

Educación STEM en y para un mundo digital: el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas

STEM education for and with a digital era: the role of digital tools for the performance of scientific, engineering and mathematic practices.

Víctor López Simó

CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica). Universitat Autònoma de Barcelona.
Barcelona, España
victor.lopez@uab.cat

Digna Couso Lagarón

CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica). Universitat Autònoma de Barcelona.
Barcelona, España
digna.couso@uab.cat

Cristina Simarro Rodríguez.

CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica). Universitat Autònoma de Barcelona.
Barcelona, España
cristina.simarro@uab.cat

Resumen

Actualmente existe un amplio abanico de herramientas digitales que se pueden usar en la enseñanza de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática (las denominadas disciplinas STEM) durante la escolaridad primaria y secundaria. A partir de las definiciones propuestas por documentos marco de amplio consenso internacional, se discuten los puntos de encuentro entre la educación STEM y las herramientas digitales, y cómo una adecuada simbiosis entre ambas puede servir tanto para mejorar las competencias científicas, matemáticas y tecnológicas de los estudiantes como para mejorar sus competencias digitales necesarias para el desarrollo personal y profesional en la era digital. Pretendemos aportar una perspectiva al uso de herramientas digitales en el aula que trascienda las modas pasajeras, y que se centre en por qué y en el cómo usar cada una de estas herramientas, y para ello nos centramos en señalar tanto las oportunidades que ofrece la enseñanza digital para el aprendizaje STEM como las oportunidades que ofrece la enseñanza STEM para el aprendizaje digital. Con este conjunto de reflexiones y aportaciones provenientes de la investigación en el ámbito proponemos superar el debate sobre "herramientas digitales sí o no". Teniendo en cuenta los beneficios de las mismas, en particular para un ámbito con tanta relevancia cultural, social y económica como STEM, lo importante sería dedicar más esfuerzos a clarificar "cómo y para qué" usar estas herramientas en la escuela.

Palabras clave: Herramientas digitales, TIC, STEM, educación científica, competencia digital.

Abstract

Currently there is a wide range of digital tools that can be used in science, technology, engineering and mathematics education (the STEM disciplines) during primary and secondary school. Based on the definitions proposed by international consensus frameworks, we aim to discuss the relationship STEM education and digital tools, focusing on how an adequate symbiosis between both can contribute both to improve the scientific, mathematical and technological students' competences, and to improve their digital skills, necessary for their personal and professional development in the digital era. We intend to provide a perspective to the use of digital tools in school, going beyond fashions, and discussing why and how to use each of these tools. More specifically, we propose which opportunities offers the digital-based instruction for STEM learning, and at the same time which opportunities offers the STEM instruction for digital learning. With this research-based discussion, we aim to overcome the debate "digital tools yes or not", but "how and why" to use these tools in school.

Keywords: Digital tools, ICT, STEM, science education, digital competence.

1. Introducción

1.1. Educación STEM ¿Qué es y porque ha tomado tanta relevancia en los últimos años?

El término STEM (acrónimo de las siglas en inglés de Ciencia (Science), Tecnología (Technology), Ingeniería (Engineering) y Matemáticas (Mathematics)) ha tomado mucha relevancia en los últimos años, tanto en los documentos marcos de política educativa, en la literatura especializada, en los medios de comunicación generalistas, en los foros de debate sobre educación y formación, así como en múltiples foros económicos y sociales. Es un acrónimo que sirve para referirse al ámbito profesional que incluye las diferentes disciplinas científico-tecnológicas (es decir, de carreras y profesiones), pero también para referirse al conjunto de conocimientos, competencias y prácticas relacionadas con este ámbito que deben ser promovidas y desarrolladas a lo largo de la escolaridad (alfabetización STEM que se adquiere durante la escolaridad). Si bien ambas acepciones están relacionadas, puesto que la educación STEM es la base imprescindible para mejorar, incrementar y fortalecer las carreras de este ámbito, muchas voces han señalado el hecho que la educación científico-tecnológica abarca una concepción mucho más amplia (European Commission, 2012; Couso, 2017). Así, la educación científico-tecnológica no debe buscar solamente la capacitación de un importante grueso de la población para convertirlos en futuros profesionales del ámbito, sino sobre todo alfabetizar y dotar de competencias científico-tecnológicas al conjunto de los futuros ciudadanos (vayan a convertirse o no en profesionales del ámbito), para hacer una sociedad más capaz de involucrarse y tomar partido en los retos científico-tecnológicos de nuestras sociedades, así como aportar soluciones a estos retos sociales (Levinson & PARRISE Consortium, 2014). Desde esta perspectiva más amplia, desarrollar las competencias científico-tecnológicas entre los estudiantes, nuestros futuros ciudadanos, es crucial para el progreso social y económico de nuestra sociedad. Los múltiples argumentos aportados en la literatura sobre la necesidad de fortalecer la educación STEM pueden agruparse en cuatro grandes líneas argumentales, herederas de las ideas que en su día sirvieron para defender una educación científica y tecnológica para toda la población (Sjøberg, 1997): el argumento práctico, el argumento cívico-democrático, el argumento cultural y el argumento económico.

En primer lugar, existe un argumento práctico basado en la idea que toda persona necesita tener una formación científica, tecnológica y matemática básica, útil para tomar decisiones, comprender los fenómenos naturales y tecnológicos de su entorno, resolver pequeños retos cotidianos, etc. (Rychen & Salganik, 2003). La efervescencia del movimiento “*maker*” es un ejemplo: personas que construyen sus propios artefactos (programas informáticos y apps, dispositivos electrónicos domésticos, objetos decorativos, etc), a partir de sus habilidades para diseñar soluciones creativas a partir de sus conocimientos. A su vez, muchas de las discusiones y debates sociales existentes en nuestra sociedad están estrechamente ligados a los efectos de la ciencia y la tecnología en nuestras vidas, y para poder participar de estos procesos democráticos, es necesario estar no sólo informados sino comprender aquello que se critica o defiende (desde los transgénicos hasta las centrales nucleares, pasando por la robotización de la producción industrial y la monitorización de nuestras vidas con Big Data). No cabe duda que todo ciudadano necesita una base sólida de conocimientos relacionados con las disciplinas STEM para poder dar respuesta a los problemas de la sociedad contemporánea (Osborne & Dillon, 2008). Además, la emergencia del paradigma RRI (*Responsible Research and Innovation*) apunta claramente hacia esta dirección, ya que pone de relieve la necesidad

de la participación pública del conjunto de la sociedad en la investigación científica, el acceso abierto a los datos y los resultados de investigación, entre otros (European Commission, 2013). Las disciplinas científico-tecnológicas son construcciones humanas que han transformado nuestra vida, y la comprensión de nuestra sociedad y cultura pasan por conocer y comprender estas contribuciones. Las ciencias, las matemáticas y las ingenierías son, por lo tanto, parte de la cultura y del patrimonio cultural que influencia nuestra visión del mundo y nuestra manera de actuar sobre el igual como lo es la literatura, la música o la filosofía. Conocer y comprender los fenómenos que rodean nuestro mundo y los artefactos humanos producto de la actividad científico-tecnológica también enriquece nuestro mundo personal y nuestra cultura. Finalmente, el principal argumento económico que ha puesto de relieve recientemente la educación STEM es el hecho que la fuerza de trabajo que comprende este ámbito será mucho más productiva y, por tanto, decisiva en el desarrollo económico de los países en las próximas décadas. Algunos estudios recientes prevén que la formación actual de profesionales científico-tecnológicos será insuficiente para los retos del futuro, tanto en cantidad (la oferta de estos profesionales no podrá satisfacer la demanda prevista) como en calidad y diversidad de perfiles, ya que se requerirá un mayor acceso a las profesiones STEM de perfiles sociales y personales tradicionalmente alejados de esta área (European Commission, 2013).

Por todos estos motivos, son muchos los esfuerzos para contribuir a la mejora de la educación STEM: programas para promover las vocaciones científicas y tecnológicas entre los más jóvenes, proyectos para implicar a profesorado en iniciativas de mejora de la calidad docente, iniciativas en entornos no formales como museos, ateneos de fabricación o actividades familiares, proyectos para promover la equidad en el acceso a carreras del ámbito, estudios sobre las prácticas disciplinares que se dan en el aula, investigaciones sobre el impacto de la inmensa variedad de enfoques metodológicos en el aprendizaje científico-tecnológico de los estudiantes, etc.

1.2. Una mirada particular al ámbito STEM: las prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas

Pese al auge de esta educación basada en la integración de las disciplinas STEM, lo cierto es que la literatura recoge muchas evidencias respecto a las dificultades encontradas a la hora de llevar a cabo una educación de calidad (de Jong, 2019). Desde la falta de un aprendizaje profundo por parte del alumnado al desequilibrio existente entre las distintas disciplinas, incluyendo una visión tecnocentrista de esta educación (Becker & Park, 2011; Chalmers, Carter, Cooper, & Nason, 2017; English, 2016; Simarro & Couso, 2018) son muchas las propuestas recientes que buscan la mejora de esta educación.

De entre estas propuestas, destacamos la idea de la participación en las prácticas STEM por parte del alumnado. Desde esta perspectiva, se entiende que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, las matemáticas y las ingenierías pasa por la participación del alumnado en las formas de hacer, pensar y hablar de cada una de estas disciplinas (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007; Grandy & Duschl, 2007; Izquierdo, Espinet, García, Pujol, & Sanmartí, 1999; Osborne, 2014). Este enfoque es el que se ha recogido en los últimos currículos de Estados Unidos (CCSM, 2014; NRC, 2012), en los que la idea de práctica científica, ingenieril y matemática han ganado protagonismo (Tabla 1). Desde esta perspectiva de las prácticas STEM, nuestra visión es que el uso de herramientas digitales en el aula puede ayudar al profesorado a promover la participación de su alumnado en estas prácticas, aportando un valor añadido destacable en algunas de ellas (Tsybulsky, 2019). A su vez, también consideramos que los nuevos enfoques basados en

una educación STEM, hechos desde esta idea de prácticas, pueden incidir en el desarrollo del pensamiento computacional de los niños y las niñas, dado el protagonismo que, sin duda, esta forma de resolver problemas tiene en la actividad llevada a cabo por la ciencia, la ingeniería y la matemática.

Tabla 1. Conexiones entre las prácticas STEM. Adaptación de la tabla de Vasquez, Sneider y Comer (2013)

Prácticas científicas	Prácticas ingenieriles	Prácticas matemáticas
Plantearse preguntas	Definir problemas	Comprender los problemas y perseverar para resolverlos
Desarrollar y utilizar modelos	Desarrollar y utilizar modelos	Representar con modelos matemáticos
Planificar y realizar investigaciones	Planificar y realizar investigaciones	Utilizar estratégicamente las herramientas adecuadas
Analizar e interpretar datos	Analizar e interpretar datos	Buscar la precisión
Utilizar el pensamiento matemático y el computacional	Utilizar el pensamiento matemático y el computacional	Razonar de manera abstracta y cuantitativa
Construir explicaciones	Diseñar soluciones	Buscar y usar estructuras
Argumentar en base a pruebas	Argumentar en base a pruebas	Construir argumentos válidos y ofrecer una crítica al razonamiento de otros
Obtener, evaluar y comunicar información	Obtener, evaluar y comunicar información	Buscar y expresar regularidad en razonamiento repetitivo

Por este motivo, en este documento pretendemos hacer una revisión del estado del arte de la innovación y la investigación en el uso de herramientas digitales para la educación STEM, con el objetivo de aportar una visión de conjunto sobre cuáles son estas herramientas digitales, qué potencial se ha identificado para su uso educativo y como estas herramientas deben ser seleccionadas y usadas para explotar al máximo este potencial.

2. Planteamiento: un marco de análisis sobre el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas

Plantearse el papel de la educación STEM en lo que se ha venido denominando “era digital” o “era de la información” pasa, inevitablemente, por entender como la progresiva digitalización de nuestra sociedad ya ha transformado muchas de las facetas de nuestras vidas (ICT Literacy Panel, 2002), y seguirá haciéndolo en los próximos tiempos (Bounfour, 2016). El siglo XXI ha venido marcado, entre otros, por la progresiva aparición y sofisticación de herramientas digitales, incluyendo tanto los dispositivos físicos (desde los ordenadores personales y periféricos de primera generación, después los teléfonos móviles inteligentes y dispositivos táctiles, y cada vez más los dispositivos digitales que incorpora todo tipo de objeto cotidiano), los programas y aplicaciones que usamos a través de ellos (apps, videojuegos, buscadores de internet, programas de edición de todo tipo, etc), así como también las plataformas, entornos virtuales y redes sociales que permiten un intercambio y almacenamiento de información cada vez más rápido, eficaz, directo, multidireccional y multimodal (Dede, 2007). Este amplio abanico de herramientas digitales que caracterizan la era digital ha transformado hasta ahora y seguirá transformando profundamente la manera en que las personas interaccionamos entre iguales, construimos comunidades sociales y actuamos e intervenimos en el mundo que nos rodea (European Commission, 2014). Las implicaciones de esta profunda

transformación en las diferentes facetas de nuestras vidas son tantas y tan variadas que escapan de lejos del foco de atención de este documento.

Volviendo al ámbito escolar, la educación STEM no solo no es ajena a esta revolución digital, sino que se encuentra inmersa en ella. Si durante las últimas décadas del siglo XX se popularizó el “aula de informática” en la mayoría de centros como el lugar escolar en que los estudiantes iban algunas horas a la semana a trabajar con ordenadores, las dos primeras décadas del s. XXI han dejado esta idea desfasada (European Schoolnet & University of Liège, 2013). Prácticamente todas las aulas de nuestros centros se han llenado de dispositivos digitales (Gómez, Cañas, Gutiérrez, & Martín-Díaz, 2014), ya sea mediante un único ordenador situado en la mesa del docente conectado a un proyector o pizarra digital, ordenadores portátiles personales para los estudiantes especialmente a raíz de los programas 1x1 desarrollados durante la 1ª década del s. XXI (Valiente, 2010), smartphones y tabletas con la filosofía *Bring your own device* (Johnson, L., Adams Becker, Estrada, & Freeman, 2014), o recientemente smarthTVs que complementan a proyectores y pizarras digitales, etc. La aparición de esta variedad de soportes ha conllevado que muchas tareas de aula “analógicas” se hayan visto modificadas (como tomar apuntes, realizar ejercicios de lápiz y papel, escribir con tiza en la pizarra, consultar información en libros de texto y enciclopedias, etc), viéndose substituidas o enriquecidas por otras tareas basadas en el uso de herramientas ofimáticas, fuentes de información digital, videojuegos y aplicaciones móviles educativas, entornos virtuales de aprendizaje, etc., todo ello soportado en la nube y conectado a una red infinita de información que se encuentra fuera de ella. ¿Qué nuevas maneras de enseñar y aprender disciplinas STEM ofrece esta nueva oferta de dispositivos digitales?

2.1. Herramientas digitales para la matemática, la ciencia y la ingeniería escolar

Más allá de las tareas de aula genéricas, algunas de las tareas más genuinas de las prácticas escolares asociadas a las diferentes disciplinas STEM (ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas) también están siendo enriquecidas o complementadas mediante numerosas herramientas digitales. En el caso de las **clases de matemáticas**, la aparición de calculadoras digitales tanto numéricas como algebraicas (como Wiris¹ o MathPapa²) están transformado la manera de afrontar la resolución de ecuaciones algebraicas en el aula, y los softwares interactivos matemáticos para la representación y manipulación de objetos matemáticos (como Geogebra³) abren la posibilidad a nuevas formas de trabajar la geometría y el pensamiento geométrico. Además, si bien existe una gran cantidad de herramientas específicas para la enseñanza de las matemáticas (desde apps para aprender álgebra tipo DragonBox⁴ a repositorios digitales con cientos de mini-juegos didácticos matemáticos tipo HoodaMath⁵) también otras herramientas más comunes son vistas por el profesorado de matemáticas como una oportunidad. Por ejemplo, el uso de hojas de cálculo en las clases de matemáticas permiten nuevas maneras de plantear la resolución de problemas mediante representación de datos, el uso de funciones lógicas, análisis estadísticos o representación de funciones matemáticas (Oldknow, Taylor, & Tetlow, 2010), y una gran variedad de apps de uso convencional pueden ser usadas para la

¹ <https://www.wiris.net>

² <https://www.mathpapa.com/>

³ <https://www.geogebra.org/>

⁴ <http://dragonbox.com/>

⁵ <http://www.hoodamath.com/>

enseñanza y aprendizaje de las matemáticas (Handal, El-Khoury, Campbell, & Cavanagh, 2013).

Algo parecido ocurre en las **clases de ciencias**, donde la oferta de programas y aplicaciones disponibles en la red y de dispositivos diseñados para el trabajo experimental en laboratorios escolares ha crecido en los últimos años. Si a finales del siglo XX se popularizó la idea del “*microcomputer-based laboratory*” que consistía en el uso de sensores periféricos conectados a ordenadores para captar a tiempo real datos de temperatura, presión, velocidad, pH, concentración de CO₂ y otras magnitudes experimentales (Mokros & Tinker, 1987; Thornton & Sokoloff, 1990), estos dispositivos son cada vez más asequibles y adaptables a diferentes soportes como móviles y tabletas, y de hecho, el propio móvil es cada vez más un pequeño “laboratorio de bolsillo” que incluye sus propios sensores. Proyectos como iStage⁶ de la red europea ScienceonStage o Science Journal⁷ de Google ofrecen actualmente diferentes actividades para recoger y analizar datos experimentales usando los propios sensores internos del móvil. En paralelo, el uso de cámaras digitales también ha tenido una importante implantación en las aulas. También a finales del s. XX apareció la idea del “*video-based laboratory*” para analizar movimientos desde la cinemática (Beichner & Abbott, 1999), un formato que cuenta con una importante tradición en la enseñanza de la Física a través de softwares gratuitos tipo Tracker⁸ (Alonso, 2011; Vera Mathias, Rivera Campos, Fuentes, & Romero Maltrana, 2015). En otros casos, las cámaras digitales son usadas para grabar y analizar de todo tipo de fenómenos naturales (Andrade-Lotero, 2014), así como para presentar estos fenómenos a través del *slow motion* (Koupil & Vícha, 2011) o el *time lapse* (Fridberg, Thulin, & Redfors, 2017). La recogida de datos experimentales para la indagación escolar, además, se ha abierto a nuevos fenómenos que puedan ocurrir fuera de las paredes de la escuela, mediante laboratorios remotos que reproducen fenómenos físicos sobre los que los estudiantes pueden tomar y analizar datos a tiempo real (Abdulwahed & Nagy, 2011; Lowe, Newcombe, & Stumpers, 2013).

Pero la enseñanza de las ciencias no solo está cambiando debido a las herramientas para la recogida y el análisis de datos experimentales, sino también por la eclosión de los recursos educativos que permiten la visualización y manipulación de fenómenos virtuales, ya sea animaciones, simulaciones, laboratorios virtuales o micro-mundos virtuales (Hennessy, Deaney, & Ruthven, 2006; Rutten, van Joolingen, & van der Veen, 2012; van der Meij & de Jong, 2006). Más allá de las animaciones científicas que ofrecen los libros y materiales educativos digitales, plataformas como PhET⁹ o Gizmos¹⁰ ofrecen cientos de simulaciones para la enseñanza de la biología, la geología, la química o la física, y otras como BrainPop¹¹ o PhysicsGames¹² promueven el aprendizaje de las ciencias mediante modelos virtuales de fenómenos científicos en forma de videojuego. Además, el uso de modelos virtuales es también cada día más común en las aulas a través de los llamados *micro-mundos virtuales* como Algodoo¹³ para la física, Virtual Labs de Chem Collective¹⁴, ChemLab para la química, el Virtual Greenhouse¹⁵ para la biología o

⁶ <http://www.science-on-stage.de/page/display/en/3/70/0/istage-2-smartphones-im-naturwissenschaftlichen-unterricht>

⁷ <https://makingscience.withgoogle.com/>

⁸ <http://physlets.org/tracker/>

⁹ <http://phet.colorado.edu/>

¹⁰ <https://www.explorellearning.com>

¹¹ <http://www.brainpop.co.uk>

¹² <http://www.physicsgames.net/>

¹³ <http://www.algodoo.com/>

¹⁴ <http://chemcollective.org/vlabs>

¹⁵ <https://concord.org/stem-resources/virtual-greenhouse>

Electrocity¹⁶ para la educación ambiental. Incluso los mundos virtuales multijugador como Second Life¹⁷ o Minecraft¹⁸ han sido usados para que los estudiantes experimenten con fenómenos naturales (DosSantos, 2014; Short, 2012). Finalmente, diferentes proyectos internacionales como WISE¹⁹ (Web-based inquiry Science environment) o GoLab²⁰ (Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School) han desarrollado entornos virtuales para el andamiaje de indagación científica escolar (Pedaste et al., 2015).

A su vez, la enseñanza de la ingeniería escolar (lo que en nuestro contexto se asocia a las **asignaturas de tecnología**) también vive una importante revolución de metodologías y enfoques didácticos debido a la eclosión de las llamadas “tecnologías creativas” adaptadas a las diferentes edades y contextos escolares. Una de las ramas de estas tecnologías creativas está asociada con el aprendizaje de la programación basada en bloques, que ha tenido un importante crecimiento a través de la popularización del lenguaje Scratch²¹ (Saez & Cózar, 2016; Simarro et al., 2016), así como su versión adaptada a los primeros años de escolaridad ScratchJR²², la extensión de este lenguaje de programación Snap²³, y otros lenguajes parecidos con finalidades más específicas como mBlocks²⁴ para programar robots, App Inventor²⁵ para la programación de apps para el móvil o Kodu²⁶ para la programación de videojuegos 3D. A su vez, diferentes plataformas como CODE²⁷ ofrecen decenas de recursos para estudiantes y docentes para introducirse en el mundo de la programación. Estrechamente ligada a la programación, el mundo de la robótica también vive una importante efervescencia en la educación primaria y secundaria, ya sea mediante los pequeños robots para educación infantil Beebot²⁸, las diferentes versiones de robots escolares de Lego Education²⁹ (Wedo para edades 6-10, Mindstorm para edades 10-14, etc), existiendo actualmente una variada oferta de robots educativos adaptados a los diferentes niveles de escolaridad (Kopcha et al., 2017). En paralelo, otra de las ramas de la tecnología creativa asociadas al movimiento *maker* (que en algunos casos también cuenta con el uso de lenguajes computacionales) ofrece a los estudiantes el diseño de pequeños artefactos electrónicos de bajo coste, como es el caso del kit de electrónica Makey Makey³⁰, las placas Arduino³¹ o los ordenadores mono-placa Raspberry Pi³². Finalmente, las aulas de tecnología también han experimentado en los últimos años la implantación de entornos 3D para el diseño (programas *Computer assisted design*), así como el reciente ámbito de la impresión en 3D.

¹⁶ <http://www.electrocity.co.nz/>

¹⁷ <http://secondlife.com/>

¹⁸ <https://minecraft.net/>

¹⁹ <https://wise.berkeley.edu/>

²⁰ <http://www.go-lab-project.eu/>

²¹ <https://scratch.mit.edu/>

²² <https://www.scratchjr.org/>

²³ <http://snap.berkeley.edu/>

²⁴ <http://www.mblock.cc/>

²⁵ <http://appinventor.mit.edu/>

²⁶ <https://www.kodugamelab.com/>

²⁷ <https://code.org/>

²⁸ <https://www.bee-bot.us/>

²⁹ <https://education.lego.com/>

³⁰ <http://www.makeymakey.com/>

³¹ <https://www.arduino.cc/>

³² <https://www.raspberrypi.org/>

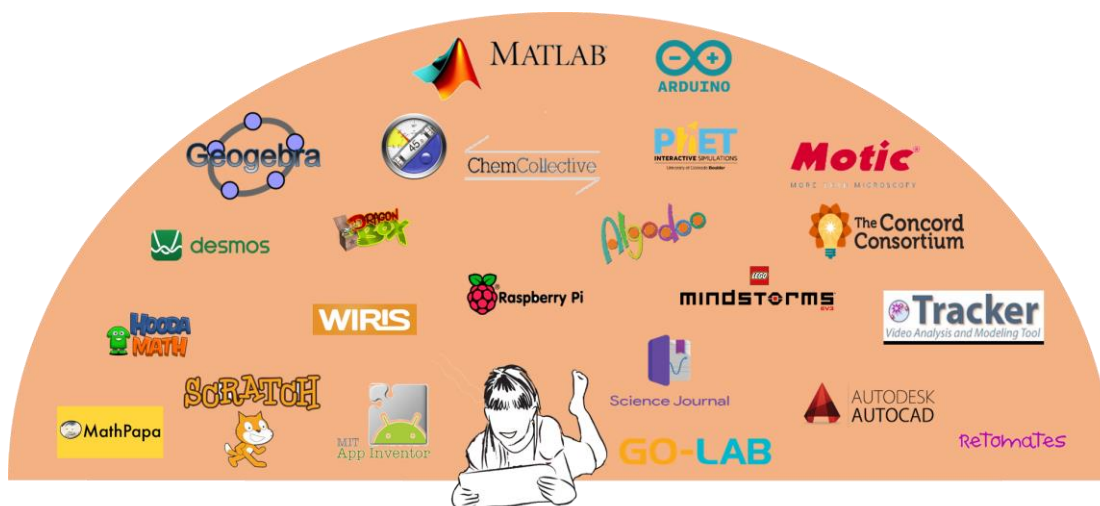


Figura 1: Amplio abanico de herramientas digitales disponibles en el aula STEM.

2.2. Retos y oportunidades en la educación STEM en la era digital

La introducción de todas estas herramientas digitales en la escuela para la enseñanza y el aprendizaje STEM también ha ido asociada al desarrollo de múltiples discusiones sobre su uso en las aulas, sobre los beneficios que aportan, y sobre los riesgos y limitaciones que su uso conlleva. Es común encontrar en todo tipo de medios discusiones que, si bien no son estrictamente pedagógico-didácticos, no pueden ni deben trivializarse y ejercen una enorme influencia en los procesos de decisión: los problemas de equidad en el acceso a las herramientas y su influencia en la diferenciación e incluso segregación entre alumnos y escuelas (brecha digital escolar), la dificultad de gestión que implica la introducción de estos dispositivos en las aulas convencionales, o la comprensible preocupación por los nuevos riesgos, como la seguridad digital ante *ciberbullying*, las falsas identidades digitales en la red, las ciber-adicciones, etc.

Más en concreto, si nos ceñimos a la discusión de carácter pedagógico-didáctico, el debate también es amplio. Algunas investigaciones han señalado claramente que el uso de tecnologías digitales no implica de forma automática una mejora de los procesos de enseñanza, ya que la manera en que se usan no depende solamente de la herramienta en sí, sino de las creencias y los modelos didácticos del profesorado que las adopta (Faulder, 2011; Jimoyiannis, 2010). Por ejemplo, el uso de algunos dispositivos como los ordenadores personales o la pizarra digital son una oportunidad para transformar las interacciones dentro del aula, pero también pueden suponer una vuelta a enfoques pedagógicos más tradicionales o transmisivos, donde es el profesor el que usa la herramienta digital y el estudiante el que mantiene un rol pasivo en la clase (Liu, 2011; Straub, 2009). Es por esto que Pintó (2009) enfatizó la necesidad de comprender no solo las características técnicas sino la función y el potencial de cada herramienta, teniendo en cuenta la concepción implícita de aprendizaje que hay en cada una. Así pues, la autora señala que no es lo mismo las herramientas con una concepción implícita de aprendizaje transmisiva, reproductiva y memorística (como la que encontramos en JClic³³ o Hot Potatoes³⁴, que ofrece actividades interactivas de rellenar casillas, de verdadero / falso, de emparejamiento, etc., y donde el estudiante o sabe la respuesta o no la sabe), que las herramientas que implican una concepción socio-constructivistas del aprendizaje (como

³³ <http://clic.xtec.cat/ca/jclic/>

³⁴ <https://hotpot.uvic.ca/index.php>

los editores de mapas conceptuales o los programas de modelización, donde el estudiante construye conocimiento mientras las usa). De hecho, Papert (1999), el padre del primer lenguaje de programación Logo ya ponía el énfasis en la distinción entre las herramientas que simplemente presentaban al estudiante información ya existente de las que les permitían construir nueva información, por ejemplo a través de la programación con ordenadores.

Otra de las cuestiones que siguen abiertas es la contribución de cada herramienta digital al proceso de aprendizaje de cada estudiante. Por ejemplo, des del ámbito de la psicología de la percepción se ha investigado el aprendizaje con representaciones múltiples (Ainsworth, 2006) y con soporte multimedia (Schnotz, 2004), y se han propuesto un conjunto de principios para el diseño instruccional (de atención, redundancia de la información, coherencia, etc), que los materiales educativos multimedia deberían cumplir para ser el máximo de útiles para los estudiantes. Además, autores como Cook, Wiebe y Carter (2008) o López y Pintó (2017) destacan que el uso de imágenes digitales en las clases de ciencias (por ejemplo, las representaciones que aparecen en animaciones y simulaciones científicas) no implica una mejor comprensión de las ideas científicas subyacentes, y que es necesario dar apoyo a los estudiantes para identificar, descodificar y comprender la información científica que se representa.

Finalmente, cabe destacar que, en los últimos años, la aparición de las denominadas tecnologías creativas en conjunción con una idea sesgada de la educación STEM, centrada en la ingeniería, han llevado a una visión muy reducida de las herramientas digitales en contextos de educación STEM (Simarro y Couso, 2018). Estas visiones se centran principalmente en el uso de dichas tecnologías creativas con propuestas como las basadas en el movimiento Maker que promueven esencialmente las prácticas ligadas al diseño y la ingeniería (Blikstein, 2013).

2.3. Propuesta de marco para el análisis de la relación entre el ámbito STEM y el conjunto de herramientas educativas digitales disponibles

Puesto que, como hemos expuesto en el apartado anterior, el debate sobre el papel de las herramientas digitales para la educación STEM es amplio, proponemos un marco de análisis como el de la Figura 2. Por un lado, partimos de lo que denominamos como “ámbito de las disciplinas científico-tecnológicas”, que hemos expuesto en el apartado 1.2, y que es independientemente de si su enseñanza-aprendizaje se realiza con o sin herramientas digitales. Por otro lado, consideramos el conjunto de “herramientas digitales en la era digital”, que hemos expuesto en el apartado 2.1, que, puesto que son tan amplias y variadas, hemos partido de aquellas que, en nuestro contexto, son potencialmente usables en las asignaturas de ciencias, matemáticas y tecnología. A partir de estas dos esferas (representadas en la figura 2), definimos una relación bidireccional: las oportunidades de la enseñanza digital (es decir, con herramientas digitales como las expuestas en el apartado 2.1) para el aprendizaje (concebido como el conjunto de prácticas expuestas en el apartado 1.2), y, a su vez, las oportunidades de la enseñanza para el aprendizaje digital (concebido como el conjunto de conocimientos, competencias para desenvolverse en la era digital, más allá de los contextos asociados al ámbito STEM).

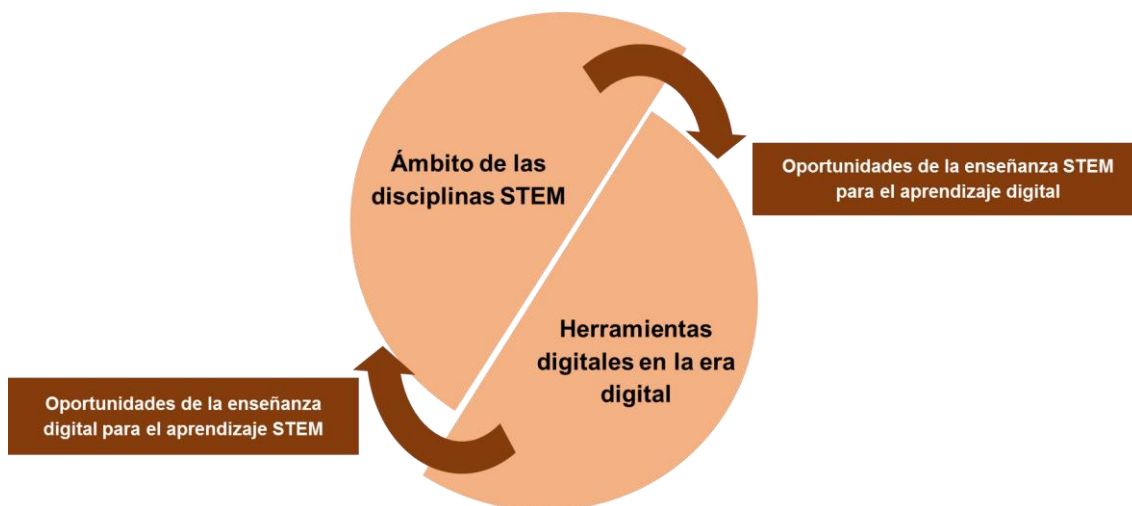


Figura 2: Relación entre el ámbito de las disciplinas STEM y las herramientas digitales en la era digital.

Este marco lleva, por lo tanto, a plantear dos preguntas:

- ¿Qué puede aportar la enseñanza digital al aprendizaje STEM? Es decir, ¿Qué aporta realmente este amplio abanico de herramientas digitales al desarrollo de las competencias STEM de los estudiantes a lo largo de su escolaridad?
- ¿Qué puede aportar la enseñanza STEM al aprendizaje digital? Es decir, ¿En qué sentido practicar una enseñanza en el ámbito STEM apoyada en el uso de herramientas digitales es útil para el desarrollo de las competencias digitales de los estudiantes a lo largo de su escolaridad?

En los próximos apartados intentamos responder a estas preguntas, recogiendo los principales argumentos identificados a través de la revisión bibliográfica de la literatura especializada y organizándolos a partir de las ideas centrales que consideramos que permiten dar respuesta a las preguntas planteadas.

3. Oportunidades de la enseñanza digital para el aprendizaje STEM

Para analizar qué oportunidades ofrece la enseñanza digital (es decir, usando herramientas digitales) para el aprendizaje STEM es necesario previamente plantearnos qué entendemos por un buen aprendizaje en este ámbito del conocimiento. Si bien una discusión en profundidad de esta cuestión escapa del objetivo de este documento, proponemos un breve repaso de los principales marcos de referencia a nivel internacional sobre esta cuestión, especialmente lo que en los últimos años se ha denominado el marco de las prácticas STEM (prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas).

Este marco propone que aprender ciencias, ingeniería y matemáticas en la escuela implica no solo “recibir” pasivamente los productos construidos por las ciencias, la ingeniería y las matemáticas, sino “hacer” ciencias, ingeniería y matemáticas, es decir, implicarse activamente en las actividades cognitivas, sociales y discursivas propias del ámbito. Este marco, recogido en los nuevos estándares americanos *A Framework for K-12 Science Education* (NRC, 2012) propone el aula como espacio donde reproducir en la educación STEM prácticas análogas a las que se dan en el mundo profesional, tal como propone desde hace tiempo el marco de la actividad científica escolar en nuestro país (Izquierdo,

Espinet, García, Pujol, & Sanmartí, 1999). Este marco no solo es coherente con el marco del aprendizaje sociocultural y situado (Rogoff, 1994), sino que promueve una visión más acertada de cómo es el propio mundo profesional STEM (Duschl & Grandy, 2012), además de coherente con el marco de las competencias científicas propuesto en PISA (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012).

Dentro de esta perspectiva, autores como Bybee (2011) o Krajcik y Merritt (2012) han definido y listado 8 grandes prácticas científico-ingenieriles (es decir, ocho grandes tipos de actividad en las que la escuela debe promover que sus estudiantes se involucren, que incluye: plantearse preguntas sobre fenómenos naturales relevantes para la ciencia y definir problemas para ser resueltos mediante la ingeniería, desarrollar y usar modelos científico-matemáticos, planificar y llevar a cabo investigaciones, analizar e interpretar datos experimentales, usar pensamiento computacional y matemático, construir explicaciones y diseñar soluciones tecnológicas, argumentar científicamente en base a pruebas y comunicar a la comunidad los resultados de la actividad científica. Además, Comer, Sneider y Vasquez (2013) pone el énfasis en la naturaleza transdisciplinar entre ciencias, ingenierías y matemáticas, y propone ampliar el listado de 8 prácticas matemáticas equivalentes a las expuestas por la NRC (2012).

A partir de esta caracterización de las prácticas STEM, y basándose en los esquemas de la actividad científica propuestos por Osborne (2014), Couso y Garrido (2016) han planteado recientemente la necesidad de abordar tres dimensiones interdependientes de la práctica científica en el aula: indagación (recogida y análisis de datos provenientes de observaciones y experimentos), modelización (construcción de explicaciones, teorías y modelos) y argumentación (evaluación de pruebas y construcción de argumentos para ser comunicados). Estas tres esferas o dimensiones de la práctica científica sirven de punto de partida para plantear las dimensiones de la práctica STEM, comunes en todas sus disciplinas:

- la experimentación con fenómenos naturales y tecnológicos mediante la observación, manipulación, recogida y análisis de datos.
- la elaboración de modelos científicos y matemáticos, y la interacción con representaciones virtuales de entidades abstractas.
- la argumentación y comunicación de soluciones científicas, matemáticas y tecnológicas, así como la evaluación de pruebas y argumentos aportados por los demás.

Basándonos en estas tres esferas de la práctica STEM, a continuación, planteamos qué oportunidades ofrecen las herramientas digitales anteriormente presentadas para promover un mejor y mayor aprendizaje STEM en el aula, que a su vez es una revisión de la propuesta realizada por López, Couso, Simarro, Garrido, Grimalt, Hernández y Pintó (2017).

Oportunidades de la enseñanza digital para el aprendizaje STEM		
Para la experimentación con fenómenos naturales y el diseño de soluciones ingenieriles <ul style="list-style-type: none">• Acceso a más y mejores datos experimentales y herramientas para su análisis.• Menos barreras de tiempo, distancia, riesgo y complejidad respecto a los fenómenos naturales a investigar• Mejor orientación y adaptación a las necesidades individuales de los estudiantes para el desarrollo de prácticas STEM.	Para la modelización científico-matemática y el diseño y manipulación virtual de representaciones abstractas <ul style="list-style-type: none">• Visualización mediante simulación por ordenador de modelos y objetos abstractos propios del área STEM.• Posibilidad de interacción con fenómenos y sistemas científico-matemáticos virtuales.• Oportunidad que sean los propios estudiantes quien elaboren y expresen sus ideas y modelos con soporte digital.	Para la argumentación científica y matemática, la comunicación y la interacción en contextos STEM <ul style="list-style-type: none">• Mejores herramientas para comunicar en el aula de forma análoga a como se hace en profesiones STEM• Mayor interactividad e inmersión en contextos, retos y problemáticas STEM.• Más vínculos entre la escuela y las comunidades científicas y sociales .

Figura 3: Oportunidades de la enseñanza digital para el aprendizaje STEM.

3.1. Para la experimentación con fenómenos naturales y el diseño de soluciones ingenieriles

La indagación escolar, una de las dimensiones centrales en la práctica STEM, implica la recogida y análisis de algún tipo de datos, ya sean provenientes de observaciones y experimentos realizados por los propios estudiantes o bien datos recogidos por terceros que se ponen a su disposición. En ambos casos, las herramientas digitales ofrecen múltiples oportunidades para **facilitar el acceso a estos datos experimentales, así como para enriquecer su análisis**. Por ejemplo, el uso de sensores digitales en el aula y el laboratorio (herramientas que a menudo representan a tiempo real y en forma de gráfico los datos obtenidos, lo que anteriormente hemos denominado como *Micro-computer based laboratory*) ha demostrado ser especialmente útil para facilitar a los estudiantes la recogida de datos, reduciendo el tiempo y la complejidad para hacerlo (Lavonen, Juuti, & Meisalo, 2003; Russell, Lucas, & McRobbie, 2004; Torres-Climent, 2010). De este modo los estudiantes pueden invertir menos tiempo en el proceso de toma de datos y, en cambio, invertir más tiempo en el análisis y la interpretación de los datos obtenidos (Pintó, Couso, & Hernández, 2010).. Algo parecido ocurre con los programas para el análisis de video, que permiten la toma de datos con una simple cámara digital, convirtiendo una aula en un laboratorio de bajo coste (Alonso, 2011; Calderón, Núñez, Di Laccio, Iannelli, & Gil, 2015; Vera Mathias et al., 2015). Además, la existencia de múltiples herramientas digitales que dan soporte al análisis de datos (desde las hojas de cálculo hasta las calculadoras que representan funciones matemáticas online) facilita también la interpretación de los datos, ofreciendo la oportunidad de una mayor agilidad y profundidad en esta interpretación. Así, por ejemplo, González-Calero y Arnau (2013) destacan como las propias hojas de cálculo pueden ser un puente entre la aritmética y el álgebra.

A su vez, el uso de herramientas digitales permite superar las **barreras de tiempo y distancia a los fenómenos naturales sobre los que los estudiantes pueden investigar**. La amplia oferta de laboratorios remotos y data sets permiten a los estudiantes, hoy en día, conectarse a un laboratorio situado en cualquier lugar del planeta con conexión a internet (Lowe et al., 2013), o simplemente a una cámara remota que emite a tiempo real, un telescopio u otros dispositivos de recogida de imágenes. Del mismo modo, el acceso

a laboratorios virtuales permite acercar fenómenos que por **coste, complejidad o seguridad** de otra manera no serían reproducibles en contexto escolar (Lenaerts, Wieme, Janssens, & Van Hoecke, 2002).

Otro aspecto clave de la indagación que las herramientas digitales promueven o facilitan es **la adaptación a las necesidades individuales de los estudiantes cuando desarrollan trabajo experimental**, recogiendo datos, controlando variables, modificando condiciones, etc. El uso de simulaciones y laboratorios virtuales mediante ordenadores individuales permite un alto grado de interactividad en el proceso de experimentación, ya que estas herramientas virtuales permiten modificar las condiciones y las variables del sistema que se reproduce, o incluso piezas arrastrables que se pueden añadir o quitar al sistema. La variada oferta de fenómenos científicos representados a través de simulaciones permite, en algunos casos, ofrecer al estudiante una simulación ya hecha con la que simplemente debe interactuar, pero también puede, mediante micro-mundos virtuales como Algodoos o ChemLab, diseñar sus propios experimentos virtuales añadiendo y combinando todo tipo de material de laboratorio. Los entornos manipulativos para la matemática interactiva, como Geogebra, también permiten adaptarse a las necesidades de aprendizaje de cada estudiante (Giménez Esteban, 2016). Además, la mayoría de entornos virtuales para representar sistemas físicos (animaciones, simulaciones o micro-mundos virtuales) permiten al estudiante repetir los fenómenos o procesos que se representan tantas veces como quiera, cosa que tampoco ocurre con la experimentación de laboratorio “analógica”.

Finalmente, el uso de plataformas web que orientan al estudiante en el proceso de indagación científica, resolución de problemas matemáticas o diseño de artefactos ingenieriles representa un importante potencial para la educación STEM. Bajo el paraguas de la filosofía *Inquiry Based Science Education* (IBSE) diferentes plataformas web ofrecen a los estudiantes actividades digitales interactivas paso a paso, que siguen una secuencia basada en elaborar una pregunta de investigación, elaborar predicciones e hipótesis, recoger datos, analizar estos datos, obtener resultados y elaborar conclusiones. Por ejemplo, la plataforma *Go Lab* propone aplicaciones específicas para ayudar a los estudiantes a construir sus propias hipótesis o para representar los resultados experimentales obtenidos (Van Riesen, Gijlers, Anjewierden, & de Jong, 2016). Del mismo modo, autores como García, Arnau y Arevalillo-Herráez (2015) exponen las oportunidades para los sistemas tutoriales inteligentes (TSI) para la enseñanza de las matemáticas, capaces de supervisar a tiempo real la resolución de problemas matemáticos por parte de los estudiantes, adaptándose a la línea (o líneas) de resolución que elige cada estudiante en cada momento.

3.2. Para la modelización científico-matemática y el diseño y manipulación virtual de representaciones abstractas

Si disponer de nuevas herramientas digitales para tomar y analizar datos, resolver problemas y diseñar soluciones ha transformado profundamente la manera de hacer STEM en el aula, el desarrollo de interfaces virtuales y entornos de simulación para la representación digital de constructos matemáticos y abstractos propios de las áreas STEM ha abierto también la puerta a nuevas maneras de hacer STEM. Mediante animaciones (ya sea 2D o 3D), simulaciones, videojuegos y otros entornos virtuales de simulación, los estudiantes pueden visualizar e interactuar con representaciones de estos constructos abstractos y matematizados: los átomos y moléculas, los genes, las líneas de campo, los

vectores, los haces de luz, los frentes de onda, las placas tectónicas, las galaxias, etc., así como las rectas numéricas, las figuras geométricas, las figuras fractales, etc.

El análisis de herramientas digitales para las ciencias propuesto por Romero y Quesada (2014) concluye que ponen a disposición del docente la eficacia de las imágenes para representar y **hacer mucho más visibles los modelos y teorías abstractas de la ciencia**, facilitando su asimilación y permitiendo la conexión entre el ámbito macroscópico o físico y el microscópico o teórico, y Olympou, Zacharia y de Jong (2012) señalan como este tipo de representaciones de objetos abstractos puede enriquecer la comprensión conceptual de los estudiantes. De hecho, Wieman, Adams y Perkins (2008), impulsores de la plataforma web para simulaciones científicas y matemáticas PhET afirman también que sus simulaciones están expresamente diseñadas para representar ideas abstractas, idealizadas de la realidad, para facilitar así su visualización por parte de los estudiantes. Además, la representación de ideas abstractas también puede ser de utilidad para el aprendizaje del álgebra, y programas como *Dragon Box Algebra* han resultado ser efectivos para la manipulación de objetos algebraicos para la resolución de problemas (Gutiérrez-Soto, Arnau, & González-Calero, 2015).

No obstante, más allá de representaciones abstractas diseñadas por educadores para que los estudiantes interactúen con ellas, la principal oportunidad que se abre con la introducción de herramientas digitales en la educación STEM es la **que sean los propios estudiantes quien elabore y exprese sus ideas abstractas y modelos científicos y matemáticos** mediante soporte digital. El reto de que sean los propios estudiantes quien programen sus propios modelos es una idea que vienen de lejos en el área de la educación científica. Mellar, Bliss, Boohan, Ogborn y Tompsett (1994) ya propusieron en su momento distinguir entre las simulaciones que diseñaba el profesor para que el alumno las usara, y las simulaciones que el alumno podía diseñar, expresando así sus ideas científicas y refinándolas a medida que iba perfeccionando su diseño, y Hsu, Hwang, Wu, Li-Fen y I-Chung (2006) afirmaron que esta segunda aproximación solo era posible si el estudiante desarrollaba habilidades propias de la modelización. En nuestra opinión, a pesar de la poca implantación que hasta el momento han tenido los programas de modelización computacional como VnR (Lawrence, 2004) o Modelus (Araujo, Veit, & Moreira, 2008), la eclosión de los nuevos lenguajes de programación por bloques tipo Scratch abren una ventana de oportunidad para la modelización científica con soporte digital (López & Hernandez, 2015; Simarro et al., 2016). Además, el hecho que la computación esté revolucionando las propias profesiones y prácticas profesionales STEM (por ejemplo, como la biología o la química computacional no solo enriquecen los procesos de modelización científica, sino que están transformando la propia naturaleza de estas disciplinas) hace todavía más necesario el desarrollo de este tipo de prácticas en la escuela (Beheshti, 2017).

3.3. Para la argumentación científica y matemática, la comunicación y la interacción en contextos STEM

La tercera dimensión de la actividad escolar STEM, la argumentación y comunicación científica, ingenieril y matemática, también cuenta con una importante ventana de oportunidades gracias a las herramientas digitales. El acceso a múltiples canales de comunicación dentro y fuera de la escuela (entornos virtuales de aprendizaje para la interacción dentro del aula, o los blogs y las redes sociales para la interacción de puertas afuera), ofrecen no solo herramientas que facilitan la comunicación, sino que la promueven de una forma análoga a cómo la hacen los profesionales STEM.

Para la interacción dentro del aula, la introducción de aplicaciones de respuesta inmediata, las llamadas *Classroom Response Systems (CRS)* puede enriquecer las interacciones entre estudiantes, especialmente por lo que requiere a los aspectos afectivos (Beatty & Gerace, 2009). Las llamadas herramientas de inmersión, como los videojuegos y las plataformas multijugadores, también pueden contribuir a promover la argumentación STEM. Por ejemplo, Ouariachi, Olvera-Lobo, & Gutiérrez-Perez (2017) muestran como algunos juegos online sobre el cambio climático se perfilan como herramientas alternativas para fomentar la concienciación entre los jóvenes, siendo la interactividad y la **inmersión** factores clave para su éxito.

Para la interacción fuera del aula, Osborne y Hennessy (2007) afirmaron que desarrollar nuevas herramientas digitales para las clases de ciencia requiere incorporar los nuevos retos de la educación científica: construir puentes entre escuelas y amplias comunidades científicas y sociales. En esta dirección aun ha mucho trabajo por hacer y espacio para la creación y el uso de nuevas aplicaciones.

4. Oportunidades de la enseñanza STEM para el aprendizaje digital

Para analizar qué aporta la enseñanza STEM al desarrollo de la competencia digital es importante comenzar por definir qué entendemos por dicha competencia. En el documento *Measuring Digital Skills across the EU: EU wide indicators of Digital Competence* (European Commission, 2014) se plantea un conjunto de indicadores para definir esta competencia digital, divididos en 5 bloques: **información** (Identificar, localizar, recuperar, almacenar, organizar y analizar información digital, juzgando su relevancia y propósito); **comunicación digital** (comunicarse en entornos digitales, compartir recursos a través de herramientas en línea, vincularse con otros y colaborar a través de herramientas digitales, interactuar y participar en comunidades y redes con sensibilización intercultural); **creación de contenidos digitales** (en múltiples formatos, integrando y reelaborando conocimientos y contenidos previos y teniendo en cuenta los derechos de propiedad intelectual y las licencias); **seguridad digital** (protección personal, protección de datos, protección de identidad digital, medidas de seguridad, uso seguro y sostenible de las herramientas digitales); y **resolución digital de problemas** (identificar necesidades y recursos digitales, tomar decisiones informadas sobre cuáles son las herramientas digitales más apropiadas de acuerdo con el propósito o necesidad, resolver problemas conceptuales a través de medios digitales, usar creativamente tecnologías y resolver problemas técnicos). Este marco, de hecho, es el que presenta el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (Orden ECD/65/2015) que define esta competencia digital como aquella que implica el uso creativo, crítico y seguro de las tecnologías de la información y la comunicación para alcanzar los objetivos relacionados con el trabajo, la empleabilidad, el aprendizaje, el uso del tiempo libre, la inclusión y participación en la sociedad.

En paralelo, otra idea vinculada a la alfabetización para un mundo digital que ha emergido en la última década es la de la alfabetización computacional, también denominada como **pensamiento computacional** (Wing, 2006), apoyada por instituciones como la *Internacional Society for Technology in Education (ISTE)* o la *Computer Science Teachers Association (CSTA)* (Stephenson & Barr, 2011). Brennan & Resnick (2012) proponen entender el pensamiento computacional como un conjunto de conceptos computacionales asociados a la programación (secuencias, bucles, paralelismos, eventos,

condicionales, operadores y datos), pero también como un conjunto de prácticas computacionales (incrementar e iterar, testear y depurar, reutilizar y combinar, abstraer y modularizar), y perspectivas computacionales (expresar, conectar y cuestionar). Esta capacidad está estrechamente ligada a la resolución de problemas de diferentes tipologías (lo que se está popularizando con el nombre Aprendizaje Basado en problemas), y que incluye fases como primero entender el problema, después plantear un diseño, plan o proyecto, posteriormente ejecutar el plan para resolver el problema y finalmente revisar el resultado (Beauchamp, 2016).

Ante estas dos grandes aproximaciones, la *European Computer Driving Licence* (ECDL Foundation, 2015) propone que una aproximación holística a las habilidades digitales que deben ser promovidas durante la escolaridad debe plantear en paralelo:

- la alfabetización digital (la cual es tan importante como la lectura y la escritura, y que por lo tanto es necesario poseerlas para acceder a todas las materias enseñadas a través del currículum).
- el pensamiento computacional (que no solo incluye nociones de programación informática mediante código, sino toda una manera de razonar y resolver problemas)(Zapata-Ros, 2015).

Basándonos en esta aproximación holística, a continuación, planteamos qué oportunidades ofrecen la enseñanza STEM en escenarios escolares digitalizados para promover un mejor y mayor aprendizaje digital en el aula.

Oportunidades de la enseñanza STEM para el aprendizaje digital

Para contribuir a la alfabetización digital de los futuros ciudadanos	Para contribuir al desarrollo del pensamiento computacional de los estudiantes
<ul style="list-style-type: none">• Aprovechamiento de los retos y contextos STEM para aprender a identificar, organizar y analizar información digital, así como para crear y comunicar contenidos digitales.• Uso de las maneras de pensar STEM para aprender a resolver problemas digitalmente, tomar decisiones y hacer uso de las tecnologías creativas.• Utilización de los conocimientos STEM para ser más capaz de entender y modificar adecuadamente las herramientas digitales, de forma crítica y segura.	<ul style="list-style-type: none">• Contribución del pensamiento matemático y lógico para comprender y usar conceptos computacionales (variables, condiciones, secuencias, algoritmos, etc.).• Aprovechamiento de la modelización científica (expresión y revisión iterativa de los modelos) como contexto privilegiado para experimentar y desarrollar prácticas computacionales propias de la modelización por ordenador.• Aportación del diseño ingenieril (preguntarse, imaginar, planificar, crear y mejorar) para promover las prácticas y perspectivas computacionales asociadas al diseño de programas informáticos.

Figura 4: Oportunidades de la enseñanza STEM para el aprendizaje digital.

Como hemos hecho en el apartado anterior, para esta discusión no haremos énfasis tanto en el tipo de herramientas existente (que resulta casi infinito) sino en el papel óptimo que debería desempeñar en las clases STEM. Consideramos que compartir qué papel pueden desempeñar servirá para decidir por qué y cómo usarlas en cada momento en el aula, más allá de modas pasajeras.

4.1. Para contribuir a la alfabetización digital de los futuros ciudadanos

Nuestra sociedad requiere de futuros ciudadanos alfabetizados digitalmente, capaces de desarrollarse en un mundo digital de la mejor forma posible, sabiendo recoger e interpretar todo tipo de información digital, comunicándose adecuadamente, de forma crítica y segura, produciendo sus propios contenidos digitales, etc. Si bien las disciplinas STEM no son las únicas que permiten desarrollar estas competencias básicas, estas conllevan un gran potencial, ya que existen diferentes razones por las que una buena forma de trabajar en el aula los contenidos STEM (basada en el marco de las prácticas STEM anteriormente expuesto) puede contribuir de manera significativa a una alfabetización digital de la población.

En primer lugar, creemos que los retos y contextos propios de las áreas STEM son óptimos para **aprender a identificar, organizar y analizar información digital, así como para crear y comunicar contenidos digitales**. Por ejemplo, en este marco se hace imprescindible comunicar los resultados de una investigación científica, una resolución matemática o un diseño ingenieril, y esto es una oportunidad dentro del aula para promover las habilidades y competencias comunicativas con soporte digital, una de las piezas clave identificadas por todos los referentes sobre educación digital. Son un ejemplo las actividades que promueven la elaboración de *Storytelling* por parte de estudiantes mediante diferentes tecnologías digitales (Tsai, Shen, & Lin, 2015). Algunas técnicas digitales como el *time lapse* o el *stop motion* son interesantes formas de comunicar ideas científicas o matemáticas, y los primeros resultados de investigación en contextos de enseñanza sobre el cuerpo humano (Valkanova & Watts, 2007) o la astronomía (Fridberg, Redfors, & Thulin, 2014) apuntan a la oportunidad que ofrecen tanto para comunicar ideas científicas como para desarrollar la competencia digital. El uso de otros soportes digitales, como paneles digitales (Domènech et al., 2016) o los foros usados en los entornos virtuales de aprendizaje son oportunidades para desarrollar la competencia digital. En este sentido, Monferrer y Forcano (2014) exponen como la necesidad de comunicar en soporte digital los resultados de pequeñas investigaciones hechas en el aula de Física promueve la competencia digital, en la medida en que los estudiantes deben aprender nuevas técnicas y lenguajes basadas en soporte digital. Finalmente, Hill & Grinnell (2014) señalan las infografías como técnicas de comunicación digital especialmente útiles en las áreas STEM, ya que su elaboración promueve la capacidad de sintetizar y estructurar la información a menudo compleja que caracteriza este ámbito.

Del mismo modo, una educación STEM también implica el desarrollo de maneras de pensar y razonar que son especialmente interesantes a la hora de **aprender a resolver problemas digitalmente, tomar decisiones y hacer uso de las tecnologías creativas**. De hecho, desde el análisis de la era digital en el ámbito profesional, a menudo se habla de la sociedad postindustrial o del conocimiento, caracterizada por el valor dado a la competencialidad o capacidad de utilizar el conocimiento con sentido y en contexto, y donde las demandas laborales tradicionales se están transformando (De Fruyt, Wille, & John, 2015; Valenduc & Vendramin, 2016). Trabajos que anteriormente habían implicado tareas repetitivas y rutinarias han cambiado, incorporando nuevas funciones (que incluyen tareas no rutinarias, como la búsqueda activa de soluciones a problemas, la necesidad de colaboración con otros compañeros, o un grado de competencia tecnológica alto) o bien han sido eliminados del todo (Neubert, Mainert, Kretzschmar, & Greiff, 2015). Más allá del dominio de sofisticadas tecnologías, la comunicación compleja, el pensamiento crítico o la capacidad de resolver problemas imprevistos son algunas de las llamadas competencias del s. XXI que la escolaridad debería garantizar entre los

ciudadanos del futuro en general, y los trabajadores en particular (Ananiadou & Claro, 2008). El cambio de paradigma que supone el paso hacia una sociedad basada en el conocimiento plantea, sin embargo, un gran reto: se hace inevitable el paso de una educación profesionalizadora de carácter técnico-manipulativo basada en el conocimiento práctico y la experiencia a una educación basada en las competencias transversales y el conocimiento profundo para ser utilizado, o lo que algunos llaman un conocimiento más sistemático que permite adaptarse a los continuos cambios en los que vivimos (Lipsmeier, 2016). La cuarta revolución industrial (Shatreovich & Strautmene, 2015), centrada en la incorporación de la Internet de las cosas, las Fábricas Inteligentes y los sistemas Ciberfísicos que combinan el mundo real con el virtual, implican procesos de producción cada vez más complejos (Hermann, Pentek, & Otto, 2016) donde para usar la tecnología hay que ser capaz de entenderla y modificarla adecuadamente. Los retos que se presentan a los trabajadores del futuro involucran conocimientos y competencias STEM integradas con competencias digitales de alto grado de sofisticación.

Finalmente, la enseñanza STEM debería ayudar a que nuestros estudiantes sean más capaces de **entender y modificar adecuadamente las herramientas digitales**. Así, la alfabetización digital esperada de los futuros debería implicar no solo el uso de herramientas digitales *per se*, sino su co-creación y adaptación a las necesidades individuales. El conocimiento científico, matemático y tecnológico juega un importante papel en esta capacidad de uso y adaptación de las tecnologías digitales para la capacidad de personalización e incluso fabricación digital de apps, video-juegos, simulaciones y otras herramientas y entornos digitales. En este sentido, se habla incluso de una nueva competencia denominada “de diseño” o “de invención”, dentro del paradigma de la democratización del diseño cada vez más al alcance del ciudadano de a pie (Blikstein, 2013), y que se plasma en la eclosión de los laboratorios de creación digital (los denominados *Fablab*), o por ejemplo las placas Arduino de hardware libre, que permiten la creación y personalización de todo tipo de dispositivos electrónicos. A nuestro entender, afrontar el riesgo de una nueva brecha digital (entre aquellas personas que serán capaces de crearse entornos a su medida y aquellas que no) pasa, entre otros factores clave, por garantizar un buen dominio de conocimientos científicos, matemáticos y tecnológicos de nuestros estudiantes.

A su vez, otro de los aspectos clave de la alfabetización digital de todo ciudadano que la enseñanza STEM puede promover **la capacidad para seleccionar y usar la información disponible en la red de forma crítica y segura**, identificando y contrastando autorías y fuentes de información fiables, así como realizando búsquedas dinámicas (Marquès & Sarramona, 2017). En este sentido, la apuesta por incorporar las llamadas controversias socio-científicas (SSI) en la educación STEM plantea una interesante oportunidad para esta selección crítica de información. En las SSI los estudiantes son enfrentados a dilemas o cuestiones sociales controvertidas donde interviene el conocimiento científico. En estos contextos los estudiantes deben acceder, interpretar y juzgar diferentes fuentes de información para elaborar una posición propia (Evagorou, Jimenez-Aleixandre, & Osborne, 2012; Sakschewski, Eggert, Schneider, & Bögeholz, 2014). Por ejemplo, plataformas como Engage³⁵ ofrecen recursos digitales centrados en controversias de esta naturaleza, y proponen a los estudiantes elaborar pequeñas investigaciones y discusiones sobre contenidos STEM para posicionarse ante las mismas.

³⁵ <http://www.engagingscience.eu>

4.2. Para contribuir al desarrollo del pensamiento computacional de los estudiantes

Basándonos en las diferentes definiciones de pensamiento computacional anteriormente expuestas, y asumiendo que esta manera de razonar y afrontar la resolución de problemas tanto profesionales como cotidianos es clave en la era digital, ¿qué ofrece la enseñanza STEM que contribuya a su desarrollo?

Para Wagh, Cook-Whitt, & Wilensky (2017) el ámbito de disciplinas STEM es un contexto óptimo para desarrollar el pensamiento computacional debido a los múltiples puntos de encuentro que hay entre estas diferentes disciplinas y las maneras de pensar y hacer del ámbito computacional. De hecho, Weintrop et al. (2016) defienden esta tesis a través de un extenso estudio, en el que afirman no sólo los estrechos vínculos entre el pensamiento computacional y las prácticas científico-matemáticas, sino cómo la tecnología computacional está transformando la propia naturaleza de estas prácticas STEM ejemplificándolo con la resolución computacional de problemas sobre secuenciación de ADN o las leyes de los gases. De hecho, el uso del pensamiento computacional ha sido recientemente incluido como una de las ocho prácticas científicas clave definidas anteriormente (Bybee, 2011). A nuestro entender, el proceso de modelización científica que debería promoverse en la escuela desde este marco -es decir, la expresión y revisión iterativa de los modelos que construyen los estudiantes (Justi & Gilbert, 2002)- implica una práctica educativa altamente aprovechable para **experimentar y desarrollar prácticas computacionales propias de la modelización por ordenador.**

A su vez, el dominio de **conceptos computacionales está estrechamente relacionada con el dominio del pensamiento y el lenguaje matemáticos** (Calao, Moreno-León, Correa, & Robles, 2015). Según la definición propuesta por Brennan & Resnick (2012), algunos de estos conceptos computacionales asociados a la programación son la idea de variable (valores, incrementos, ejes de coordenadas, ritmos), los condicionales que se expresan mediante operadores matemáticos (de condición, de orden, lógicos y aritméticos), y los algoritmos matemáticos que se expresan mediante la secuenciación de pasos. Weintrop et al. (2016) también destacan el papel clave que juega la capacidad de resolución de problemas matemáticos a la hora de que los estudiantes se enfrenten a la resolución de problemas computacionalmente. En este sentido, cabe destacar también el paradigma del diseño ingenieril (preguntarse, imaginar, planificar, crear y mejorar) **para promover las prácticas y perspectivas computacionales asociadas al diseño de programas informáticos.** Para Beauchamp (2016) este paradigma está presente en las situaciones en las que se moviliza el pensamiento computacional, ya que esto implica primero entender el problema, después plantear un diseño, plan o proyecto, posteriormente ejecutar el plan para resolver el problema y finalmente revisar el resultado. En este sentido, múltiples autores también han argumentado como el pensamiento creativo que se desarrolla cuando los estudiantes se enfrentan a la resolución de proyectos STEM contribuye es especialmente útil para enfrentarse a problemas de carácter computacional (Bennett, Koh, & Repenning, 2013; Brennan & Resnick, 2012; Mishra & Yadav, 2013).

5. Conclusiones

En este artículo hemos presentado un marco de análisis sobre el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas, que ayuda

a separar los procesos de enseñanza (y de las herramientas y contextos usados) de los procesos de aprendizaje (y de los objetos de aprendizaje en sí mismo). A lo largo de la discusión hemos señalado hasta qué punto usar ciertas herramientas digitales de una cierta forma puede ser beneficioso tanto para el desarrollo del aprendizaje STEM como del aprendizaje digital de niños y jóvenes, pero huyendo del triunfalismo naïf que asocia herramientas digitales como garantía de mejora del aprendizaje (Pintó, 2009; Simarro y Couso, 2018; de Jong, 2019).

A lo largo del documento hemos defendido una enseñanza y aprendizaje del ámbito STEM que sea coherente con el marco de la práctica STEM, las prácticas en las que se involucran los alumnos son análogas a las prácticas reales y profesionales de este ámbito (Grandy & Duschl, 2007; Izquierdo, Espinet, García, Pujol, & Sanmartí, 1999; Osborne, 2014; Vasquez, Sneider & Comer, 2013). Esto conlleva que el uso de las herramientas digitales también se haga de forma análoga al uso real y profesional de las mismas, dotando a todo el proceso educativo de mayor significatividad y sentido (López et al, 2017; Tsybulsky, 2019). Por este motivo, hemos agrupado el conjunto de argumentos entorno de cinco grandes bloques, que hemos desarrollado en los apartados anteriores: (a) la experimentación con fenómenos naturales y tecnológicos mediante la observación, manipulación, recogida y análisis de datos; (b) la elaboración de modelos científicos y matemáticos, y la interacción con representaciones virtuales de entidades abstractas; (c) la argumentación y comunicación de soluciones científicas, matemáticas y tecnológicas, así como la evaluación de pruebas y argumentos aportados por los demás; (d) la alfabetización digital (la cual es tan importante como la lectura y la escritura, y que por lo tanto es necesario poseerlas para acceder a todas las materias enseñadas a través del currículum); y (e) el pensamiento computacional (que no solo incluye nociones de programación informática mediante código, sino toda una manera de razonar y resolver problemas. Este conjunto de argumentos resumen nuestro posicionarnos a favor del uso, siempre crítico, reflexivo y fundamentado (Linn, 2003; Romero y Quesada, 2014) de las herramientas digitales en el aula STEM.

Este conjunto de argumentos no significa, sin embargo, que no haya inconvenientes en la introducción del mundo digital en la escuela, ni que esto sea lo único que hay que hacer en las aulas STEM. A lo largo de este artículo hemos mencionado importantes problemas existentes que, si bien consideramos que no deben imposibilitar el acceso a las herramientas digitales de niños y jóvenes en los entornos educativos, sí deben tenerse en cuenta para garantizar que este sea equitativo, ético y seguro. Creemos, de hecho, que cualquier iniciativa en la dirección de aumentar la presencia de las herramientas digitales debería garantizar estos requerimientos. Al no discutirlos en este artículo no pretendemos comunicar que no son aspectos importantes, sino todo lo contrario. Consideramos que lo son en gran medida y remitimos a los expertos en cada uno de ellos (brecha digital, seguridad digital, etc) para que nos ayuden en el trabajo diario necesario para afrontarlos, desde un posicionamiento crítico.

La existencia de estos inconvenientes, sin embargo, no debería usarse para llevar al debate de “herramientas digitales sí o no” o “acceso al mundo digital sí o no”, sino el debate de “cuándo, cómo y para qué” usar estas herramientas. En este sentido aun es necesaria mucha investigación para cada disciplina, práctica STEM y tipología de herramienta digital en concreto, así como también a partir de qué edades usarlas. En este artículo hemos querido revisar las principales aportaciones de diferentes tipologías de herramientas digitales para las tres esferas de práctica STEM más relevantes para la escolarización obligatoria de primaria y secundaria. Se requiere de mucha más

investigación en nuevas herramientas y sub-prácticas, así como en las formas de introducir y usar cada una de ellas en las diferentes etapas educativas.

Por último, compartir con el lector que toda la discusión realizada sobre las potenciales ventajas de determinadas herramientas digitales para la competencia de diversas prácticas STEM sólo tiene sentido si conseguimos involucrar activamente a los agentes más importantes en este proceso: educadores y docentes. Estos profesionales tienen el enorme reto de seleccionar, usar de forma ejemplar, crear la necesidad de uso en sus alumnos, y evaluar el uso de estas herramientas digitales para el aprendizaje de contenidos, por ejemplo, de STEM. Este no es un reto sencillo, a pesar de que demasiado a menudo se ha trivializado introduciendo herramientas en el aula de forma poco reflexionada y sin casi formación docente. Coincidimos con otros autores al pensar que, como en todas las innovaciones educativas, los docentes necesitan “apropiarse” de las herramientas digitales y de la perspectiva de la práctica STEM si han de ser capaces de diseñar y/o ejecutar entornos de aprendizaje efectivos que aprovechen su potencial (Ogborn, 2002). Este proceso de apropiación no es sencillo, ni se puede realizar de una vez para siempre en una formación puntual. Se trata más bien de acompañar al profesorado en un proceso de desarrollo profesional que se dirija hacia un posicionamiento reflexivo respecto a lo digital, que fomente en el profesorado un análisis crítico de cada herramienta y en particular del tipo de actividad cognitiva, social y discursiva que la misma permite y fomenta en su aula.

Declaración

El autor no informó ningún potencial conflicto de intereses.

Presentación del artículo: 1 de julio de 2019

Fecha de aprobación: 10 de febrero de 2020

Fecha de publicación: 30 de marzo de 2020

López, V., Couso, D., Simarro, C. (2019). Educación STEM en y para un mundo digital: el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. RED. Revista de Educación a Distancia, 62. Consultado el (dd/mm/aaaa) en DOI: http://dx.doi.org/10.6018/red.410011

Financiación

Investigación financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad (con referencia PGC2018-096581-B-C21) y realizada en el marco del grupo consolidado ACELEC reconocido por la AGAUR (con referencia 2017SGR1399).

Referencias

Abdulwahed, M., & Nagy, Z. K. (2011). The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model. *Computers & Education*, 56, 262–274.

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VFW-4JXPS4C-1/2/674d9e5ed47f7a90551606d4f2923ff9>
- Alonso, M. F. (2011). Demostraciones experimentales sobre la caída libre. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, (69), 99–112.
- Ananiadou, K., & Claro, M. (2008). *21st Century Skills and Competencies for New Millenium Learners in OECD. Edu/Wkp (2009)20*.
- Andrade-Lotero, L. A. (2014). Si galileo galilei hubiera tenido una cámara digital: Enseñando ciencias a una generación digital. *Ensenanza de Las Ciencias*, 32(1), 243–261. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.998>
- Araujo, I. S., Veit, E. A., & Moreira, M. A. (2008). Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. *Computers & Education*, 50(4), 1128–1140. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.004>
- Beatty, I. D., & Gerace, W. J. (2009). Technology-Enhanced Formative Assessment: A Research-Based Pedagogy for Teaching Science with Classroom Response Technology. *Journal of Science Education and Technology*, 18(2), 146–162. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9140-4>
- Beauchamp, G. (2016). *Computing and ICT in the Primary School: From pedagogy to practice*. Routledge.
- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5), 23–38. <http://doi.org/10.1037/a0019454>
- Beheshti, E. (2017). Computational Thinking in Practice: How STEM Professionals Use CT in Their Work. In *American Education Research Association Annual Meeting 2017*. Retrieved from <http://par.nsf.gov/biblio/10026245>
- Beichner, R. J., & Abbott, D. S. (1999). Video-Based Labs for Introductory Physics. *Journal of Computer Science and Technology*, (November), 101–104.
- Bennett, V. E., Koh, K., & Repenning, A. (2013). Computing Creativity: Divergence in Computational Thinking. In *Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education - SIGCSE '13* (pp. 359–364). <https://doi.org/10.1145/2445196.2445302>
- Blikstein, P. (2013). Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. In J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*. Bielefeld: Transcript Publishers.
- Bounfour, A. (2016). *Digital Futures, Digital Transformation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23279-9>
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *annual meeting of the American Educational Research Association* (pp. 1–25). Vancouver.
- Bybee, R. (2011). Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms: Understanding “A Framework for K-12 Science Education.” *Science Teacher*, 78(1), 34–40.
- Calao, L. A., Moreno-León, J., Correa, H. E., & Robles, G. (2015). Developing Mathematical Thinking with Scratch An Experiment with 6th Grade Students. In *EC-TEL 2015* (pp. 17–27). Toledo (Spain). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24258-3>

- Calderón, S., Núñez, P., Di Laccio, J. L., Iannelli, L. M., & Gil, S. (2015). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 12(1), 212–226. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4983182&info=resumen&idioma=ENG>
- Chalmers, C., Carter, M. L., Cooper, T., & 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. <http://doi.org/10.1007/s10763-017-9799-1>
- Comer, M., Sneider, C., & Vasquez, J. A. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Common Core State Standards Initiative (2014). *Standards in your state*. Retrieved from: www.corestandards.org/in-the-states
- Cook, M., Wiebe, E. N., & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, 92(5), 848–867. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/sce.20262>
- Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Un intent de definir l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Ciències*, 34, 22-30
- Crujeiras, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. Aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pasta de dientes. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 72, 12–19.
- De Fruyt, F., Wille, B., & John, O. P. (2015). Employability in the 21st Century: Complex (Interactive) Problem Solving and Other Essential Skills. *Industrial and Organizational Psychology*, 8(2), 276–281. <https://doi.org/10.1017/iop.2015.33>
- de Jong, T. (2019). Moving towards engaged learning in STEM domains; there is no simple answer, but clearly a road ahead. *Journal of computer assisted learning*, 35(2), 153-167.
- Dede, C. (2007). *Transforming Education for the 21 st Century : New Pedagogies that Help All Students Attain Sophisticated Learning Outcomes*.
- Domènech-Casal, J., Llorente, I., Ruiz, N., Serra, C., Ulldemolins, M., Arrizabalaga, A., & Domènech Casal, J. (2016). XYZ-Stars i Solar System Pathway: *Ciències : revista del professorat de ciències de primària i secundària*, (31), 0021–0028. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/159719>
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2012). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22, 2109–2139.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*.
- ECDL Foundation. (2015). *Computing and Digital Literacy - Call for a Holistic Approach*.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. <http://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- European Commission. (2012). *Rethinking education: investing in skills for better socio-economic outcomes*. Strasbourg. Retrieved from <http://www.eqavet.eu/gns/library/policy-documents/policy-documents-2012.aspx>
- European Commission. (2013). Horizon 2020. Work Programme 2014-2015. General introduction.
- European Commission. (2014). Measuring Digital Skills across the EU: EU wide

- indicators of Digital Competence.
- European Schoolnet, & University of Liège. (2013). *Survey of schools: ICT in education, benchmarking access, use and attitudes to technology in Europe's schools, final study report*. <https://doi.org/10.2759/94499>
- Evagorou, M., Jimenez-Aleixandre, M. P., & Osborne, J. (2012). "Should We Kill the Grey Squirrels?" A Study Exploring Students' Justifications and Decision-Making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401–428. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.619211>
- Faulder, T. R. (2011). *Technology Integration: A Research-Based Professional Development Program*.
- Fridberg, M., Redfors, A., & Thulin, S. (2014). The role of science in Swedish pre-schools: children's collaborative learning scaffolded by iPads. In *24rd EECERA Conference*.
- Fridberg, M., Thulin, S., & Redfors, A. (2017). Preschool children's Collaborative Science Learning Scaffolded by Tablets. *Research in Science Education*. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9596-9>
- García, A., Arnau, D., & Arevalillo-Herráez, M. (2015). Sobre el efecto de usar el nombre de las cantidades en lugar de sus valores cuando se resuelven problemas de fracciones con un sistema tutorial inteligente. *ENSAYOS, Revista de La Facultad de Educación de Albacete*, 30(1), 23–33.
- Giménez Esteban, C. (2016). GeoGebra: ¿un juguete para el profesorado o una herramienta para su alumnado? *Uno. Revista de Didáctica de Las Matemáticas*, (71), 26–32. Retrieved from <https://ec.europa.eu/epale/en/resource-centre/content/computing-and-digital-literacy-call-holistic-approach>
- Gómez, M. A., Cañas, A. M., Gutiérrez, M. S., & Martín-Díaz, M. J. (2014). Ordenadores en el aula: ¿Estamos preparados los profesores? *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación Y Experiencias Didácticas*, 32(2), 239–250. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.939>
- González-Calero, J. A., & Arnau, D. (2013). La utilización de la hoja de cálculo en primaria: un puente entre la aritmética y el álgebra. In *Las TIC en el aula desde un enfoque multidisciplinar. Aplicaciones prácticas* (pp. 99–124). Barcelona: Ediciones Octaedro, S.L.
- Grandy, R., & 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. <http://doi.org/10.1007/s11191-005-2865-z>
- Gutiérrez-Soto, J., Arnau, D., & González-Calero, J. A. (2015). Un estudio exploratorio sobre el uso de Dragon Box Algebra como una herramienta para la enseñanza de la resolución de ecuaciones. *ENSAYOS, Revista de La Facultad de Educación de Albacete*, 30(1), 33–44.
- Handal, B., El-Khoury, J., Campbell, C., & Cavanagh, M. (2013). A framework for categorising mobile applications in mathematics education. In *Australian Conference on Science and Mathematics Education*.
- Hennessy, S., Deane, R., & Ruthven, K. (2006). Situated Expertise in Integrating Use of Multimedia Simulation into Secondary Science Teaching. *International Journal of Science Education*, 28(7), 701–732.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (pp. 3928–3937). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hill, S., & Grinnell, C. (2014). Using digital storytelling with infographics in STEM

- professional writing pedagogy. In *2014 IEEE International Professional Communication Conference (IPCC)* (pp. 1–7). Pittsburgh, PA.
- Hsu, Y., Hwang, F., Wu, H., Li-Fen, L., & I-Chung, K. (2006). Analysis of Experts' vs. Novices' Modeling. In *Modelling in Physics and in Physics Education. GIREP 2006*. University of Amsterdam.
- ICT Literacy Panel. (2002). *Digital Transformation: A Framework for ICT Literacy. A Report of the International ICT Literacy Panel. Educational Testing*. Retrieved from <http://www.ets.org/research/icliteracy>
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de Las Ciencias, número ext*(December 2015), 79–91.
- Jimoyiannis, A. (2010). Designing and implementing an integrated technological pedagogical science knowledge framework for science teachers professional development. *Computers & Education, 55*(3), 1259–1269.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., & Freeman, A. (2014). *NMC Horizon Report: 2014 K-12 Edition*. Austin, Texas.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369–387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Kopcha, T. J., McGregor, J., Shin, S., Qian, Y., Choi, J., Hill, R., ... Choi, I. (2017). Developing an Integrative STEM Curriculum for Robotics Education Through Educational Design Research. *Journal of Formative Design in Learning*. <https://doi.org/10.1007/s41686-017-0005-1>
- Koupil, J., & Vícha, V. (2011). Simple phenomena, slow motion, surprising physics. *Physics Education, 46*(4), 454–460. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/4/015>
- Krajcik, B. J., & Merritt, J. (2012). Engaging Students in Scientific Practices: What does constructing and revising models look like in the science classroom? *Science Teacher, 79*(1), 38–41.
- Lavonen, J., Juuti, K., & Meisalo, V. (2003). Designing a user-friendly microcomputer-based laboratory package through the factor analysis of teacher evaluations. *International Journal of Science Education, 25*(12), 1471–1487. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072755>
- Lawrence, I. (2004). Modelling simply, without algebra: beyond the spreadsheet. *Physics Education, 39*(2003), 281–288.
- Lenaerts, J., Wieme, W., Janssens, F., & Van Hoecke, T. (2002). Designing digital resources for a physics course. *European Journal of Physics, 23*, 175–182.
- Levinson, R., & PARRISE Consortium. (2014). Socio-scientific issue-based learning: taking off from STEPWISE. In J. Bencze (Ed.), *Science & technology education promoting wellbeing for individual, societies & environments*. Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V.
- Linn, M. (2003). Technology and science education: starting points, research programs, and trends. *International Journal of Science Education, 25*(6), 727–758.
- Lipsmeier, A. (2016). Approaches towards enhanced praxis-orientation in vocational teacher education (VTE). *TVET@Asia, 6*.
- Liu, S.-H. (2011). Factors related to pedagogical beliefs of teachers and technology integration. *Computers & Education*.
- López., Couso, Simarro, Garrido, Grimalt, Hernández & Pintó (2017). El papel de las TIC en la enseñanza de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *Enseñanza de las Ciencias, (Extra)*, 0691-698

- López, V., & Hernandez, M. I. (2015). Scratch as a computational modelling tool for teaching physics. *Physics Education*, 50(3), 310–316. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/3/310>
- López, V., & Pintó, R. (2017). Identifying secondary-school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 39(19), 1353–1380. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1332441>
- Lowe, D., Newcombe, P., & Stumpers, B. (2013). Evaluation of the Use of Remote Laboratories for Secondary School Science Education. *Research in Science Education*, 43(3), 1197–1219. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9304-3>
- Marquès, P., & Sarramona, J. (2017). *Competències bàsiques de l'àmbit digital*.
- Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J., & Tompsett, C. (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. London: Falmer Press.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015) Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-738-consolidado.pdf>
- Mishra, P., & Yadav, A. (2013). Of Art and Algorithm: Rethinking Technology & Creativity in the 21st Century. *TechTrends*, 57(3), 10–14. <https://doi.org/10.1007/s11528-013-0668-7>
- Mokros, J. R., & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369–383.
- Monferrer, J. L., & Forcano, A. (2014). El aprendizaje colaborativo y las TIC en clase de física. *Alambique Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 37–44.
- Neubert, J. C., Mainert, J., Kretschmar, A., & Greiff, S. (2015). The Assessment of 21st Century Skills in Industrial and Organizational Psychology: Complex and Collaborative Problem Solving. *Industrial and Organizational Psychology*, 8(2), 238–268. <https://doi.org/10.1017/iop.2015.14>
- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC.: National Academy of Sciences.
- Ogborn, J. (2002). Ownership and transformation: teachers using curriculum innovations. *Physics Education*, 37(2), 142–146. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/2/307>
- Oldknow, A., Taylor, R., & Tetlow, L. (2010). *Teaching Mathematics Using ICT*. Continuum International Publishing Group.
- Olympou, G., Zacharia, Z., & de Jong, T. (2012). Making the invisible visible: enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41, 575–596.
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 177–196. <http://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London (UK): Nuffield Foundation.
- Osborne, J., & Hennessy, S. (2007). ICT : Promise , Problems and Future Directions Literature Review in Science Education and the Role of ICT : Promise , Problems and Future Directions.
- Ouariachi, T., Olvera-Lobo, D., & Gutiérrez-Perez, J. (2017). Evaluación de juegos

- online para la enseñanza y aprendizaje del cambio climático. *Enseñanza de Las Ciencias*, 35(1), 193–214. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2088>
- Papert, S. (1999). What is Logo? And Who Needs It? In *Logo Philosophy and Implementation* (pp. IV–XVII).
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., ... Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Pintó, R. (2009). Choosing ICT: a matter of learning about learning Science. In P. Kariotoglou, A. Spyrtou, & A. Zoupidis (Eds.), *Πρακτικά του Συνεδρίου*. Florin (Greece): School of education, University of Western Macedonia.
- Pintó, R., Couso, D., & Hernández, M. I. (2010). An Inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*, 20.
- Rogoff, B. (1994). Developing understanding of the idea of communities of learners. *Mind, Culture, and Activity*, 1(4), 209–229.
- Romero, M., & Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación Y Experiencias Didácticas*, 32(1), 101–115.
- Russell, D. W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 165–185. <https://doi.org/10.1002/tea.10129>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58, 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Rychen, D. S., & Salganik, L. H. (2003). *Las competencias clave para el bienestar personal, social y económico*. (D. S. Rychen & L. H. Salganik, Eds.). Málaga: Ediciones Aljibe.
- Saez, J., & Cózar, R. (2016). Pensamiento computacional y programación visual por bloques en el aula de Primaria. *Educación*, 53(1), 126–149.
- Sakschewski, M., Eggert, S., Schneider, S., & Bögeholz, S. (2014). Students' Socioscientific Reasoning and Decision-making on Energy-related Issues—Development of a measurement instrument. *International Journal of Science Education*, 36(14), 2291–2313. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.920550>
- Schnotz, W. (2004). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension . In R. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* .
- Shatrevich, V., & Strautmane, V. (2015). Industrialisation factors in post-industrial society. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 3(2), 142–153.
- Simarro, C. & Couso, D. (2018). Visiones en educación STEAM: y las mates, ¿qué?. *Uno: Revista de didáctica de las matemáticas*, (81), 49-56.
- Simarro, C., López, V., Cornellà, P., Perea, M., Niell, M., & Estebanell, M. (2016). Més enllà de la programació i la robòtica educativa : el pensament computacional en l' ensenyament STEAM a infantil i primària . *Ciències. Revista Del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària I Secundària*, 32, 38–46.
- Sjøberg, S. (1997). Scientific literacy and school science: arguments and second thoughts. (Ed.),. In S. Sjøberg & E. Kallerud (Eds.), *Science, Technology and Citizenship. The Public Understanding of Science and Technology in Science Education and Research Policy* (pp. 9–28). Norwegian Institute for Studies in Research and Higher

Education.

- Straub, E. T. (2009). Understanding Technology Adoption: Theory and Future Directions for Informal Learning. *Review of Educational Research*, 79(2), 625–649. <https://doi.org/10.3102/0034654308325896>
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58(9), 858. <https://doi.org/10.1119/1.16350>
- Torres-Climent, A. L. (2010). Empleo del laboratorio asistido por ordenador en la Enseñanza de la Física Y Química de Secundaria y Bachillerato. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 7(3), 693–707.
- Tsai, C., Shen, P., & Lin, R. (2015). Exploring the Effects of Student-Centered Project-Based Learning with Initiation on Students' Computing Skills: A Quasi-Experimental Study of Digital Storytelling. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 11(1), 27–43. <https://doi.org/10.4018/ijicte.2015010102>
- Tsybulsky, D. (2019). Transformations and Emerging Implementations of Scientific Practices in the Digital Age. *International History, Philosophy, and Science Teaching [IHPST] Proceedings*.
- Valenduc, G., & Vendramin, P. (2016). *Work in the digital economy: sorting the old from the new*.
- Valiente, O. (2010). 1-1 in Education: Current Practice, International Comparative Research Evidence and Policy Implications. *OECD Education Working Papers*, 44, 20.
- Valkanova, Y., & Watts, M. (2007). Digital story telling in a science classroom: reflective self-learning (RSL) in action. *Early Child Development and Care*, 177(6–7), 793–807. <https://doi.org/10.1080/03004430701437252>
- van der Meij, J., & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16, 199–212.
- Van Riesen, S. A. N., Gijlers, H., Anjewierden, A. A., & de Jong, T. (2016). Supporting planning and conducting experiments. In *Transforming Learning, Empowering Learners: Proceedings of the 12th International Conference of the Learning Science, ICLS 2016*, (pp. 823–826). Singapore: International Society of the Learning Sciences.
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth: Heinemann
- Vera Mathias, F., Rivera Campos, R., Fuentes, R., & Romero Maltrana, D. (2015). Estudio del movimiento de caída libre usando vídeos de experimentos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 12(3), 581–592. Retrieved from <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/720>
- Wagh, A., Cook-Whitt, K., & Wilensky, U. (2017). Bridging inquiry-based science and constructionism: Exploring the alignment between students tinkering with code of computational models and goals of inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.21379>
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>

- Wieman, C., Adams, W., & Perkins, K. (2008). PhET: simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Wing, J. (2006). Computational thinking. In *Commun. ACM* 49 (pp. 33–35).
- Zapata-Ros, M. (2015). Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, (46). <https://doi.org/10.6018/red/46/4>