



Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro

Engineering Education: Three Questions with a Future Vision

Cristina Simarro Rodríguez

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Barcelona, España
cristinarsimarro@gmail.com

Digna Couso Lagaron

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Barcelona, España
digna.couso@uab.cat

RESUMEN • El marco de la educación STEM ha otorgado a la educación en ingeniería un protagonismo inédito hasta el momento. Sin embargo, esta centralidad no ha ido acompañada de un marco sólido desde un punto de vista didáctico, lo que ha resultado en propuestas superfluas y con carencias. En este artículo se abordan tres preguntas que apuntan hacia el futuro de la didáctica de la ingeniería: ¿Qué alfabetización en ingeniería y en tecnología debemos promover? ¿Qué prácticas ingenieriles debemos ayudar a desarrollar? ¿Cuáles son las ideas centrales que debemos enseñar en las clases de tecnología? Tomando como referencia el campo de la didáctica de las ciencias, más consolidado y con fundamentos, en el artículo se hace una propuesta para responder a estas preguntas, ofreciendo una lista de prácticas de la ingeniería y una primera aproximación a las que podrían ser las ideas centrales de dicha disciplina.

PALABRAS CLAVE: Educación STEM; Didáctica de la ingeniería; Prácticas; Ideas clave.

ABSTRACT • STEM education has given engineering education an unprecedented role. However, this centrality has not been accompanied by a solid framework, resulting in superfluous proposals and shortcomings. This article addresses three questions that point to the future of engineering education: Which engineering and technology literacy should we promote? Which engineering practices should we help to develop? What are the core ideas that we should teach in technology education? Taking as a reference the field of science education, more consolidated and with foundations, the article makes a proposal to answer these questions, offering a list of engineering practices and a first approach to what could be the core ideas of this discipline.

KEYWORDS: STEM education; Engineering education; Practices; Core ideas.

Recepción: diciembre 2020 • Aceptación: febrero 2022 • Publicación: noviembre 2022

Simarro Rodríguez, C. y Couso Lagaron, D. (2022). Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(3), 147-164.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3507>

INTRODUCCIÓN

El marco de la educación STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, por sus siglas en inglés) está suponiendo un reto para la comunidad educativa (Couso, 2017; Martín-Páez et al., 2019; Zollman, 2012). Considerado como un enfoque que puede mejorar el aprendizaje en los ámbitos científico-tecnológico y matemático por parte del alumnado, existe mucha controversia acerca de cómo debe ser esta educación STEM y hasta qué punto la integración de las distintas disciplinas puede ser exitosa sin implicar un agravio comparativo entre estas (Chalmers et al., 2017; Honey et al., 2014; McComas y Burgin, 2020). En este contexto, la equiparación de las prácticas de la ingeniería con las científicas supone una nueva centralidad de la primera en la educación obligatoria, un protagonismo hasta ahora no existente y que requiere de nuevos marcos que permitan al profesorado de primaria y de secundaria el diseñar y llevar a cabo propuestas educativas de calidad (Annetta y Minogue, 2016; Li et al., 2019).

Sin embargo, existen ciertos indicios que apuntan a un problema de fondo que está teniendo impacto en las aulas: el papel central que se ha dado a la ingeniería y a la tecnología no ha ido acompañado de un marco sólido desde un punto de vista didáctico, lo que ha resultado en propuestas superfluas y con ciertas carencias, como el abuso de las tecnologías digitales o la presencia anecdótica de la ingeniería en las propuestas STEM (English y King, 2015).

En este artículo se abordan tres preguntas que apuntan hacia el futuro de la didáctica de la ingeniería, tomando como referencia el campo de la didáctica de las ciencias, mucho más consolidado y con fundamentos, que pueden servir de puntos de partida para nuevas propuestas en el ámbito de la ingeniería. En concreto nos preguntamos:

1. ¿Qué alfabetización en ingeniería y en tecnología debemos promover?
2. ¿Qué prácticas de la ingeniería debemos ayudar a desarrollar?
3. ¿Cuáles son las ideas centrales que debemos enseñar en las clases de tecnología?

LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN STEM

La relación entre la ciencia y la tecnología ha sido durante años un aspecto de interés en los currículos educativos. Marcos como el CTS (ciencia, tecnología y sociedad) (Aikenhead, 2005) supusieron un revulsivo para la enseñanza de las ciencias, pues promovieron un acercamiento de esta hacia aquello verdaderamente útil para la sociedad. Desde esta perspectiva, se empieza a hablar de una *alfabetización* científica y tecnológica para todos (Membiela, 1997; Strieder et al., 2017; Vilches y Solbes, 2000), donde se enfatiza el papel de la tecnología en la sociedad moderna.

A menudo, sin embargo, este marco CTS se concibe principalmente para la educación científica (McComas y Burgin, 2020), considerándose la tecnología como mero producto y no como fruto de una actividad social relevante para tratar en el aula, siendo el desarrollo tecnológico el parámetro menos abordado en la educación CTS (Strieder et al., 2017). Sin duda, y pese a los esfuerzos realizados, las propuestas educativas enmarcadas en este enfoque CTS resultaron insuficientes a la hora de profundizar en las diferencias entre ciencia y tecnología y no han logrado que la educación tecnológica alcance unos niveles deseados (Acevedo-Díaz, 1998; Perales y Aguilera, 2020).

Ya sea por esta falta de resultados o por otros intereses más politizados (Perales y Aguilera, 2020), lo cierto es que en los últimos años la idea de una educación STEM que integre en cierta medida las distintas disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas ha ido ganando protagonismo, e incluso ha reemplazado el marco CTS antes mencionado. Si bien coincidimos con autores que afirman que la integración de la ciencia con las matemáticas y con la tecnología no es nueva (Ortiz-Revilla et al., 2020; Toma y García-Carmona, 2021), como ya hemos visto la inclusión de la ingeniería como

disciplina que hay que tomar en consideración sí resulta una novedad, con implicaciones que van más allá de la inclusión de una mera sigla.

Por un lado, hay quien afirma que la educación en ingeniería puede mejorar el aprendizaje del alumnado en cuanto a ciencias y matemáticas (proporcionando, por ejemplo, contextos en los que poner a prueba los conocimientos científicos y aplicarlos a problemas prácticos); aumentar el conocimiento sobre qué es la ingeniería y el trabajo de los ingenieros; incrementar la alfabetización tecnológica del alumnado y estimular el interés de los más jóvenes por continuar con la ingeniería como carrera profesional (Honey et al., 2014; National Academy of Engineering and National Research Council, 2009; National Research Council, 2012). Incluso, desde una perspectiva de una educación STEM altamente integrada, hay autores que creen que la ingeniería puede actuar como catalizador para una educación STEM interconectada (Kelley y Knowles, 2016; King y English, 2016). Sin embargo, existen ciertas voces críticas que han denunciado una falta de concordancia entre la llamada para tener más y mejores ingenieros y la poca presencia de una educación en ingeniería en la educación obligatoria, en especial en cuanto a primaria y los primeros cursos de secundaria (Bagiati et al., 2015; Cajas, 2001; Lucas et al., 2014).

Llegados a este punto nos surge una primera pregunta: ¿en qué medida esta educación en ingeniería difiere de la educación en tecnología, que cuenta con mucho más recorrido y que ya se recogía en marcos como el de CTS antes mencionado? La distinción entre una y otra no resulta nada clara y son muchos los autores y textos de referencia que, siguiendo la estela de la idea de educación STEM, han pasado a hablar de forma indistinta de educación en tecnología y en ingeniería. En su revisión sobre la situación de la educación en ingeniería en Estados Unidos, la National Academy of Engineering y el National Research Council (2009) afirman que la educación en ingeniería puede incidir en la alfabetización tecnológica. Del mismo modo, y en su nuevo marco para la educación científica, el National Research Council (2012) defiende la importancia de entender el mundo construido por los humanos, presentando la tecnología como el resultado de un proceso en el que los ingenieros e ingenieras aplican su comprensión del mundo natural y del comportamiento humano para diseñar soluciones que puedan satisfacer las necesidades y los deseos humanos. Incluso la International Technology and Engineering Educators Association añade en sus nuevos *standards* (2020) el concepto de alfabetización en ingeniería a la ya reconocida alfabetización en tecnología.

Sin duda, la diferenciación entre ingeniería y tecnología es ya en sí misma una cuestión no resuelta. Desde ámbitos como la filosofía existen discusiones en torno a si ingeniería y tecnología son lo mismo, si una de ellas incluye a la otra (existiendo posiciones en uno u otro sentido) o si simplemente tienen ciertos puntos en común entre sí (Krupczak et al., 2012; Norström, 2014; Smit, 2016). En el ámbito educativo, no existe tampoco un consenso en cuanto a la diferencia entre ingeniería y tecnología. Como apunta Williams (2010), pese a existir una discusión considerable sobre este tema, parece haber muy poca profundización sobre las similitudes, las diferencias y la relación entre tecnología e ingeniería como asignaturas escolares. Así, mientras que muchas referencias utilizan ingeniería y tecnología como sinónimos, argumentando que tanto la ingeniería como la tecnología tienen como núcleo filosófico la resolución de problemas prácticos (Varnado y Pendleton, 2004), también encontramos a quien considera que la educación en ingeniería es un contenido ya incluido en la educación en tecnología (Williams, 2010). Nuestra visión, sin embargo, se ve influenciada por la perspectiva de autores como Lewis (2005) o Rogers (2006), que apuntan a la necesidad de proponer cambios en la educación tecnológica para que el campo llegue a un acuerdo con la ingeniería como contenido. No es anecdótico que en 2010 la International Technology Education Association (ITEA) cambiase oficialmente su nombre por el de International Technology and Engineering Educators Association (ITEEA), basándose en la evolución que estaba sufriendo el campo de la educación en tecnología para poder cubrir la «T» y la «E» en la educación STEM.

Asumiendo dicha necesidad, nuestro posicionamiento va más allá y se acerca a la idea de McComas y Burgin (2020), que apuntan a la falta de entidad de la tecnología en comparación con la ingeniería, lo que lleva a estos autores a hablar de educación SEM en lugar de STEM, para evitar redundancias. Así, nuestra visión es que la tecnología es el producto de la actividad que llevan a cabo los ingenieros e ingenieras, es decir, el producto de la práctica de la ingeniería. En este sentido, entendemos los referentes a la alfabetización tecnológica o la denominación «de tecnología» de algunos currículos como una perspectiva de la educación básicamente centrada en los productos del proceso de la ingeniería (las tecnologías). La idea de educación en tecnología vigente en nuestro currículo sería un ejemplo de ello (Bagiati et al., 2015). Así, desde una perspectiva de educación STEM que, como indica Couso (2017), busca alfabetizar al alumnado para que sea «capaz de identificar y aplicar, tanto los conocimientos clave como las formas de hacer, pensar, hablar y sentir de la ciencia, la ingeniería y la matemática, para comprender, decidir y/o actuar delante de problemas complejos y para construir soluciones creativas e innovadoras, aprovechando las sinergias personales y las tecnologías disponibles de forma crítica, reflexiva y con valores» (p. 24), nos referiremos a educación en ingeniería para hacer referencia tanto a aquella educación en la que se trabajen los productos (tecnología) como a los procesos (prácticas) de la ingeniería (Gattie y Wicklein, 2007).

Esta relación entre el producto y las prácticas de una disciplina, que puede explicar en gran medida la dificultad de distinguir la educación en tecnología de la educación en ingeniería, no es tan problemática en el caso de las ciencias, puesto que el producto de las prácticas científicas se denomina también ciencia. El paralelismo entre ambas disciplinas, ciencias e ingeniería, es, sin embargo, claro (figura 1). Siguiendo con la definición de Couso, cada disciplina sigue unas formas de hacer, hablar, pensar y sentir (prácticas) que, apoyadas en recursos como los propios conocimientos científicos y las tecnologías disponibles, permiten comprender y explicar el mundo natural (en el caso de las ciencias) y diseñar soluciones (en el caso de la ingeniería).

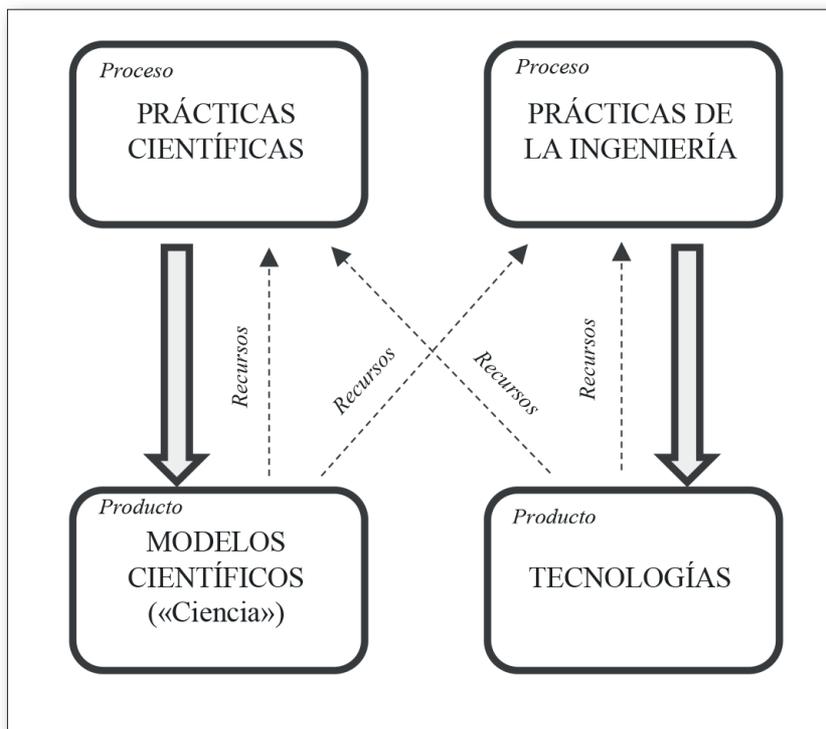


Fig. 1. Relación entre las prácticas y los productos de la ciencia y de la ingeniería.

Por tanto, una alfabetización en ingeniería requiere tanto del conocimiento de las tecnologías en sí, para poder usarlas y tomar decisiones en torno a estas de manera informada, como del proceso que permite diseñarlas y desarrollarlas y la naturaleza del mismo (ITEEA y CTETE, 2020). De la misma forma que una educación científica competencial requiere de conocimiento conceptual, procedimental y epistémico (Garrido, 2016; Garrido y Simarro, 2014), una educación en ingeniería de calidad debe centrarse no solo en los resultados de la ingeniería como disciplina (tecnología), sino también en la participación en lo que denominamos prácticas, esas actividades cognitivas, sociales y discursivas que caracterizan a la disciplina (Peters-Burton, 2014). Sin embargo, la realidad es que, mientras que en la enseñanza de las ciencias la relevancia de las prácticas y de una visión epistémica de la ciencia escolar ya han transformado la mayoría de las propuestas educativas, en el caso de la educación en ingeniería la focalización en la tecnología es aún omnipresente y la idea de prácticas de la ingeniería está aún pendiente de desarrollo. Si bien es cierto que la idea de la naturaleza del diseño tecnológico como elemento clave en la alfabetización científica y tecnológica ha sido reclamada desde hace tiempo por diversos autores en el ámbito de la educación en tecnología (Acevedo-Díaz, 1998, 2006; Cajas, 2001), nuestra idea de prácticas de la ingeniería pretende ser una actualización de dichas propuestas sobre la base de las nuevas aproximaciones planteadas en el ámbito de la educación científica.

UNA VISIÓN EPISTÉMICA DE LAS PRÁCTICAS DE LA INGENIERÍA

La didáctica de las ciencias ha vivido en los últimos años ciertos cambios que la han llevado a reorientar sus enfoques hacia una forma de entender la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias como la participación en sus *prácticas*, inspiradas en las prácticas específicas y que gozan de cierto consenso en el seno de la comunidad científica profesional (Duschl et al., 2007; Grandy y Duschl, 2007; Jiménez-Aleixandre y Crujeiras, 2017; Osborne, 2014). Esta forma de entender la ciencia escolar resuena en nuestro contexto con la tradición de la actividad científica escolar (Izquierdo et al., 1999a; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003) y supone un cambio de enfoque de los productos hacia los procesos de la ciencia, en estrecha relación (Adúriz-Bravo, 2008; Duschl y Grandy, 2008; Jiménez-Aleixandre, 2014), lo que enfatiza la dimensión epistémica de la enseñanza de las ciencias (Duschl, 2008). Las ocho prácticas científicas propuestas en el nuevo marco de la NRC (2012) ejemplifican esta reorientación y suponen una herramienta muy útil para plantear una enseñanza de las ciencias más completa.

Es en este mismo marco en el que, en un afán de recoger el énfasis otorgado a la educación en ingeniería, se hace una primera propuesta para las prácticas de esta disciplina. Pese a reconocer el avance que supone esta primera lista de prácticas de la ingeniería, lo cierto es que su planteamiento sigue siendo muy dependiente de las prácticas científicas, lo que resulta en una lista conformada a imagen y semejanza de estas últimas. Como hemos publicado en otros sitios, esta falta de distinción entre disciplinas supone un empobrecimiento de los enfoques que, como la educación STEM, buscan integrar ciencia e ingeniería (Couso y Simarro, 2020). Nuestra perspectiva es que, a menudo, existe una falta de sensibilidad epistémica que dificulta trasladar al aula la verdadera riqueza de abordar disciplinas que, pese a estar relacionadas, resultan diversas y complementarias en cuanto a conocimientos, prácticas y sistemas de valores (McComas y Burgin, 2020; Pleasants y Olson, 2019).

Desde esta perspectiva, una revisión desde un punto de vista epistémico de las diferencias entre los objetivos, esferas de actividad, formas de conocimiento, valores y criterios de calidad y reglas metodológicas de la ciencia y la ingeniería (Couso y Simarro, 2020) nos pueden servir como punto de partida para matizar las prácticas de la ingeniería propuestas por la NRC. Así, el hecho de reconocer que el objetivo principal de la ciencia y de la ingeniería es distinto (construir explicaciones fiables de los fenómenos naturales y soluciones óptimas creadas por la humanidad, respectivamente) puede ayudar a entender cuándo una propuesta de aula está promoviendo ciertas prácticas científicas o, en cambio, se

centra más en el desarrollo de otras prácticas ligadas a la ingeniería. Aspectos como la naturaleza de los productos de cada disciplina (teorías, leyes, modelos frente a tecnologías, procesos, etc.), los criterios de calidad y reglas metodológicas (más o menos ligados a la idealización) y, en especial, las dimensiones que caracterizan las respectivas prácticas (indagar, modelizar y argumentar frente a crear, probar y argumentar) nos han servido para plantear una primera lista de prácticas de la ingeniería que, inspirada en la lista propuesta por la NRC, busca capturar la esencia de la ingeniería como disciplina única (tabla 1) (Simarro y Couso, 2021):

Tabla 1.
Propuesta para las prácticas de la ingeniería (basadas en NRC, 2012)

<i>Prácticas de la ingeniería definidas por la NRC (2012)</i>	<i>Propuesta</i>
Definir los problemas	Definir y delimitar problemas de la ingeniería
Desarrollar y utilizar modelos	Desarrollar y utilizar prototipos y simulaciones
Planificar y llevar a cabo investigaciones	Planificar y llevar a cabo pruebas
Analizar e interpretar datos	Analizar e interpretar datos para identificar puntos de mejora
Usar las matemáticas y el pensamiento computacional	Usar las matemáticas, el pensamiento computacional, los modelos científicos y las tecnologías disponibles
Diseñar soluciones	Identificar múltiples soluciones y seleccionar la (teóricamente) óptima
---	Materializar las soluciones
Argumentar sobre la base de pruebas	Argumentar sobre la base de pruebas
Obtener, evaluar y comunicar información	Obtener, evaluar y comunicar información

Tal y como se puede observar, pese a ser similares, la nueva lista de prácticas difiere de la propuesta por la NRC en ciertos aspectos clave. Por un lado, se enfatiza la necesidad de delimitar los problemas. Esta práctica, clave para el desarrollo ingenieril, conlleva identificar bien el problema que hay que resolver, así como las restricciones que se tomarán en cuenta y que permitirán evaluar qué solución será la óptima (Crismond y Adams, 2012; Franssen, Maarten y Lokhorst, Gert-Jan y van de Poel, 2018). Esta idea de optimización, clave en la caracterización de la ingeniería, se recoge también en otras prácticas como la identificación de distintas soluciones y la selección de aquella que, teóricamente, puede resultar óptima, tomando en consideración las restricciones consideradas (Boon, 2006). Esta visión de más de una solución factible condicionada por la delimitación del problema resulta mucho más rica y realista que la idea de diseñar una solución. Por otro lado, la nueva lista de prácticas busca eliminar ambigüedades, reemplazando palabras que tienen una fuerte carga de significado en las ciencias por otras más acordes con la naturaleza de la ingeniería. Así, la palabra *modelo* se sustituye por la idea de *prototipo* (muy relevante en el proceso de diseño (Combemale et al., 2015; Jensen et al., 2016) y de simulación (ligado a una vertiente más digital de la ingeniería), mientras que la palabra *indagación* se reemplaza por la de *prueba* (o test). Y es que, pese a utilizar métodos similares, la naturaleza del proceso de indagación científica, que busca recoger evidencias para construir explicaciones, difiere de las pruebas llevadas a cabo en ingeniería, que buscan recoger datos para contrastar las distintas soluciones tomando en consideración los requerimientos preestablecidos (Hansson, 2007). Estrechamente ligado con la idea de optimización, el análisis de datos se centra en la identificación de puntos de mejora para alcanzar dicha solución óptima. Recogiendo la idea de la relación entre ciencia e ingeniería, la nueva lista de prácticas enfatiza también la dependencia de la ingeniería con los resultados de la propia

ingeniería (tecnologías) y de la ciencia. Finalmente, se ha añadido una nueva práctica ligada al carácter pragmático y menos idealizado de la ingeniería en contraste con la ciencia (Hansson, 2007; National Academy of Engineering and National Research Council, 2009). Se trata de la materialización de soluciones que implica el aterrizaje de las ideas teóricas en soluciones concretas tomando en consideración los recursos disponibles. Tal como apuntan algunos autores, una de las claves de la naturaleza de la ingeniería es el flujo de un modelo abstracto (en este caso, un concepto de diseño) hacia un sistema físico (en este caso, un producto útil) (López-Cruz, 2021). El desafío de pasar de una función deseada para una tecnología a la estructura real que permitirá esa función se ve como una práctica misteriosa que no se puede lograr de manera mecánica o algorítmica, sino que requiere una gran creatividad (Pleasants y Olson, 2019). Esta novena práctica busca, por tanto, encapsular este proceso creativo sujeto a restricciones que tiene como objetivo plasmar las soluciones teóricas considerando los límites tecnológicos y socioeconómicos reales del contexto en el que se está resolviendo el problema, que incluye los recursos disponibles. Esta práctica de materialización se centra no solo en la construcción de las soluciones en sí mismas (dándoles vida, como dicen algunos autores) sino que incluye la visualización, un hábito mental de la ingeniería que se refiere a la capacidad de pasar de lo abstracto a lo concreto, es decir, a cómo concretar una idea para llegar a una solución práctica, incluyendo la selección y manipulación de materiales reales (Lucas et al., 2014). En este sentido, si bien estamos de acuerdo con Cunningham y Kelly (2017) en que una característica central que debe valorarse a la hora de plantear las soluciones «no ideales» es de qué materiales está hecha una tecnología y, en consecuencia, que la práctica de considerar los distintos materiales y sus propiedades es una práctica central de la ingeniería, pensamos que esta idea de materialización como proceso creativo va más allá de los materiales y abarca todos los conceptos o conocimientos de ingeniería que pueden ayudar a llevar a cabo la solución (incluidos, por ejemplo, los procesos que se van a seguir). Así, esta práctica de materialización sería una práctica más amplia, englobada en el tercer ámbito de actividad en el que, según algunos autores, tiene lugar el proceso de diseño de ingeniería: creación, evaluación y realización (Dym et al., 2005). Desde nuestro punto de vista, esta práctica de materialización es una diferencia importante entre ciencia e ingeniería, siendo una de las esferas de actividad de la ingeniería que no se recoge en las ocho prácticas propuestas por el marco de la NRC.

HACIA UNAS IDEAS CENTRALES DE LA INGENIERÍA Y DE LA TECNOLOGÍA

El desequilibrio existente entre las prácticas científicas y las de la ingeniería recogidos en el citado marco de la NRC se evidencia también cuando se hace referencia a las llamadas *ideas centrales* que, junto con la idea de prácticas científicas y de ingeniería y los llamados conceptos transversales, suponen una de las tres dimensiones de dicho marco (tabla 2). La perspectiva de enfocar la enseñanza de las ciencias hacia la construcción de unas ideas clave o «grandes ideas» (Harlen, 2010) ha resultado fundamental en la didáctica de las ciencias desde hace décadas. Desde esta perspectiva, se entienden estas ideas clave como aquellas ideas estructurantes que tienen el potencial de explicar una gran cantidad de fenómenos distintos, ofreciendo una coherencia entre ellas y permitiendo su desarrollo a la largo de la escolaridad (Couso, 2015; Garrido, 2016; Izquierdo et al., 1999b; Sanmartí, 2002).

Tabla 2.
Ideas centrales de la ingeniería y la tecnología (NRC, 2012)

<i>Idea central</i>	<i>Componente</i>
ETS1: Diseño de ingeniería	ETS1.A: Definición y delimitación de un problema de ingeniería
	ETS1.B: Desarrollo de posibles soluciones
	ETS1.C: Optimización de la solución de diseño
ETS2: Vínculos entre ingeniería, tecnología, ciencia y sociedad	ETS2.A: Interdependencia entre ciencia, ingeniería y tecnología
	ETS2.B: Influencia de la ingeniería, la tecnología y la ciencia en la sociedad y el mundo natural

No es de extrañar, por tanto, que, en los nuevos marcos propuestos para la enseñanza de las ciencias, como el planteado por la NRC, este enfoque hacia las ideas centrales siga siendo fundamental. Sin embargo, mientras que en el caso de la ciencia en este marco se incluye un total de once ideas clave reconocibles como tal, con sus correspondientes subideas, para la ingeniería solo se enumeran dos ideas centrales que poco tienen que ver con las planteadas para las ciencias. La primera resulta cercana a la idea de práctica (diseño de ingeniería) y la segunda hace referencia a la interrelación entre ingeniería, tecnología, ciencia y sociedad. Por tanto, aunque se identifican como ideas centrales, lo cierto es que en el caso de la ingeniería estas no se corresponden a la definición de estas. Como señalan Cunningham y Carlsen (2014) con respecto a la primera idea central de ingeniería (ETS1: Diseños de ingeniería), su definición está más ligada a la idea de actividad (definir y delimitar un problema de ingeniería, desarrollar posibles soluciones y optimizar la solución de diseño) que a conceptos, ideas o teorías que han de ser la base conceptual de la práctica de la ingeniería. Del mismo modo, la segunda idea central (ETS2: Vínculos entre ingeniería, tecnología, ciencia y sociedad) está lejos de ser una idea central de la ingeniería y resulta más una reflexión sobre la relación entre ciencia e ingeniería que: 1) no está incluida en las ideas centrales de ciencias, y 2) da una idea, tal y como está especificada, de la ingeniería y la tecnología como mera aplicación de la ciencia (Ortiz-Revilla et al., 2020). Una vez más, el esfuerzo de igualar los contenidos de ingeniería con el contenido científico está limitado por la falta de una visión epistémica que ensalce la idiosincrasia de cada disciplina sin por ello negar las interrelaciones entre sí.

Evidentemente, las ideas centrales recogidas en el marco de la NRC no son las únicas propuestas en la literatura como ideas centrales de la ingeniería. En la revisión hecha por Silk y Schunn (2008), se identifican como conceptos específicos de la ingeniería los siguientes: estructura-comportamiento-función, contrapartida, restricciones, optimización y sistemas, subsistemas y control. Pese a ser relevantes, estas ideas están a caballo entre los conceptos transversales, entendidos como aquellos que son útiles tanto a las ciencias como a la ingeniería y que se asocian con una forma de pensar científico-tecnológica (National Research Council, 2012), y las prácticas discutidas anteriormente, pero no suponen una forma de estructurar el conocimiento en ingeniería. Más recientemente, los nuevos *standards* para la alfabetización tecnológica y en ingeniería (ITEEA y CTETE, 2020) incluyen también la idea de conceptos centrales de la ingeniería pero, de nuevo, lo hace de forma poco consistente a la hora de definir categorías operativas, mezclando elementos de diversa naturaleza: algunos relacionados con prácticas (recursos, requisitos, contrapartidas, optimización), otros relacionados con conceptos transversales (sistema y proceso) y otros más relacionados con tecnologías específicas (control).

Sea como sea, la gran diversidad existente y la falta de concordancia entre todas las propuestas evidencian que todavía no existe un acuerdo amplio sobre el conjunto completo de ideas centrales en ingeniería (National Research Council, 2012) sobre las que fundamentar sus prácticas. Desde un

punto de vista competencial, sin embargo, es necesario establecer cuál es este conocimiento, estas ideas clave que deben servir de base para participar en las prácticas de la ingeniería (valorar, por ejemplo, si una solución es óptima o no puede requerir el conocer los recursos con los cuales se cuenta y su disponibilidad a largo plazo). No hay duda, por tanto, de que la didáctica de la ingeniería requiere de estas formas concretas de mirar el mundo creado por y para la humanidad, estableciendo así unas ideas centrales de la ingeniería que, como en el caso de las ciencias, ayuden a plantear los currículos y las propuestas educativas del ámbito.

Inspiradas en las ideas científicas clave y partiendo de una revisión de diversos currículos o *standards* de tecnología vigentes (nacionales e internacionales) (Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament, 2016; ITEA, 2007; National Research Council, 2012), presentamos una primera propuesta de clasificación de las ideas centrales de la ingeniería clasificándolas según cómo se desarrollan las tecnologías (incluida la explotación de los recursos naturales), cuál es su naturaleza (cómo son y cómo se utilizan) y cuáles son sus aplicaciones (en qué contextos se utilizan y qué particularidades caracterizan cada contexto). Siguiendo esta clasificación, hemos planteado diez ideas clave que se resumen a continuación:

1. La Tierra dispone de recursos que son útiles para dar respuesta a las necesidades del ser humano.
2. Los recursos naturales que aprovechamos para obtener energía y materiales son limitados.
3. Según las características y propiedades de los materiales, estos tendrán unas aplicaciones u otras.
4. Existen muchas formas, unas más eficientes que otras, de transferir, almacenar y distribuir la energía y transformar los materiales para que sean más aprovechables para el ser humano.
5. Las tecnologías permiten aprovechar los materiales y la energía para facilitar procesos, obtener y explotar recursos y producir nuevas tecnologías.
6. Las tecnologías están diseñadas para dar una respuesta óptima a unas necesidades determinadas, teniendo en cuenta los recursos disponibles y considerando las limitaciones existentes.
7. Las funciones de cada tecnología dependen de las partes de las que están compuestas.
8. Las tecnologías se combinan para resultar en nuevas tecnologías más complejas.
9. Los cambios en las necesidades del ser humano, así como la disponibilidad de nuevas tecnologías y de nuevos conocimientos científicos, dan como resultado una evolución de las tecnologías.
10. Las necesidades básicas del ser humano a las que da respuesta la tecnología son: alimentación, vivienda, salud, transporte, comunicación y producción.

Con el objetivo de aclarar esta propuesta de ideas clave, la tabla 3 recoge un ejemplo para cada una de estas.

Tabla 3.
Ejemplos para las ideas clave de la ingeniería propuestas

<i>Idea clave</i>	<i>Ejemplo</i>
1. La Tierra dispone de recursos que son útiles para dar respuesta a las necesidades del ser humano.	En la Tierra hay minerales que se utilizan como base para fabricar objetos, por ejemplo, los utensilios de cocina.
2. Los recursos naturales que aprovechamos para obtener energía y materiales son limitados.	Los combustibles fósiles sirven a la sociedad como fuente de energía para muchos procesos. Sin embargo, estos recursos son limitados y se prevé una escasez de estos en el futuro.
3. Según las características y propiedades de los materiales, estos tendrán unas aplicaciones u otras.	Dada su ligereza y fácil procesado, el cartón supone una buena alternativa para el diseño de embalajes.
4. Existen muchas formas, unas más eficientes que otras, de transferir, almacenar y distribuir la energía y transformar los materiales para que sean más aprovechables para el ser humano.	En una central hidroeléctrica, el agua a una cierta altura es utilizada para producir parte de la energía eléctrica necesaria para la humanidad.
5. Las tecnologías permiten aprovechar los materiales y la energía para facilitar procesos, obtener y explotar recursos y producir nuevas tecnologías.	Las máquinas simples son un ejemplo básico de como facilitar un proceso reduciendo el esfuerzo que realizamos los humanos para hacer un trabajo mecánico.
6. Las tecnologías están diseñadas para dar una respuesta óptima a unas necesidades determinadas, teniendo en cuenta los recursos disponibles y considerando las limitaciones existentes.	En el caso de la construcción de viviendas, se puede buscar minimizar el coste prescindiendo de aspectos como el espacio (habitaciones más pequeñas) sin que la vivienda deje de cumplir su función básica.
7. Las funciones de cada tecnología dependen de las partes de las que están compuestas.	Al analizar una tecnología como un robot de fabricación, debemos identificar las partes que lo componen y que permiten llevar a cabo su tarea: elementos mecánicos como engranajes, componentes electrónicos como sensores de posición y microprocesadores, etc.
8. Las tecnologías se combinan para resultar en nuevas tecnologías más complejas.	Los vehículos actuales incluyen tanto máquinas simples como la rueda como tecnologías más punteras como la inteligencia artificial en el caso de los coches autónomos.
9. Los cambios en las necesidades del ser humano, así como la disponibilidad de nuevas tecnologías y de nuevos conocimientos científicos, dan como resultado una evolución de las tecnologías.	La evolución de los sistemas de comunicación se ha visto claramente influenciada por los avances científicos y tecnológicos. El conocimiento y explotación de las señales electromagnéticas, así como la aparición de la electrónica, explica la sociedad de la información y de la comunicación en la que vivimos actualmente.
10. Las necesidades básicas del ser humano a las que da respuesta la tecnología son: alimentación, vivienda, salud, transporte, comunicación y producción.	Desarrollos tecnológicos recientes como la automatización de la producción o internet se explican por la necesidad de la humanidad de dar respuesta a sus necesidades básicas.

Aunque preliminares, estas formas de estructurar el conocimiento en ingeniería podrían ser los pilares para vertebrar un marco sólido que permita definir estas ideas centrales tan necesarias para la didáctica de la ingeniería.

UNA PRIMERA PROPUESTA, MUCHO CAMINO POR RECORRER

El papel que la tecnología y la ingeniería desempeñan, y deben desempeñar, en la educación obligatoria es aún reducido y, a menudo, malinterpretado (ITEEA y CTETE, 2020). En este sentido, la didáctica de la ingeniería es aún un campo en crecimiento, si lo comparamos con un ámbito tan consolidado como es la didáctica de las ciencias (Acevedo-Díaz, 1996). En este artículo, hemos querido discutir las

principales áreas de potencial desarrollo de la didáctica de la ingeniería y hacer una primera propuesta para lo que consideramos que debe suponer el *corpus* de esta disciplina: una visión epistémica sobre la educación en tecnología e ingeniería, una propuesta de prácticas de ingeniería basadas en esta visión y una primera forma de abordar las ideas centrales de la ingeniería necesarias para plantear las clases de tecnología (figura 2).

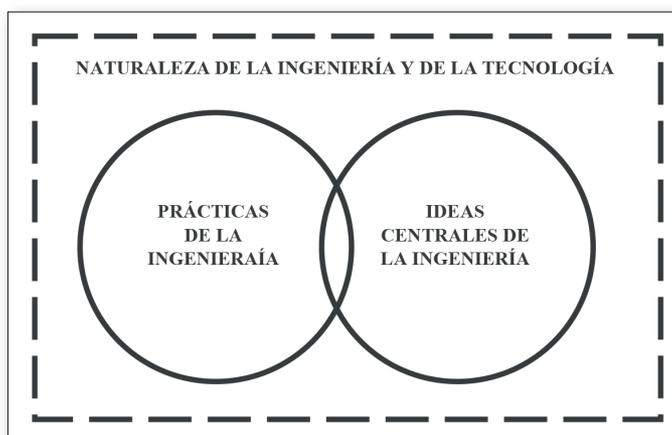


Fig. 2. Dimensiones consideradas en la propuesta planteada para la didáctica de la ingeniería.

No hay duda de que en nuestra propuesta existen aún ciertos aspectos que requieren de un mayor nivel de concreción. Por un lado, la alternativa que hemos planteado para las prácticas de la ingeniería se basa en la idea central de diseño como actividad esencial de la ingeniería. Sin embargo, y como reconoce la NRC (2012), los ingenieros e ingenieras no solo diseñan nuevas tecnologías, sino que también se encargan de fabricarlas, operarlas, inspeccionarlas y mantenerlas. Desde esta perspectiva, cabría preguntarse si, más allá de las prácticas en ingeniería, vinculadas al diseño, deberían plantearse unas prácticas en tecnología más ligadas al uso y mantenimiento de la tecnología. En este sentido, pese a que algunos autores han probado a definir unas «prácticas de tecnología» (Vasquez et al., 2013), estas quedan lejos de lo que entendemos como práctica y su naturaleza se aleja de la del resto de las disciplinas, lo que resulta en una lista de competencias y no de formas de hacer, hablar y pensar.

Además, las prácticas de la ingeniería que hemos propuesto se han basado principalmente en la actual lista de prácticas de la NRC. Existen, sin embargo, otras perspectivas que nos parecen igual o más sugerentes, como la idea de hábitos mentales de la ingeniería (Lucas et al., 2014) o la perspectiva que se enmarca en los contextos de uso propuesta por la ITEEA (ITEEA y CTETE, 2020). Estos marcos pueden enriquecer esta propuesta y servir de inspiración para sugerir otros enfoques más útiles para ser aplicados al aula.

En paralelo a la idea de prácticas de la ingeniería, hemos puesto de manifiesto también la urgencia de contar con unas ideas centrales de la ingeniería que permitan una mayor estructuración del aprendizaje. Disponer de una forma más sistematizada de entender el mundo creado por la humanidad, del mismo modo que las ideas centrales en ciencias nos permiten entender el mundo natural que nos rodea, es un requisito esencial para ayudar al profesorado a orientar sus propuestas educativas. Nuestra propuesta de diez ideas clave para la ingeniería ha resultado en una lista de ideas que pueden considerarse transversales a todas las ramas de la ingeniería y que, creemos, puede resultar oportuna para lo que podríamos denominar la «ingeniería escolar» (López et al., 2020), es decir, esa ingeniería que queremos desarrollar entre el alumnado a modo de alfabetización para todos. Esta propuesta pretende ser, sin

embargo, una primera semilla para un trabajo que requiere de un esfuerzo colectivo para definir mejor estas ideas centrales de la ingeniería, contemplando también las ideas *de* ingeniería que tengan en consideración los conceptos o las teorías de diferentes áreas de conocimiento de la ingeniería, por ejemplo, cómo en las máquinas simples el aumento de la distancia conlleva una disminución de la fuerza que hay que realizar (idea 7 aplicada al ámbito de la mecánica) o cómo el desarrollo de los semiconductores supuso una revolución para el campo de la electrónica (idea 8 aplicada al ámbito de la electrónica). A su vez, la propuesta de ideas clave para la ingeniería debe enriquecerse con ideas *sobre* ingeniería basadas en el conocimiento existente sobre la naturaleza de esta disciplina. Este trabajo, que debe ser fruto de un debate entre la comunidad educativa y el ámbito profesional en ingeniería y tecnología, puede resultar en una herramienta muy útil para el avance de la didáctica de la ingeniería.

Más allá de estos tres pilares (visión epistémica, prácticas e ideas centrales), creemos oportuno destacar otra dimensión que debe cobrar relevancia no solo en el ámbito de la didáctica de la ingeniería, sino también en el del resto de las disciplinas STEM. Siguiendo con la definición de alfabetización de Couso (2017), una educación STEM de calidad debe fomentar entre el alumnado un pensamiento crítico y reflexivo que le permita actuar de acuerdo con ciertos valores. Y es que, como apunta Izquierdo (2014), la sociedad actual espera de las ciencias y de la tecnología una solución a los problemas complejos que afrontan la humanidad o el planeta, problemas que requieren no solo de conocimientos y formas de hacer, sino también de valores que tengan en consideración el presente y el futuro de la sociedad. La educación en ingeniería del futuro debe ir más allá del desarrollo y la aplicación de la tecnología y entrar en el ámbito de la ética y el humanismo (Díaz Lantada, 2020). Estamos de acuerdo con el análisis de Couso y Puig (2021) sobre que los retos a los que se enfrenta nuestro alumnado en épocas de crisis, como la crisis climática, entre otras, no son solo de conocimiento, sino que están fundamentalmente relacionados con los valores y las emociones. Las autoras señalan, para la competencia científica entendida como competencia STEM, los valores de equidad, inclusión, justicia social y sostenibilidad como irrenunciables. En este sentido, y como apunta Hansson (2007), la ingeniería ya opera con ciertos conceptos cargados de valores como la justicia, el bienestar o el riesgo ambiental. Definir cuáles son estos valores que deben desarrollarse entre el alumnado es también un objetivo que debe orientar a la didáctica de la ingeniería, y trabajos como el de McGowan y Bell (2020) y su propuesta de alfabetización sociotécnica crítica parecen marcar el camino hacia esta actualización de la educación en ingeniería.

Como planteábamos al principio, este artículo se ha centrado en plantear preguntas que consideramos clave para el avance en el campo de la didáctica de la ingeniería y en abrir alternativas hacia las posibles respuestas a dichas preguntas. Esperamos con ello haber iniciado un camino que conduzca a la consolidación de un ámbito en crecimiento como es la didáctica de la ingeniería.

AGRADECIMIENTOS

La investigación se ha llevado a cabo en el marco del doctorado en Educación de la UAB y ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PGC2018-096581-B-C21) dentro del grupo de investigación ACELEC (2017SGR1399)

REFERENCIAS

- Acevedo-Díaz, J. A. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 14(1), 35.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4238>
- Acevedo-Díaz, J. A. (1998). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 16(3), 409-420.
- 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), 198-218.
- Adúriz-Bravo, A. (2008). Un modelo de ciencia para el análisis epistemológico de la Didáctica de las Ciencias Naturales. *Perspectivas Educativas*, 1, 1-34.
- Aikenhead, G. (2005). Research Into STS Science Education. *Educación Química*, 16, 384-397.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.3.66101>
- Annetta, L. y Minogue, J. (2016). *Connecting Science and Engineering Education Practices in Meaningful Ways. Building Bridges* (L. Annetta y J. Minogue, Eds.). Springer.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-16399-4>
- Bagiati, A., Yoon, S. Y., Evangelou, D., Magana, A., Kaloustian, G. y Zhu, J. (2015). The landscape of PreK-12 engineering online resources for teachers: global trends. *International Journal of STEM Education*, 2(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-014-0015-3>
- Boon, M. (2006). How science is applied in technology. *International Studies in the Philosophy of Science*, 20(1), 27-47.
<https://doi.org/10.1080/02698590600640992>
- Cajas, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 19(2), 243.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4001>
- Chalmers, C., Carter, M. L., Cooper, T. y Nason, R. (2017). Implementing Big Ideas to advance the Teaching and learning of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(Suppl 1), 25-43.
<https://doi.org/10.1007/s10763-017-9799-1>
- Combemale, B., Cheng, B. H. C., Moreira, A. y Bruel, J. (2015). Modeling for Sustainability Modeling for Sustainability HAL Id : hal-01185800. *MiSE'16*.
- Couso, D. (2015). La clau de tot plegat: la importància de «què» ensenyar a l'aula de ciències. *Revista Ciències. Revista Del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, 29-36.
- Couso, D. (2017). ¿Por qué estamos en STEM? Un intento de definir la alfabetización STEM para todo el mundo y con valores. *Revista Ciències. Revista del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, 34, 22-28.
- Couso, D. y Puig, B. (2021). Educación científica en tiempos de pandemia. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 104, 49-56.
- Couso, D. y Simarro, C. (2020). STEM education through the epistemological lens: Unveiling the challenge of STEM transdisciplinarity. En C. C. Johnson, M. J. Mohr-Schroeder, T. J. Moore y L. D. English (Eds.), *Handbook of Research on STEM Education* (pp. 17-28). Taylor and Francis Inc.
- Crismond, D. P. y Adams, R. S. (2012). The Informed Design Teaching and Learning Matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738-797.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>

- 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>
- Cunningham, C. M. y Kelly, G. Y. J. (2017). Epistemic Practices of Engineering for Education. *Science Education*, 101(3), 486-505.
<https://doi.org/10.1002/scs.21271>
- Díaz Lantada, A. (2020). Engineering Education 5.0: Continuously Evolving Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*, 36(6), 1814-1832.
- Duschl, R. A. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
<https://doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Duschl, R. A. y Grandy, R. E. (2008). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*. Sense Publishers.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A. y Shouse, A. W. (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*.
- Dym, C. L., Agogino, Alicem., Eris, O., Frey, D. D. y Leifer, L. J. (2005). Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. *Journal of Engineering Education*, January, 103-120.
<https://doi.org/10.1109/EMR.2006.1679078>
- English, L. D. y King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(14), 1-18.
<https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
- Franssen, M., Lokhorst, G.-J. y van de Poel, I. (2018). Philosophy of Technology. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Issue Fall 2018).
- Garrido, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Garrido, A. y Simarro, C. (2014). El nou marc d'avaluació de la competència científica PISA 2015: Revisió i reflexions didàctiques. *Revista Ciències. Revista del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, 28, 21-23.
- Gattie, D. K. y Wicklein, R. C. (2007). Curricular value and instructional needs for infusing engineering curricular value and instructional needs for infusing engineering design into K-12 technology education. *Journal of Technology Education*, 19(1), 6-18. https://digitalcommons.usu.edu/ncete_publications
- Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament (2016). *Competències bàsiques de l'àmbit científicotecnològic. Identificació i desplegament a l'educació secundària obligatòria*. www.gencat.cat/ensenyament
- Grandy, R. y Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Analysis of a conference. *Science and Education*, 16(2), 141-166.
<https://doi.org/10.1007/s11191-005-2865-z>
- Hansson, S. O. (2007). What is technological science? *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 38(3), 523-527.
<https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2007.06.003>
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*.
- Honey, M., Pearson, G. y Schweingruber, H. (2014). *STEM Integration in K-12 Education* (Committee on Integrated STEM Education; National Academy of Engineering; National Research Council, Eds.). The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/18612>

- ITEA (2007). Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology. En *Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*.
<https://doi.org/1887101020>
- ITEEA y CTETE (2020). *Standards for Technological and Engineering Literacy*.
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las «ciencias para todos» (ESO, nivel secundario). *Biografía*, 7(13), 69-85.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M. y Sanmartí, N. (1999a). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias, Número ext*, 79-91.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M. y Sanmartí, N. (1999b). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias, Número ext*, 79-91.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27-43.
<https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Jensen, L. S., Özkil, A. G. y Mortensen, N. H. (2016). Prototypes in engineering design: definitions and strategies. *International Design Conference - Design 2016*, 821-830.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science and Education*, 23(2), 465-484.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9561-6>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Crujeiras, B. (2017). Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.), *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education* (pp. 69-80).
- Kelley, T. R. y Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11.
<https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- King, D. y English, L. D. (2016). Engineering design in the primary school: applying stem concepts to build an optical instrument. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2762-2794.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1262567>
- Krupczak, J., Blake, J. W., Disney, K. A., Hilgarth, C. O., Libros, R., Mina, M. y Walk, S. R. (2012). Defining engineering and technological literacy. En *Proceedings of the 2012 Annual Conference of the American Society for Engineering Education*.
- Lewis, T. (2005). Coming to Terms with Engineering Design as Content. *Journal of Technology Education*, 16(2), 37-54.
- Li, Y., Schoenfeld, A. H., Andrea, A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D. y Duschl, R. A. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, 2, 93-104.
<https://doi.org/https://doi-org.are.uab.cat/10.1007/s41979-019-00020-z>
- López, V., Couso, D. y Simarro, C. (2020). Educación STEM en y para un mundo digital: el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *Revista de Educación a Distancia*, 20(62).
<https://doi.org/10.6018/RED.410011>
- López-Cruz, O. (2021). De la Filosofía de la Tecnología a la Filosofía de la Ingeniería. *Revista Colombiana de Filosofía de La Ciencia*, 20(41), 63-111.
<https://doi.org/10.18270/rcfc.v20i41.3385>

- Lucas, B., Hanson, J. y Claxton, G. (2014). Thinking like an engineer: implications for the education system. En *A report for the Royal Academy of Engineering Standing Committee for Education and Training* (Issue May). <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/thinking-like-an-engineer-implications-summary>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. y Vílchez, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4). <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- McComas, W. F. y Burgin, S. R. (2020). A Critique of «STEM» Education: Revolution-in-the-Making, Passing Fad, or Instructional Imperative? *Science and Education*, 29(4), 805-829. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00138-2>
- McGowan, V. C. y Bell, P. (2020). Engineering Education as the Development of Critical Sociotechnical Literacy. *Science and Education*, 29(4), 981-1005. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00151-5>
- Membiela, P. (1997). Una revisión del movimiento educativo ciencia-tecnología-sociedad. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 15(1), 51-57.
- National Academy of Engineering and National Research Council (2009). *Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects*. National Academies Press.
- National Research Council (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. En *Social Sciences*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Norström, P. (2014). *Technological knowledge and technology education*.
- Ortiz-Revilla, J., Adúriz-Bravo, A. y Greca, I. M. (2020). A Framework for Epistemological Discussion on Integrated STEM Education. *Science and Education*, 29(4), 857-880. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00131-9>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Perales, F. J. y Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Peters-Burton, E. E. (2014). Is There a «Nature of STEM»? *School Science and Mathematics*, 114(3), 99-101. <https://sharepoint.ecn.purdue.edu/epics/teams/Public%20>
- 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>
- Rogers, G. E. (2006). The Effectiveness of Project Lead the Way Curricula in Developing Pre-engineering Competencies as Perceived by Indiana Teachers. *Journal of Technology Education*, 18(1), 66-78.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*.
- Silk, E. M. y Schunn, C. D. (2008). *Core Concepts in Engineering as a Basis for Understanding and Improving K-12 Engineering Education in the United States. Final Draft of a Report to the National Academy of Engineering Committee on Understanding and Improving K-12 Engineering Education in the United States*. <http://www.ams.org/samplings/math-awareness-month/08-reputation.pdf>
- Simarro, C. y Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00310-2>
- Smit, R. (2016). *The nature of engineering and science in curriculum: A case study in thermodynamics*.

- Strieder, R., Bravo-Torija, B. y Gil-Quilez, M. J. (2017). Ciencia-tecnología-sociedad: ¿Qué estamos haciendo en el ámbito de la investigación en educación en ciencias? *Enseñanza de Las Ciencias*, 35(3), 29-49.
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). «Of STEM we like everything but STEM». A critical analysis of a buzzing educational trend. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 39(1), 65-80.
<https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.3093>
- Varnado, T. E. y Pendleton, L. K. (2004). Technology Education/Engineering Education: A Call for Collaboration. *Proceedings of the International Conference of Engineering Education*, 1.
- Vasquez, J. A., Comer, M. y Sneider, C. (2013). What are the STEM Practices? En *STEM Lesson Essentials, Grades 3-8. Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (p. 192). Heinemann.
- Vilches, A. y Solbes, J. (2000). La introducción de las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias y su evolución. *Educación Química*, 11(4), 387-394.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2000.4.66432>
- Williams, P. J. (2010). Technology Education to Engineering: A Good Move? *The Journal of Technology Studies*, 36(2), 10-19.
<https://doi.org/10.21061/jots.v36i2.a.2>
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19.
<https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x>

Engineering Education: Three Questions with a Future Vision

Cristina Simarro Rodríguez

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Barcelona, España
cristinarsimarro@gmail.com

Digna Couso Lagaron

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Barcelona, España
digna.couso@uab.cat

STEM education has given engineering education an unprecedented role until now. However, this centrality has not been accompanied by a solid framework, resulting in superfluous proposals and shortcomings. This article addresses three questions that point to the future of engineering education: which engineering and technology literacy should we promote? Which engineering practices should we help develop? What are the core ideas that we should teach in technology education?

To give answer to the first question, the article makes an effort to clarify the similarities and differences between technology education and the increasingly present engineering education. Based on the perspective that STEM literacy should develop the ways of doing, thinking, talking and feeling of science, engineering and mathematics, the article advocates for a focus on engineering education as an umbrella for developing both technology and engineering literacy, identifying the former as the products of the engineering practices.

Regarding this engineering practices, the paper draws on the NRC's framework to propose a new set of engineering practices intended to incorporate epistemic nuances that offer a more comprehensive and realistic view of the STEM fields, particularly of engineering. The nine engineering practices proposed contain epistemological nuances from an engineering point of view that are missing in other proposals, including essential aspects such as problem scoping, identifying multiple solutions, selecting, testing and improving and materializing solutions. Moreover, the article identifies the need to work on the definition of engineering core ideas, understood as those structuring ideas that have the potential to explain engineering field offering coherence between them and allowing their development throughout schooling. At this regard, the paper makes a first proposal for those core ideas while it acknowledges that further development of these aspects should be carried out in order to guarantee their consistency.

Finally, the article opens new questions that should be addressed in the future development of the engineering education field, such as the values that may guide engineering actions, and invites the educational community to open debates that may strengthen engineering education field.