedica un capítulo a la naturaleza de la tecnología. En este capítulo puede leerse: «La tecnología [...] es una empresa social compleja que incluye no solamente la investigación, el diseño y las artes, sino también las finanzas, la fabricación, la administración, el trabajo, la comercialización y el mantenimiento en el mundo actual» (AAAS, 1990, versión española *online* no paginada). A continuación, se dice que «La ingeniería es el componente de la tecnología que está ligado de manera más estrecha con la investigación científica y los modelos matemáticos. [...] consiste en el análisis de un problema y en el diseño de su solución» (AAAS, 1990, versión española *online* no paginada). Por tanto, en este marco didáctico la ingeniería es entendida como parte de la tecnología.

En un trabajo pionero para diferenciar entre ciencia y tecnología, Acevedo-Díaz (1998) analiza en profundidad la práctica tecnológica en sus dimensiones *técnica, organizativa e ideológico-cultural*. Concluye que la tecnología es un campo del saber humano complejo y holístico, que abarca: (1) productos y herramientas tecnológicas; (2) un conjunto de conocimientos, técnicas y métodos, incluyendo los sistemas organizativos y de desarrollo; y (3) todo lo que deriva de su sociología (economía, mercado, industria, consumo, política, ética, etc.). Por tanto, se trata de una visión multifacética de la tecnología, alineada con los dos marcos conceptuales anteriores, pero sin mencionar la ingeniería. Acevedo-Díaz cita a los *ingenieros* solamente para hacer referencia a profesionales que integran la *comunidad de tecnólogos*.

Waight y Abd-El-Khalick (2012) se posicionan en una perspectiva similar a la de Acevedo-Díaz, y sugieren las siguientes dimensiones de la naturaleza de la tecnología para fines educativos: *(i)* contexto cultural y papel de los valores en la tecnología, *(ii)* progreso tecnológico, *(iii)* tecnología como parte de sistemas, *(iv)* difusión tecnológica, *(v)* tecnología como solución y *(vi)* experticia tecnológica. Estos autores tampoco se ocupan explícitamente de la ingeniería en su conceptualización de tecnología, aunque puede decirse que las prácticas de ingeniería están incluidas, si se consideran los marcos de NRC (2012) y Pleasants y Olson (2019) para esta última.

Más recientemente, en un tratado extenso sobre el significado de tecnología, Raynaud (2018) se refiere a la *ingeniería* como la parte de la tecnología que produce *artefactos*. Y añade: «hay que distinguir la ingeniería de la tecnología a fin de no restringir el campo de la tecnología solo a las tecnologías productivas» (p. 36). Por tanto, la visión de Raynaud, por un lado, huye de la idea de delimitar la tecnología a sus «productos»; y, por otro, entiende la ingeniería como parte de un campo del saber más extenso y holístico, denominado *tecnología*. Esta última perspectiva, añadiendo la dimensión sociológica del desarrollo tecnológico, que Raynaud también aborda extensamente en su tratado, es la que subyace igualmente en el enfoque CTS para la educación científico-tecnológica en el ámbito iberoamericano (Acevedo-Díaz et al., 2003; Buch, 2003; Maiztegui et al., 2002).

Sin embargo, en la bibliografía hay también posiciones teóricas que asignan a la ingeniería los rasgos atribuidos normalmente a la tecnología. Por ejemplo, Quellmalz (2015) define la ingeniería como un enfoque sistemático e iterativo del diseño de objetos, procesos y sistemas para satisfacer las necesidades y los deseos humanos, mientras que la tecnología la reduce a los productos y procesos resultantes de la ingeniería. Se debe precisar, no obstante, que Quellmalz se apoya en los documentos de reforma curricular más recientes para la alfabetización científico-tecnológica en EE. UU. (e.g., National Assessment Governing Board [NAGB], 2013; NRC, 2012), los cuales plantean esa concepción preponderante de la ingeniería frente a la tecnología. Pero esto no era entendido así poco antes, en marcos curriculares para la educación ingenieril muy influyentes en ese mismo país. Por ejemplo, en el documento *Engineering in K-12 education* (NRC, 2009) se destaca que «la tecnología comprende todo el sistema de conocimientos, procesos y dispositivos que intervienen en la creación y el funcionamiento de artefactos tecnológicos, así como los propios artefactos» (p. 17; traducción propia). Es decir, que proyecta una idea de tecnología bastante más amplia que la de simple producto/resultado de la ingeniería, que sintoniza con las visiones expuestas más arriba.

Por otra parte, la concepción *aséptica* y algo *idílica* de la ingeniería, proyectada en los actuales marcos educativos estadounidenses (NAGB, 2013; NRC, 2012), ha sido también criticada por reconocidos académicos de la didáctica de las ciencias de ese mismo país. Por ejemplo, Zeidler et al. (2016) argumentan que «La imagen romántica de la ingeniería como un esfuerzo empático centrado en satisfacer las necesidades humanas, ignora que la nueva tecnología se desarrolla a menudo únicamente por motivos de beneficio empresarial» (p. 468, traducción propia). En el mismo sentido, Pleasants et al. (2019) se posicionan con una visión de la tecnología más amplia que la de simple «artefacto» (o producto de la ingeniería), y urgen a prestar atención a una perspectiva holística de la naturaleza de la tecnología⁹. Sugieren evitar los *enfoques acrílicos y superficiales* que suelen hacerse en las propuestas educativas STEM con respecto a la tecnología (Pleasants et al., 2019), y plantean promover, en cambio, una capacitación para la toma de decisiones informadas en los ámbitos personal y social. Volvemos a recordar que este ha sido uno de los intereses nucleares del movimiento educativo CTS, en relación con el desarrollo tecnológico (Buch, 2003).

ADOPCIÓN DE UN MARCO CONCEPTUAL PARA LA INTEGRACIÓN CURRICULAR DE LA TECNOLOGÍA E INGENIERÍA CON LA CIENCIA

La exposición de los trabajos anteriores, aunque extensa, no emana de una revisión sistemática de toda la bibliografía existente sobre la naturaleza de la tecnología y la ingeniería. Aunque cabe decir que esta es más bien escasa, si se compara con otras cuestiones de la didáctica de las ciencias. En cualquier caso, las aportaciones citadas son suficientemente relevantes para arrojar luz sobre las relaciones entre tecnología e ingeniería, a fin de elaborar un posible marco conceptual con propósitos educativos, al respecto.

9. Pleasants y Olson (2019) apelan a esto mismo cuando se refieren a la naturaleza de la ingeniería.

Así, la bibliografía consultada permite defender la idea de que la tecnología *no es* solo la *resultante* o la *herramienta* de la ingeniería, sino un campo del saber más amplio y complejo, que incluye conocimientos, habilidades, técnicas, procesos/métodos y un gran abanico de aspectos sociológicos relacionados con su desarrollo. De igual forma, provee un buen apoyo para considerar *la ingeniería y sus prácticas* como una parte esencial del amplio campo de la tecnología; concretamente, la parte centrada en el diseño de productos tecnológicos. Con estos mimbres teóricos, junto con lo desarrollado en un estudio anterior sobre la comprensión de nociones básicas de naturaleza de la tecnología (García-Carmona, 2021a), proponemos el marco conceptual de la tabla 4.

Tabla 4.
Conceptualización para la integración de la ingeniería
con la tecnología y sus relaciones con la ciencia en la educación científico-tecnológica

A) *La tecnología es un sistema complejo, orientado a resolver ciertos problemas de la sociedad, que integra componentes de diversa naturaleza, tales como:*

- Productos tecnológicos: Instrumentos, herramientas, máquinas, aplicaciones y artefactos.
- Recursos naturales y artificiales.
- Destrezas y habilidades técnicas (*know-how*).
- Conocimientos tecnológicos (leyes de Little, Erlang, Moore, etc.; conceptos de máquina, autómatas, optimización, funcionalidad, eficacia, etc.), científicos y matemáticos.
- Campo académico y profesional integrado por científicos/as, ingenieros/as y técnicos/as de diversa índole.
- Mantenimiento, planificación, organización y respuesta a imprevistos en el funcionamiento de sistemas sociotécnicos.
- Procesos de producción, mercado y consumo.
- Financiación.
- Valores (*e.g.*, ética, sostenibilidad, bienestar) y acuerdos sociales.
- Decisiones políticas, legales y administrativas (*e.g.*, permisos de concesión y leyes reguladoras).
- Preferencias culturales y estéticas.
- Innovación.

B) *Relaciones entre tecnología, ingeniería y ciencia*

- La *ciencia* busca explicar fenómenos de la naturaleza, mientras que la *tecnología*, mediante procesos de *ingeniería*, trata de elaborar productos (máquinas, artefactos, aplicaciones, etc.) que resuelvan problemas, o bien que satisfagan o creen necesidades sociales.
 - La *ingeniería* es la parte de la *tecnología* que diseña y produce máquinas, artefactos, aplicaciones, etc.
 - Tanto la *ciencia* como la *tecnología* y, por ende, la *ingeniería* están en permanente desarrollo.
 - La *ciencia* y la *tecnología* abordan muchos problemas comunes, siendo la contribución de ambas difícil de diferenciar en estos casos (*e.g.*, *tecnociencia*).
 - La creatividad juega un papel esencial en el desarrollo de la *ciencia* y de la *tecnología*; por tanto, también en el trabajo de *ingeniería*.
 - La *ingeniería* se basa en conocimientos de la *ciencia* (leyes, modelos, teorías, etc.) y las matemáticas, así como en otros conocimientos experienciales, no necesariamente lógico-formales, para diseñar y producir artefactos.
 - Al igual que la *ciencia*, la *ingeniería* emplea métodos de trabajo sistemáticos; no obstante, también usa métodos de ensayo y error para depurar los artefactos.
 - El *conocimiento tecnológico* tiene una finalidad práctica, mientras que el *conocimiento científico* no necesariamente.
 - Tanto la *ciencia* como la *ingeniería* generan conocimientos sobre aspectos mensurables que se validan empíricamente.
 - El *desarrollo científico* se presenta sobre todo en publicaciones (artículos, libros, etc.), y el *desarrollo tecnológico*, en patentes de modo preferente.
 - La *ciencia* y la *tecnología* requieren apoyo político y financiero en su desarrollo.
-

Lo más novedoso de la propuesta, si se compara con otras anteriores que conceptualizan las relaciones entre ciencia y tecnología (*e.g.*, Acevedo-Díaz, 1998; Acevedo-Díaz et al., 2003), es que incluye alusiones explícitas a la ingeniería; la cual se concibe como la parte de la tecnología que diseña y produce máquinas, artefactos, aplicaciones, etc. La propuesta establece, además, que la ingeniería se basa en conocimientos de la ciencia y las matemáticas, pero también en otros conocimientos experienciales, no necesariamente lógico-formales, a la hora de diseñar y producir artefactos. Asimismo, hace referencia a que la ingeniería, como la ciencia, emplea métodos de trabajo sistemáticos, aunque también aplica métodos de *ensayo y error* para hacer ajustes empíricos y depurar los diseños. En cuanto a la componente *sociológica* de la tecnología (financiación, mercado, valores, etc.) y, por ende, de la ingeniería, la propuesta incluye una perspectiva similar a la planteada en la educación CTS (Acevedo et al., 2003; Buch, 2003).

Queremos subrayar, por último, que no se trata de una propuesta para impulsar la consecución de aprendizajes declarativos, sino de un marco de *ideas clave* para tener en cuenta en diseños didácticos que propongan la integración curricular de la tecnología y la ingeniería en la ciencia. Sería una cuestión interesante abordar también cómo hacer una transposición didáctica de dicho marco para su introducción progresiva a lo largo de la educación básica. No nos hemos ocupados aquí de ello por razones de espacio.

COMENTARIOS FINALES

Echamos de menos un debate académico profundo en nuestra comunidad de didáctica de las ciencias sobre las influencias educativas que recibimos del exterior, a fin de analizar su aportación y encaje efectivo en nuestro contexto educativo. Pensamos que no se puede lograr una mejora de la educación científico-tecnológica asumiendo políticas de hechos consumados; por tanto, sin ningún tipo de crítica o discusión académica previa. La irrupción del movimiento educativo STEM, en España, apenas ha sido analizada desde la investigación didáctica y ya impregna el nuevo currículo oficial de la educación científico-tecnológica básica; por cierto, de una manera bastante mejorable, en nuestra opinión. Consecuentemente, lo menos que debemos hacer desde la didáctica de las ciencias es emprender estudios teóricos, crítico-constructivos y basados en investigaciones de aula, que ayuden a detectar y superar las limitaciones del «currículo STEM» impuesto, en aras de mejorar la educación científico-tecnológica básica del país.

En este artículo hemos analizado uno de los aspectos más complejos del movimiento educativo STEM: la integración de la *ingeniería* en el ámbito curricular científico-tecnológico. Para ello, hemos examinado críticamente las concepciones de la ingeniería que se suelen manejar en propuestas educativas STEM. También hemos determinado posibles obstáculos para la integración curricular efectiva de la ingeniería con la tecnología y la ciencia. Luego hemos discutido si ello realmente aporta algo novedoso al tradicional ámbito científico-tecnológico en España. Y, por último, hemos propuesto un marco conceptual, fundamentado en bibliografía especializada sobre el tema, para tratar de visibilizar la ingeniería en propuestas de integración curricular de dicho ámbito. Obviamente, es solo una propuesta entre otras posibles. No obstante, entendemos que el marco presentado es novedoso, y a la vez concordante con los pilares esenciales del enfoque educativo CTS, que cuenta con una larga tradición en nuestro contexto educativo, al menos, en el plano teórico. Así pues, esperamos que la propuesta sirva de referente para la discusión o el planteamiento de otras propuestas alternativas sobre el tema abordado.

DEDICATORIA

A la memoria de José Antonio Acevedo-Díaz, con quien tuve la oportunidad de departir sobre muchos de los asuntos tratados aquí.

REFERENCIAS

- Acevedo-Díaz, J. A. (1998). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 409-420. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21546>
- Acevedo-Díaz, J. A. (2006). Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 198-219. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i2.03
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, A., Manassero-Mas, M. A. y Acevedo-Romero, P. (2003). Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 353-376. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen2/REEC_2_3_9.pdf
- American Association for the Advancement of Science [AAAS] (1990). *Science for all Americans*. Oxford University Press. Versión española online disponible en: <http://www.project2061.org/esp/publications/sfaa/online/intro.htm>
- Antink-Meyer, A. y Brown, R. A. (2019). Nature of engineering knowledge. *Science & Education*, 28(3-5), 539-559. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00038-0>
- Bell, R. (2009). Teaching the nature of science: Three critical questions. En *Best practices in science education*. National Geographic School Publishing.
- Buch, T. (2003). CTS desde la perspectiva de la educación tecnológica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, 147-163. <https://doi.org/10.35362/rie320926>
- Bunge, M. (2016, 25 sept.). *Tecnología ≠ ciencia aplicada, e industria ≠ tecnología. Sinpermiso*. <https://www.sinpermiso.info/textos/tecnologia-ciencia-aplicada-e-industria-tecnologia>
- Bybee, R. W. (2011). K-12 engineering education standards: Opportunities and barriers. *Technology and Engineering Teacher*, 70(5), 21-29. <https://www.proquest.com/docview/853040699?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- Churi, P. P., Kumar, V., Kose, U. y Rao, N. T. (Eds.). (2021). *Technology and tools in engineering education: Research and innovations*. CRC Press.
- Cullen, T. A. y Guo, M. (2020). The nature of technology. En V. L. Akerson y G. A. Buck (Eds.), *Critical Questions in STEM Education* (pp. 21-32). Springer.
- Cunningham, C. M. y Carlsen, W. S. (2014). Teaching engineering practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 197-210. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9380-5>
- Daugherty, M. K., Carter, V. y Swagerty, L. (2014). Elementary STEM education: The future for technology and engineering education? *Journal of STEM Teacher Education*, 49(1), 45-55. <https://doi.org/10.30707/JSTE49.1Daugherty>
- De Vries, M. J. (2018). Technology education: An international history. En M. J. De Vries (Ed.), *Handbook of technology education* (pp. 73-84). Springer.
- Dogan, B. y Robin, B. (2015). Technology's role in STEM education and the STEM SOS model. En A. Sahin (Ed.), *A practice-based model of STEM teaching* (pp. 77-94). Sense.

- Ellis, J., Wieselmann, J., Sivaraj, R., Roehrig, G., Dare, E. y Ring-Whalen, E. (2020). Toward a productive definition of technology in science and STEM education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 20(3), 472-496. <https://citejournal.org/wp-content/uploads/2020/06/v20i3science1.pdf>
- García-Carmona, A. (2020a). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2), 35-50. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.2.6533>
- García-Carmona, A. (2020b). From inquiry-based science education to the approach based on scientific practices. *Science & Education*, 29(2), 443-463. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00108-8>
- García-Carmona, A. (2021a). Reflexiones de estudiantes de profesorado de Física y Química sobre naturaleza de la tecnología en el contexto de la controversia Tesla-Edison. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(1), 35-48. <https://doi.org/10.35362/rie8714269>
- García-Carmona, A. (2021b). Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1108. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1108
- García-Carmona, A. (2022). La comprensión de aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en el nuevo currículo de Educación Secundaria Obligatoria, tras la LOMLOE. *Revista Española de Pedagogía*, 80(283), 433-450. <https://doi.org/10.22550/REP80-3-2022-01>
- García-Carmona, A. y Acevedo-Díaz, J. A. (2018). The nature of scientific practice and science education. *Science & Education*, 27(5), 435-455. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9984-9>
- García Rubio, J. (2018). La organización curricular por ámbitos en educación secundaria obligatoria. En E. López-Meneses et al. (Eds.), *Experiencias pedagógicas e innovación educativa. Aportaciones desde la praxis docente e investigadora* (pp. 579-589). Octaedro.
- Kim, S. y Song, J. (2021). The nature of technology and engineering (NOTE) as perceived by science and technology teachers in Korea. *Research in Science & Technological Education*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1924656>
- Kline, S. J. (1985). What is technology? *Bulletin of Science, Technology, and Society*, 5(3), 215-218.
- Layton, D. (1988). Revaluing the T in STS. *International Journal of Science Education*, 10(4), 367-378. <https://doi.org/10.1080/0950069880100404>
- Maiztegui, A., Acevedo, J. A., Caamaño, A., Cañal, P., Carvalho, A. P. M., del Carmen, L. et al. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155. <https://doi.org/10.35362/rie280962>
- McComas, W. F. y Burgin, S. R. (2020). A critique of “STEM” education. *Science & Education*, 29(4), 805-829. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00138-2>
- National Assessment Governing Board [NAGB] (2013). *Technology and engineering literacy framework for the 2014 National Assessment of Educational Progress*. https://www.nagb.gov/content/dam/nagb/en/documents/publications/frameworks/technology/2014-technology-framework/ch_toc/index.html
- National Research Council [NRC] (2009). *Engineering in K-12 education*. National Academies Press.
- National Research Council [NRC] (2012). *A framework for K-12 science education*. National Academies Press.

- Orden de 14 de julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 144, de 28 de julio de 2016. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2016/144/18>
- Park, W., Wu, J. Y. y Erduran, S. (2020). The nature of STEM disciplines in the science education standards documents from the USA, Korea and Taiwan. *Science & Education*, 29(4), 899-927. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00139-1>
- Pleasant, J. y Olson, J. K. (2019). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education. *Science Education*, 103(1), 145-166. <https://doi.org/10.1002/sce.21483>
- Pleasant, J., Clough, M. P., Olson, J. K. y Miller, G. (2019). Fundamental issues regarding the nature of technology. *Science & Education*, 28(3), 561-597. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00056-y>
- Quellmalz, E. (2015). Science, technology, and engineering interrelationships: assessment of the understanding of. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education* (pp. 935-940). Springer.
- Quinn, C. M., Reid, J. W. y Gardner, G. E. (2020). S+ T+ M= E as a convergent model for the nature of STEM. *Science & Education*, 29(4), 881-898. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00130-w>
- Raynaud, D. (2018). *¿Qué es la tecnología?* Laetoli.
- Real Decreto 1007/1991, de 14 de junio, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (Anexo I). *Boletín Oficial del Estado*, 152, de 26 de junio de 1991. <https://www.boe.es/eli/es/rd/1991/06/14/1007>
- Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 5, de 5 de enero de 2007. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/12/29/1631/con>
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, 3, de 3 de enero de 2015. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105/con>
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, de 30 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217>
- Ring-Whalen, E., Dare, E., Roehrig, G., Titu, P. y Crotty, E. (2018). From conception to curricula: The role of science, technology, engineering, and mathematics in integrated STEM units. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 6(4), 343-362. <https://www.ijemst.net/index.php/ijemst/article/view/257/157>
- Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ellis, J. A. y Ring-Whalen, E. (2021). Beyond the basics: a detailed conceptual framework of integrated STEM. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 3(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00041-y>
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26. <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/51616/STEMmania.pdf>
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Vinck, D. (2014). Pratiques d'ingénierie. Les savoirs de l'action. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 8(2), 225-243. <https://www.cairn.info/revue-anthropologie-des-connaissances-2014-2-page-225.htm>

Waight, N. y Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of Technology: Implications for design, development, and enactment of technological tools in school science classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2875-2905.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.698763>

Zeidler, D. L., Herman, B. C., Clough, M. P., Olson, J. K., Kahn, S. y Newton, M. (2016). Humanities emptor: Reconsidering recent trends and policy in science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 27(5), 465-476.

<https://doi.org/10.1007/s10972-016-9481-4>

Integration of Engineering in Science and Technology Education from an STS Perspective

Antonio García-Carmona

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, España.
garcia-carmona@us.es • <https://orcid.org/0000-0001-5952-0340>

The STEM education movement (Science, Technology, Engineering and Mathematics) has arrived in the Spanish educational context to stay; to the extent that, within the framework of the new education law (known as «LOMLOE» by its acronym in Spanish), the latest official curriculum approved for basic education establishes STEM competence as one of the eight key competences. This makes it necessary to continue to analyse the most critical or complex aspects of the STEM approach, with a view to elucidating how to favour its implementation in the classroom in a genuine and viable way.

One of the most complex aspects of STEM education is the explicit attention to engineering and more specifically to the practices of those engaged in this discipline. This brings engineering together with technology, which is a discipline that is epistemologically and ontologically very close to the former, as well as a curricular area with a long tradition in most education systems. It happens that many of the attempts to integrate engineering with technology in STEM educational proposals, trying to give visibility to each of them, result in quite limited approaches of both disciplines; but, above all, of technology. In effect, reductionist conceptualisations are used that give technology an inferior status with respect to engineering. This reminds us of what happened between science and technology at the beginning of STS (Science-Technology-Society) education, where technology was very often reduced to «applied science».

Despite the controversial nature of this matter, it is not currently the subject of sufficient discussion in the field of science and technology education. But is it appropriate to assume simplistic perspectives of technology in curricular proposals where it is integrated with engineering? Which perspectives or approaches give rise to this situation of a certain undervaluing of technology, with respect to engineering, in such proposals? Furthermore, what is the new contribution of engineering and its practices to the traditional scientific-technological curriculum? On the other hand, if technology and engineering are to be made visible in proposals for curriculum integration in the scientific-technological field, what aspects and relations between science, technology, and engineering could be handled?

This article presents a critical analysis of the integration of engineering in curricular proposals for science and technology education, sponsored by the STEM educational movement. To this end, the main perspectives and approaches considered in this regard are revised. Next, an analysis of what novelty it means to explicitly introduce engineering into the traditional curriculum for technology education in Spain. Then, literature on the topic is reviewed to determine which relationships could be established between technology and engineering. Finally, a proposal is made for the conceptualization of these two disciplines, including their relationships with science, which is in line with the educational framework of STS and can serve as a benchmark in didactic designs for curricular integration in science and technology education.

The most novel aspect of the proposal is that it includes explicit allusions to engineering, which is conceived as the part of technology through which technological products are designed and produced. The proposal also states that engineering is based on knowledge of science and mathematics but also on other experiential knowledge, not necessarily formal logic, when designing and producing artefacts. In addition, this refers to the fact that engineering, like science, employs systematic working methods; although it also applies trial-and-error methods to make empirical adjustments and refine designs. Regarding the sociological component of technology (financing, market, values, etc.) and, therefore, of engineering, the proposal assumes a similar perspective to that of STS education.

