

# Tema d'anàlisi:

## STEM: Oportunitades y retos desde la Enseñanza de las Ciencias

UTE. Revista de Ciències de l'Educació

Monogràfic 2019. Pàg. 155-168

ISSN 1135-1438. EISSN 2385-4731

<http://revistes.publicacionsurv.cat/index.php/ute>



DOI: <https://doi.org/10.17345/ute.2019.2>

**Aportación de Jordi Domènech Casal** 

### Resumen

El término STEM es polisémico y tiene actualmente una gran presencia en ámbitos de innovación en enseñanza de las ciencias. Sintetiza un conjunto de objetivos políticos en relación al desarrollo de vocaciones científico-tecnológicas, inclusión y ciudadanía. En este artículo se identifican vías de acción metodológica para desplegar los objetivos STEM desde la didáctica de las ciencias (Indagación, Controversias, Aprendizaje Basado en Proyectos, Pseudociencias,...). Se proponen ejemplos de actividades aplicadas en las aulas y se analizan las aportaciones de cada vía de acción y potenciales dificultades. Como conclusión, se discute el encaje entre los objetivos políticos STEM y la misión social de la educación como vía para una ciudadanía competente.

**Palabras Clave:** STEM, Ciudadanía, Didáctica de las Ciencias, Competencia científica. Controversias Socio-científicas.

### Abstract

"STEM" is a polysemic word very present in innovative frames on Science Education. It shapes several political goals related to increasing scientific and technologic careers, inclusion and citizenship. In this article we identify several methodologic lines from Science didactics to develop STEM goals (Inquiry, Socio-Scientific Issues, Project-Based Learning, Pseudoscience,...). We describe examples of classroom activities and analyse its contributions and potential difficulties. As a conclusion, we discuss the matching of the STEM political goals with the social purpose of education as a way for competent citizenship.

**Keywords:** STEM, Citizenship, Science didactics, scientific competence, Socio-Scientific Issues.

## 1. La emergencia STEM y su significado

El término "emergencia" tiene un doble significado. Por un lado, significa surgimiento, por el otro comunica urgencia. El primero de estos significados representa bien la rápida expansión y amplia presencia actual del término "STEM", con amplia financiación pública y privada. Es complejo definir el término STEM desde la didáctica, y solemos encontrarlo usado con distintos significados (Akerson,

Burgess, Gerber & Guo, 2018; Bybee, 2010; Martín-Páez et al., 2019). En ocasiones STEM significa trabajo “interdisciplinar” integrando la Ciencia, la Tecnología, la Ingeniería y las Matemáticas -obviando que la pedagogía ya tenía un término para eso (“interdisciplinar” o “trabajo integrado”)-. En ocasiones, el término mantiene ese significado interdisciplinar como STEAM, incorporando una A de Artes, que puede ser en sentido estricto (pintura, escultura, danza...) o en sentido amplio (literatura, filosofía... lo que llamamos Humanidades). Frecuentemente esta “A” se reivindica como aportación a la creatividad (Henriksen, 2014), hiriendo algunas susceptibilidades al sugerir que las demás áreas no tienen sus propios espacios de creatividad, lo que no está colaborando precisamente a la armonía interdisciplinar. Por alguna razón, esa definición como “interdisciplinar” convive pacíficamente en desconcertante contradicción con otras que asocian STEM de forma primordial a la enseñanza de la robótica y la programación (o el uso de aparataje TIC o incluso el laboratorio de Ciencias) que –debemos reconocer– suelen tener en la práctica poco de interdisciplinares. De un modo genérico, pero pocas veces explícito, suele asociarse STEM a lo que se ha llamado “soft skills” o habilidades prácticas vinculadas a la autonomía, como el trabajo en equipo, el análisis crítico, la creatividad o el Pensamiento computacional (Wing, 2006; Simarro & Couso, 2016; Couso, 2017). Años después de la “emergencia” del término STEM en el mundo educativo, su polisemia continúa siendo amplia. Desde nuestro punto de vista, la causa de que esté siendo tan difícil dotar de significado didáctico o pedagógico el término STEM es que en realidad no lo tiene. ¿Qué significa entonces?

### 1.1 STEM como objetivo político

En 1957, la URSS asombró al mundo al poner por primera vez un satélite en órbita, el Sputnik. Tras ese salto adelante en la carrera espacial, sólo un año después, el presidente de EEUU Dwight D. Eisenhower promulgó la National Defense Education Act. Esa ley daba un gigantesco impulso a la educación en Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM), desde primaria a la Universidad, con el objetivo de aumentar la potencia científica e ingeniera del país y competir con la URSS. Once años después, Neil Armstrong descendía del Apolo XI y plantaba la bandera de EEUU en la Luna, un hito del que celebramos hoy el 50 aniversario.

Volvamos a nuestro siglo. En 2006, el informe Rocard (2006) avisó de que no hay suficientes vocaciones científico-tecnológicas entre el alumnado para hacer frente a los retos europeos económicos y de desarrollo industrial, en un momento de gran competitividad internacional. Y el problema se acrecienta en relación al género y el origen socio-económico: las alumnas y el alumnado de origen socio-económico humilde accede en muy baja proporción a las vocaciones científico-tecnológicas. Este segundo aspecto está teniendo ya en el presente efectos muy negativos en la equidad y en la amplitud del espectro tecnológico (p.e.: la falta de mujeres ingenieras es un sesgo que reduce enormemente la diversidad de perspectivas y la capacidad de la ingeniería de ofrecer respuestas distintas y amplias a problemas nuevos). Además, el desarrollo tecnológico está encontrando también barreras en su transferencia al mundo industrial: innovaciones de gran potencial que han supuesto grandes inversiones (transgénicos, nanotecnología) encuentran y pueden seguir encontrando dificultades en su transferencia industrial debido a la oposición de la población (algunas veces debida al desconocimiento o la tecnofobia). Llegados a este punto podemos asumir que STEM no es una metodología, sino que fue entonces, y vuelve a ser hoy, un conjunto de objetivos políticos, que podemos sintetizar como:

- Vocaciones y competencia profesional: Promover las vocaciones científico-tecnológicas y su capacidad para afrontar nuevos retos.
- Inclusión: Corregir el sesgo de género y socioeconómico en el acceso a estas vocaciones.
- Ciudadanía: Formar a una ciudadanía competente para participar en la definición de la agenda de innovación e investigación.

En su transferencia al mundo educativo, se han etiquetado como STEM distintos enfoques metodológicos, herramientas tecnológicas y perspectivas educativas precedentes o de nuevo cuño que podían “sumar” a la consecución de estos objetivos (Domènech-Casal, Lope & Mora, 2019; Domènech-Casal, 2019a). Así, el trabajo integrado o el Pensamiento computacional han entrado en la órbita STEM como vía para la competencia profesional, y el arte o la perspectiva de género como vía para atraer alumnas a las áreas STEM (Couso, 2017). Si bien esto ha generado la confusión de que estas y otras opciones tenían intrínsecamente un valor o identidad metodológica STEM, lo cierto es que la tienen en la medida en que sirven a la consecución de los objetivos políticos STEM. Lo honesto y lo práctico, más que intentar dotar a STEM de un significado didáctico o metodológico per se, sería considerar STEM todo lo que pueda sumar a la consecución de esos objetivos políticos.

## **1.2 STEM, Ciudadanía y Educación**

El segundo significado de “emergencia”, el de urgencia o apremio, podemos vincularlo al objetivo STEM de Ciudadanía. Nos encontramos ante un cambio de modelo de lo que significa la ciudadanía, en el que el ciudadano no ejerce sólo en su faceta de consumidor y votante particular. También como miembro activo y en comunidad, sin considerar necesariamente la mediación de los estados o poderes políticos convencionales (Turner, 1999). Una nueva ciudadanía que aspira a participar de forma directa en la agenda de innovación e investigación: “¿Debemos investigar sobre transgénicos, o sobre agricultura ecológica?” “Deben los centros públicos dar voz a propuestas para o pseudocientíficas?” “¿Está lista la nanotecnología para la medicina?”. Además de tomar decisiones participadas por la ciencia, identificando e instrumentalizando los modelos científicos en contextos cotidianos, esta nueva ciudadanía debe ser capaz de actuar como integrante de una comunidad para llevar a cabo sus decisiones, de forma independiente, o incluso opuesta, a agendas o planes de los Estados o poderes económicos. Esta “ciudadanía expandida” conlleva también una versión ampliada de la componente científica de la competencia ciudadana (Scitizenship), y que podríamos resumir en tres instancias: Comprender, Decidir y Actuar (Elam & Bertilsson, 2003; Lemke, 2006; Domènech-Casal, 2018a). Pero lo cierto es que distintos indicadores (entre ellos el auge de las Pseudociencias) alertan que hay todavía deberes por hacer. Lo que Carl Sagan (1995) advertía como: “vivimos en una sociedad dependiente de las ciencias y la tecnología, en la que prácticamente nadie sabe nada sobre la ciencia o la tecnología”. Ante este cambio veloz, sería un error considerar que la formación ciudadana en ámbitos STEM es sólo algo que surge de intereses económicos estratégicos. Es también algo que urge como herramienta de emancipación ciudadana. Y esto ha disparado otros programas internacionales paralelos y sinérgicos a STEM, como los que promueven la Ciencia ciudadana y la Innovación e Investigación Responsable (Serrano et al., 2014; Alcaraz-Domínguez et al., 2015, Comisión Europea, 2015).

Como hemos dicho, la emergencia STEM se atiende en muy diversas formas. Aunque está extendiéndose la idea que para enseñar bien ciencias hay que hacerlo como STEM, visto el significado de STEM, parece más razonable la inversa. Para desarrollar realmente STEM es necesario enseñar bien ciencias, en lo que la didáctica de las ciencias ofrece enfoques metodológicos de interés. A continuación, describimos las aportaciones STEM de algunos de esos enfoques junto con ejemplos que hemos aplicado en las aulas y discutimos algunos retos de ese despliegue.

## **2. Oportunidades de la didáctica de las ciencias para el despliegue STEM**

### **2.1 La Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación**

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) propone que el alumnado aprenda ciencias emulando el proceso investigativo que sigue la ciencia para crear conocimiento: formular una pregunta investigable, diseñar experimentos y/o recoger y analizar datos, sacar conclusiones de datos, formular una explicación. Según el modo de su aplicación o la estructura de las actividades, esto puede perseguir

el aprendizaje de (Hodson, 1994; Windschitl, Thompson & Braaten 2008; Couso, 2014): 1) Los conceptos y modelos científicos; 2) Las Inquiry skills, o habilidades de razonamiento científico; 3) El modo en que la Ciencia crea conocimiento, o Naturaleza de la Ciencia. Suelen ser actividades desarrolladas en el laboratorio, aunque también pueden realizarse con simuladores y otros materiales TIC (Domènech-Casal, 2014; López et al., 2017), y tienen distintos grados de apertura según la participación del alumnado en la toma de decisiones.

En la actividad "Mystery boxes" (Domènech-Casal, 2013) se emula la actividad de indagación de los científicos. El alumnado recibe varias cajas cerradas y opacas y debe descubrir qué hay dentro de ellas, sin abrirlas. Esto se hace recogiendo datos (sopesando y agitando las cajas, escuchando y comparado sonidos...) y discutiendo y argumentando con los compañeros qué modelo puede consensuarse sobre el contenido de cada uno de las cajas y con qué grado de certidumbre.

Materiales de la actividad: <https://bit.ly/2KvBUMb>

*Tabla 1: Aportaciones de la metodología a los objetivos STEM*

Objetivo STEM	Aportaciones de la metodología
Vocaciones	El diseño de experimentos requiere un pensamiento hipotético y una secuenciación y anticipación vinculadas al Pensamiento Computacional, además de aspectos de creatividad (tanto en lo que refiere a la construcción de hipótesis como al diseño experimental en sí). Las opciones tecnológicas de trabajo con sensores son también una vía de ganar en interactividad y sumar a la demostrada capacidad de esta metodología de empoderar al alumnado para la Ciencia y generar interés.
Ciudadanía	Apropiación de los valores de la ciencia y el conocimiento de la Naturaleza de la Ciencia (cómo funciona la Ciencia, qué fiabilidad tiene, cómo se construye en comunidad).

## 2.2 Controversias socio-científicas

Las Controversias Socio-Científicas son dilemas de respuesta abierta participados por la ciencia, pero también por aspectos éticos y políticos (Kolsto 2001, Sadler 2009, España y Prieto, 2010). Pueden ubicarse en distintos ámbitos (sostenibilidad, bioética, salud, seguridad, desarrollo tecnológico...) y adquirir distinta magnitud, personal ("¿Qué coche me compro?") o social ("¿Debería prohibirse el diésel?") (Díaz & Jiménez-Liso, 2012) y se orientan a la toma de decisiones en las que suelen participar valores personales, haciendo emerger concepciones alternativas y permitiendo un aprendizaje más profundo de los conceptos científicos.

En la actividad de "Dilema sobre cultivos transgénicos" (Domènech-Casal, 2013) se propone al alumnado la discusión entre dos personajes sobre si aceptar o no el cultivo de transgénicos en un campo cercano al municipio. En la discusión participan de forma explícita o implícita distintos intereses (beneficios económicos, uso médico de la planta transgénica, explotaciones ecológicas) y conocimientos científicos (qué son y cómo funcionan los transgénicos, datos sobre su impacto ecológico y seguridad alimentaria), y el alumnado debe posicionarse en un ensayo final, explicitando sus motivos y sus valores (respeto al medio ambiente, promoción de la salud, tecnofobia o tecnofilia...). En el proceso de la actividad, los distintos elementos (de carácter científico o social) se categorizan para identificar su aportación a la resolución del dilema.

Materiales de la actividad <https://wp.me/p25seH-BU>

Un formato organizativamente más ambicioso es la **Innovación e Investigación Responsable**, en la que se promueve que el debate y decisiones del alumnado participe en la construcción de la agenda de

investigación o innovación de instituciones o empresas colaboradoras (Alcaraz-Domínguez et al, 2015).

*Tabla 2: Aportaciones de la metodología a los objetivos STEM*

<b>Objetivo STEM</b>	<b>Aportaciones de la metodología</b>
Vocaciones	Promueve la conexión de aspectos científicos y tecnológicos a temáticas relevantes para el alumnado, y muestra el papel crucial de la ciencia y la tecnología en aspectos de la vida del día a día, con escenarios del mundo profesional.
Ciudadanía	Desarrollo de las capacidades de análisis crítico, uso de pruebas y consideraciones éticas y argumentación en contextos participados por la Ciencia. Desarrollo de distintos aspectos de educación democrática (cada uno tiene distintos valores, puede llegarse a soluciones consenso o compromiso ,... ) y conocimiento de las palancas de acción sobre el sistema.

### 2.3 Trabajo con Pseudociencias y Tecnofobias.

Además de Controversias Socio-Científicas, la ciencia participa (y está formada por) Controversias Científicas, es decir ideas o puntos en los que la comunidad científica no ha llegado todavía a un acuerdo (por falta de pruebas o divergencias en la interpretación de estas). Por ejemplo, la naturaleza de la materia oscura o el origen evolutivo de algunas especies es hoy objeto de controversia científica. Este hecho, que forma parte de la Naturaleza de la Ciencia es explotado a menudo desde ámbitos pseudocientíficos, presentando como ciertas cosas que la comunidad científica considera controvertidas o falsas. Lo son por ejemplo los Chemtrails (la convicción de que las estelas de los aviones son fumigaciones con oscuros propósitos de control mental), la Homeopatía o los mensajes tecnofóbicos sobre los efectos de las ondas Wi-Fi. Distinguir Ciencia de Pseudociencia es un objetivo clave de la educación científica que implica conocimiento de la Naturaleza de la Ciencia y habilidades de Lectura y pensamiento Crítico (Vieira, Tenreiro-Vieira & Martins, 2010, Osborne, 2014, García-Molina, 2015, Domènech-Casal, en edición; Sardà, Màrquez & Sanmartí, 2006).

En la actividad Vacunas y salud se propone al alumnado la lectura de una conversación (hilo) de Twitter en el que se argumenta desde distintas posturas sobre la eficacia y seguridad de las vacunas. A lo largo de distintas etapas, el alumnado analiza modelos científicos sobre inmunidad y toxicidad, saca conclusiones de datos de distintas fuentes y valida fuentes y testimonios como fiables o no fiables. Como producto final, el alumnado debe escribir un ensayo argumentando su posición y su grado de certidumbre.

Enlace a los materiales de la actividad: <https://sites.google.com/site/projectantcn3/vacunes>

*Tabla 3: Aportaciones de la metodología a los objetivos STEM*

<b>Objetivo STEM</b>	<b>Aportaciones de la metodología</b>
Vocaciones	Promover una idea de la Ciencia y la Tecnología como vía de emancipación social y la Ciencia como un progreso gradual incompleto en el que se puede participar.
Ciudadanía	Adopción de una actitud crítica ante propuestas no contrastadas científicamente. Conocimiento de las fuentes y métodos para contrastar afirmaciones y capacidades de análisis de riesgos. Desarrollar una consciencia de la propia posición epistémica (desde qué valores y qué certezas me posiciono).

## 2.4 Aprendizaje Basado en Proyectos

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una metodología de enseñanza propuesta inicialmente por Kilpatrick (1918) y tiene como aspecto fundamental la necesidad de un propósito compartido con el aprendiz para que se produzca un aprendizaje. Kilpatrick (1918) propone 4 tipos fundamentales de ABP, según el propósito que los anima: Elaborar un producto, Resolver un problema, Disfrutar de una experiencia estética y Obtener un conocimiento, aunque las formulaciones actuales suelen centrarse en los tres primeros (Sanmartí & Márquez, 2017; Larmer, Mergendoller & Boss, 2015). El ABP se fundamenta pedagógicamente en la idea constructivista según la cual los aprendizajes son más profundos y transferibles cuando se realizan de manera instrumental en su transferencia a la resolución de un conflicto contextualizado (Domènech-Casal 2017b & 2019b). Un ejemplo de los proyectos del tipo "Resolver un Problema" son los Estudios de Caso (Wasserman, 1999; Cliff & Nesbitt-Curtin, 2000), situaciones en las que se propone al alumnado un escenario (biomédico, criminalístico, paisajístico...) y se le acompaña en su diagnóstico y resolución ("¿Qué ha sucedido?" "¿Cómo resolverlo?"). A lo largo de la actividad se aportan contenidos científicos vinculados, pruebas y enseñanza específica de habilidades de análisis y razonamiento propias de las ciencias, para su aprendizaje en la instrumentalización.

En la actividad Risk Zone (Domènech-Casal, 2019c) se propone al alumnado, distribuido por equipos, la determinación de los riesgos geológicos y medidas de prevención adecuadas para distintas geolocalizaciones. A lo largo de la actividad el alumnado recibe contenidos sobre dinámica de tectónica de placas, tipos de riesgos geológicos, medidas para cada riesgo, que son aprendidos en su transferencia a la resolución del problema y su argumentación en una presentación final.

Materiales de la actividad: <https://sites.google.com/site/projectantcn3/riskzone>

*Tabla 4: Aportaciones de la metodología a los objetivos STEM*

Objetivo STEM	Aportaciones de la metodología
Vocaciones	Visualización de la aportación de la ciencia a la resolución de problemáticas y las complejidades de esa aportación. Desarrollo de habilidades de creatividad, pensamiento computacional y trabajo en equipo. Conexión con campos profesionales (médicos, ingenieriles, informáticos, etc.) que no se dedican a "construir conocimiento", sino a usarlo científicamente en la resolución de problemas concretos.
Ciudadanía	Asumir el papel que expertos y científicos (y sus conocimientos y destrezas específicos) juegan en la propuesta de resolución de problemas.

## 2.5 Ciencia, Tecnología y Sociedad. Educación ambiental y para la sostenibilidad.

En la didáctica de las ciencias, la perspectiva CTS propone no sólo preparar a la ciudadanía para afrontar los retos de este triple encuentro, sino también promover unos valores de sostenibilidad y justicia (Acevedo-Díaz, Vázquez & Manassero 2003; Aikenhead 2006). Este enfoque se ha concretado en distintas propuestas, como la Educación Ambiental o la Educación para el Desarrollo y la Paz (Gil & Vilches, 2001; Mesa, 2000). En ellas se defiende la necesidad de una visión que prime la Sostenibilidad en sentido amplio, incluyendo aspectos conservacionistas sobre la naturaleza, pero también sus ramificaciones sobre justicia social o global (por ejemplo, el consumismo del mercado tecnológico del móvil alimenta un modelo esclavista de explotación del coltán, mineral necesario para su fabricación, y se fundamenta en la obsolescencia programada, la relación injusta entre primer mundo y tercer mundo y la mala gestión de los residuos). Su abordaje suele implicar el tratamiento explícito de valores, en contextos cercanos de impacto global.

En la actividad Dieta saludable, justa i sostenible (Domènech-Casal, 2018b) el alumnado debe elegir distintos alimentos para elaborar la dieta de cuatro avatares. Cada avatar está sujeto a distintos requerimientos alimentarios y nivel económico y cada alimento a distintos precios, propiedades nutritivas e impactos ecológicos. Los alumnos acaban descubriendo que conseguir una dieta sana y sostenible sólo es posible redistribuyendo los recursos económicos entre avatares. La actividad ubica la nutrición en un contexto más global, si bien desarrolla poco los aspectos relacionados con el metabolismo (el por qué unos alimentos aportan más energía que otros).

Materiales de la actividad: <https://sites.google.com/site/projectantcn3/dieta-equilibrada-justa-i-sostenible>

Un formato habitual que adoptan estas actividades es el de Ciencia ciudadana, en las que el alumnado participa como investigador científico a modo de indagación en un proyecto de investigación real vinculado a problemáticas de relevancia para la ciudadanía (expansión del mosquito-tigre, contaminación marina por plásticos...) (Bonney et al, 2009; Serrano et al., 2014).

*Tabla 5: Aportaciones de la metodología a los objetivos STEM*

<b>Objetivo STEM</b>	<b>Aportaciones de la metodología</b>
Vocaciones	Formar profesionales de la ciencia y la tecnología más capaces de anticipar consecuencias e incorporar valores éticos en su actividad profesional.
Inclusión	Identificar estereotipos vinculados a injusticias o discriminaciones sociales y asumir la necesidad de su transformación.
Ciudadanía	Percibir la dimensión global de las problemáticas locales y las componentes de injusticia que suelen llevar asociadas.

### **3 Algunos retos y complejidades didácticas y pedagógicas del despliegue STEM para la enseñanza de las ciencias**

#### **3.1 La interdisciplinariedad y la problematización**

La Interdisciplinariedad que se asocia a menudo con STEM debe ir más allá de "trabajar contenidos de forma conjunta": éstos deben jugar un papel en un contexto problematizado (Domènech-Casal, en edición, b). Por poner un ejemplo: aunque en una actividad de ciencias los alumnos "calculen" el número de mitosis celulares en una imagen de tejido tumoral, eso no desarrolla ninguna idea clave de las matemáticas. Incluso, puede que la actividad esté usando la Biología simplemente como contexto, sin tratar el por qué las células entran en mitosis o qué relación tiene eso con el cáncer. Es necesario modificar la actividad de algún modo (incluir estimaciones, proporciones, definición de estrategias matemáticas, escenarios de diagnóstico médico relevantes que usen conceptos clave como "metástasis") para que podamos considerar que trabaja realmente contenidos de esas materias.

Además, más allá de los contenidos, es complejo que las actividades interdisciplinares desarrollen la "mirada epistémica" de cada área al mismo tiempo (Couso, 2017). En un ejemplo simple y algo caricaturesco, si una matemática, una geóloga y una tecnóloga encuentran un sismógrafo que dibuja ondas, la matemática se preguntará sobre qué función/ley puede explicar o asociarse a esas ondas ("¿Cómo funciona el sistema?"), la científica sobre la causa última de esa función/ley ("¿Por qué funciona el sistema?"), y la tecnóloga sobre los límites de detección ("...¿Por qué NO funciona el sistema?"). Aunque todas las miradas sean necesarias para entender el sismógrafo, es difícil idear acciones en las que participen las distintas miradas contemporáneamente. Por eso la mayoría de los proyectos donde

se aprenden ciencias suelen estar orientados a resolver un problema sólo desde las ciencias, más que a “construir artefactos” desde distintas disciplinas. De hecho, en una experiencia reciente se evaluaron 87 proyectos ABP STEM en busca de perfiles de proyectos y aquéllos con mayor interdisciplinariedad eran los que menos desarrollaban los contenidos de las áreas implicadas (Domènech-Casal, Lope y Mora, 2019). Eso se manifiesta también en el desarrollo de las Soft skills: la creatividad, el trabajo en equipo, el análisis crítico o el pensamiento computacional no pueden desarrollarse en un territorio adisciplinar, sino que su despliegue debe realizarse sobre contenidos y formas didácticas propias de cada área, que en Ciencias pueden ser el diseño de experimentos o la crítica epistémica.

Eso no significa que la interdisciplinariedad esté reñida con el desarrollo profundo de contenidos o miradas epistémicas de las áreas implicadas. Es posible idear actividades en las que en distintos momentos se transite de forma secuencial de una mirada epistémica a otra (definir matemáticamente una ley en primer lugar para después interpellarla con hipótesis o modelos científicos y diseñar experimentos para testarla). Por otro lado, no tiene sentido que el término STEM sirva para limitar la interdisciplinariedad sólo a unas áreas concretas, excluyendo por ejemplo la Lengua o las Sociales cuando puedan ser oportunas.

Aunque la intervención en contextos reales problematizados es lo deseable como vía para enseñar al alumnado no sólo a comprender y decidir desde la Ciencia y la Tecnología, sino también a actuar (Ciencia Ciudadana, RRI...), es algo complejo. Una vez hemos decidido que no es lícito que se venda homeopatía en farmacias, ¿Llegamos a actuar provocando algún cambio? ¿Sabemos después de la actividad los alumnos cómo interactuar con las instituciones o paralelamente a ellas? Enseñar a actuar es algo costoso a nivel organizativo, probablemente por la falta de canales de participación ciudadana y políticas de gobernanza y transparencia (Domènech-Casal, 2018a).

### **3.2 Las fórmulas y perspectivas para la inclusión de género**

El encuentro con la práctica muestra dos formas muy distintas de abordar el estereotipo de que la Ciencia y la Tecnología “no son para chicas”. Por un lado, el intento de proponer una Ciencia y una Tecnología con unas temáticas y enfoques más atractivos para ellas, como la Sostenibilidad y la Medicina (consolidando el estereotipo de que a ellas les deben interpellar cosas distintas que a ellos). Por el otro, intentar romper el estereotipo de base en que se asienta esa distinción (¿Por qué no pueden las alumnas encontrar interesante diseñar un Fórmula 1?). Y esas dos opciones tienen valores distintos desde una perspectiva educadora. Es necesario recolectar y difundir buenas prácticas (que superen la elaboración de biografías de científicas célebres) pero más allá de eso, también una reflexión sobre en qué momentos profesorado y familias estamos promoviendo activamente (aunque inconscientemente) los estereotipos que alejan a nuestras alumnas de los ámbitos STEM o las convencen de que no son buenas en eso. Iniciar procesos de reflexión amplios sobre la discriminación de género que abarquen la gestión del aula, el acompañamiento del alumnado, los recreos, la comunicación con las familias, y los cambios en las propias perspectivas del profesorado. ¿Cuántos minutos hablan las profesoras y cuántos los profesores en las reuniones? ¿Quién interrumpe a quién? ¿Cómo felicitamos al alumnado? ¿Son ellos “ingeniosos” y ellas “aplicadas”? ¿Qué roles reforzamos en nuestras actividades de ciencias?

### **3.3 La inclusión socio-económica, los recursos y el talento**

El hecho que las carreras profesionales científico-tecnológicas sean más meritocráticas (el éxito profesional de un candidato/a depende menos del origen socio-económico para ser ingeniero/a que para ser abogado/a) anima a utilizar la “vía STEM” como ascensor social del alumnado de origen socio-económico humilde. Sin embargo, esto encuentra varios obstáculos. Por un lado, algunas concreciones STEM dependen de aparataje caro y disponible sólo para unos pocos. Los infradotados escenarios de innovación educativa STEM en educación pública obligatoria (en los que el profesorado frecuentemente aporta su propio ordenador personal como herramienta de trabajo) están lejos de corregir estas deficiencias. La sobre-representación de centros educativos privados con alumnado mayoritariamente



de alto poder adquisitivo en las ferias STEM escolares indica que no vamos en buen camino en este sentido. Por otro lado, las iniciativas escolares STEM usan en ocasiones una definición muy académica y algo elitista (la mayoría de las veces vinculada a carreras universitarias y no a estudios de formación profesional) de lo que significa talento, que suele dejar fuera a una parte importante del alumnado de origen socio-económico humilde.

Mientras la administración no resuelva la necesaria redistribución de recursos, la opción más responsable es tomar desde la enseñanza de las ciencias un compromiso con el uso de software libre y Apps abiertas, laboratorios virtuales libres y limitar en ferias educativas STEM las propuestas a aquellas de bajo presupuesto y de código abierto. Por dos razones: porque no hacerlo es contradictorio con uno de los objetivos STEM (la inclusión), y porque este enfoque encarna mejor el espíritu de la Ciencia: el de una comunidad abierta que genera un conocimiento que no es de propiedad, sino patrimonio de la Humanidad.

### **3.4 El encaje entre los objetivos STEM y los objetivos de la Educación**

Los tres objetivos STEM tienen distintos grados de encaje en el mundo educativo, y lo razonable es que como docentes nos sintamos más interpelados por unos que por otros. Parece que los dos últimos objetivos (ciudadanía e inclusión) se superponen en gran parte con objetivos esenciales del mundo educativo, mientras que el primero (vocaciones) acusa más su origen industrial y económico y tiene aspecto de encargo sobrevenido.

La necesidad de generar más vocaciones STEM es un objetivo político estratégico, pero poco defendible como prioritario como misión social de la escuela. Aunque todos podamos intuir el beneficio social de tener más científicos o tecnólogas andando por las calles y votando, es difícil defender que para la sociedad esto sea esencialmente más importante que tener más filósofos, abogadas o artistas (con permiso de Carl Sagan). Como docentes, lo que quizás debemos perseguir en STEM es que esos filósofos, abogadas o artistas tengan la competencia científica necesaria no sólo para sus profesiones (para dictar sentencia en un caso de contaminación ambiental, por ejemplo), sino también para su vida como ciudadanos/as. Igualmente, conseguir que las alumnas sean ingenieras es sólo una parte de la misión educativa de la escuela, que debe también perseguir que los alumnos sean maestros de infantil. Quizás el objetivo STEM de promover vocaciones tenga palancas de actuación más potentes en el propio mundo industrial y empresarial del que emerge (como becas en estudios tecnológicos para alumnado en situación socio-económica desfavorecida, normativas pro-equidad de género y derechos laborales en empresas y organismos públicos vinculados con la ciencia y la tecnología, o protocolos de género en la comunicación pública). De hecho, insistir en promover vocaciones desde la escuela sin consolidar unos espacios profesionales dignos puede resultar en último término en una precarización del espacio profesional de la Ciencia y la Tecnología, una situación que ya vive actualmente la investigación básica universitaria en Ciencias.

Quizás el ámbito de la Ciudadanía es el que genera más sinergias, en particular las Pseudociencias o la Tecnofobia. Conseguir, desde la didáctica de las ciencias, que el alumnado conozca las vías de dar certidumbre a cuestiones científicas es uno de los ejes de trabajo STEM que hemos propuesto. El mundo educativo encuentra en ello una vía de emancipación y formación para la ciudadanía, y el mundo industrial una vía para que el control social del mundo industrial sea más riguroso y menos aleatorio. Esto repercute en la calidad y solidez del mismo tejido industrial, ya que facilita que los espacios de transferencia se definan de forma más transparente, más sólida y menos volátil.

Con relación a los programas educativos de Innovación educativa STEM es necesario comunicar al profesorado de forma transparente los objetivos políticos STEM como tales (y no como pretendidas estrategias metodológicas) para que se asocie libremente con ellos. Como ejemplo, una anécdota: algunos países europeos, en concursos de obra pública, en lugar de determinar en el pliego las soluciones (paneles anti-ruido con tamaño determinado), especifican el problema que quieren resolver

(evitar que llegue más de un número determinado de decibelios a unas viviendas cerca de una autopista). Es cierto que los paneles son una solución. Pero no la única, y quizás no la mejor en todos los casos. Y el simple hecho de no pre-determinar la solución permite a las empresas que concursan encontrar un aliciente para innovar. Del mismo modo, si en lugar de proponer STEM como una metodología de trabajo integrado, comunicamos los objetivos STEM, eso permite que sea el profesorado el que aporte su creatividad. Algo mucho más productivo desde el punto de vista de la innovación y el liderazgo distribuido. Además, generará estrategias más específicas y ajustadas al entorno y dirigidas de forma más clara a los objetivos.

### **3.5 Los valores en STEM**

El mundo educativo debe ofrecer su propia perspectiva sobre los valores asociados a STEM. Por un lado, porque algunas lecturas de STEM –por el marco de competencia industrial en que se ubica su génesis– ofrecen valores (por ejemplo, la competitividad) opuestos a los propios de la educación, o incluso de las áreas Científico-Tecnológicas. De hecho, los valores de la Ciencia y la Tecnología como ámbitos no son los de la competencia. La Ciencia es un derecho humano (UNESCO) y una comunidad internacional abierta de creación colaborativa de conocimiento, algo que puede trabajarse desde la Indagación y la Ciencia, Tecnología y Sociedad. Por decirlo de algún modo, estos valores se reflejan más en la Estación Espacial Internacional (ISS) que en el Apolo XI. Igualmente, las Bases de Datos Abiertas de la NASA o la ESA, el Copy-Left o las culturas Hacker o Maker (Bordignon, Iglesias & Hahn, 2016) encarnan mejor los valores propios de la Ciencia y la Tecnología como ámbitos de conocimiento que las patentes o el uso de la tecnología propietaria.

Por otro lado, además de los valores propios de las áreas, el desarrollo STEM implica también el despliegue de la Ciencia y la Tecnología como solución a problemáticas, muchas veces participadas por valores de otros ámbitos (social, personal). Por eso hemos propuesto vías metodológicas que expliciten y traten esos valores, como el ABP o las Controversias. Y esto requiere de una definición propia de Competencia Científico-Tecnológica que, más allá del pensamiento computacional, la creatividad y el trabajo en equipo, incluya la consideración de valores y marcos éticos en la toma de decisiones (Couso, 2017), como la Sostenibilidad o la Solidaridad: tener mejores ingenieros significa también tener ingenieros más éticos. Una perspectiva que han adoptado y están desplegando con éxito varios programas institucionales como STEAMCat en Cataluña y grupos de trabajo interdisciplinares de profesorado como EduGlobalSTEM.

Igualmente, en el ámbito de valores, consideramos importante que el despliegue STEM además de la Tecnofobia (la creencia de que toda tecnología es un peligro) sea consciente de los riesgos de la Tecnofilia (la creencia de que todo puede y debe resolverse mediante tecnología). Los casos de implantación apedagógica de las TIC en la educación son un ejemplo cercano en nuestro propio ámbito.

## **4 Conclusiones**

La emergencia STEM –como ya hizo en su momento la emergencia TIC– está actuando como un potente galvanizador de impulsos docentes, y en poco tiempo ha conseguido crear una comunidad profesional autopropulsada y comprometida con el cambio educativo, que se entrelaza de forma muy positiva con referencias de la pedagogía clásica (como la enseñanza activa, o el construccionismo) y nuevas tecnologías educativas (robótica, sensores, etc). En este artículo hemos querido mostrar de qué modo la iniciativa STEM se entrelaza también con la competencia científica (Domènech-Casal, 2018c), y la didáctica de las ciencias y cómo esos tres ámbitos (los objetivos STEM, la enseñanza y didáctica de las ciencias y la misión educativa de la escuela) comparten coyunturalmente objetivos, metodologías y destinatarios, si bien su solapamiento incompleto requiere consideraciones. La iniciativa financiera, industrial, tecnológica y educativa de despliegue de STEM debe tener en el mundo educativo una

identidad propia. Una identidad que entronca con una cultura STEM de origen emancipador y con profundas raíces pedagógicas como lo fue la programación LOGO (Papert & Haret, 1985). Una identidad consciente de que una ciudadanía y una sociedad libre lo serán sólo si son competentes en ciencia y tecnología. Una identidad a la que –como hemos descrito– la didáctica de las ciencias puede realizar grandes aportaciones.

## Referencias bibliográficas

Acevedo-Díaz J.A., Vázquez A. & Manassero, M.A. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(2), 80-111.

Alcaraz-Domínguez S., Barajas M., Malagrida R. & Pérez F. (2015). Els projectes Europeus Engaging Science, Xplore Health, RRI Tools i Scientix: Finestres a la formació i la participació en comunitats docents per al treball amb Controvèrsies i Recerca i Innovació Responsables. *Revista Ciències*, 30, 47-54.

Aikenhead G.S. (2006). *Science Education for Everyday Life. Evidence-Based Practice*. New York: Teachers College Press.

Akerson V.L., Burgess A., Gerber A. & Guo M. (2018). Disentangling the meaning of STEM: Implications for Science Education and Science Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, 29(1), 1-8.

Bonney R., Cooper C. B., Dickinson J., Kelling S., Phillips T., Rosenberg K.V. & Shirk J. (2009). Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience*, 59(11), 977-984.

Bordignon F.R.A., Iglesias A.A. & Hahn A. (2016). Prácticas maker en la Escuela Secundaria. *Comunicación y pedagogía*, 291-292, 72-79

Bybee R.W. (2010). What is STEM Education? *Science*, 329(5995), 996.

Cliff, W. H. & Nesbitt-Curtin, L. (2000). The directed case method. *Journal of College Science Teaching*, 30(1), 64-66.

Comisión Europea (2015). *Science Education for responsible Citizenship*. Publications Office of the European Union. Doi: 10.2777/12626.

Couso D. (2014). De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Huelva (Andalucía).

Couso D. (2017). Perquè estem a STEM? Definint l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Revista Ciències*, 34, 21-29.

Díaz N. & Jiménez-Liso M. R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 54-70.

Domènech-Casal, J. (2013). Les Mystery Boxes: una activitat senzilla d'indagació a l'aula com a metàfora de la ciència. *Revista Ciències*, 24, 120-25.

Domènech-Casal, J. (2014). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 76, 17-27.

Domènech-Casal, J. (2017a). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 601-620.

Domènech-Casal J. (2017). Aprendizaje Basado en Proyectos y Competencia Científica. Experiencias y propuestas para el método de Estudios de Caso. *Enseñanza de las Ciencias*, Septiembre 2017 (número extraordinario) 5177-5183.

Domènech-Casal J. (2018a). Comprender, Decidir y Actuar: una propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1105.

Domènech-Casal J. (2018b). Dieta, Justicia Global i Sostenibilitat. Transformant pràctiques cap a la Cultura del Desenvolupament i la Pau. *Revista Ciències*, 35, 9-12.

Domènech-Casal J. (2018c). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 29-42.

Domènech-Casal J. (2019a). El marco STEM y la Ciudadanía competente. *II Congreso CTEM. Valencia*.

Domènech-Casal J. (2019a). *Aprenentatge Basat en Projectes, Treballs pràctics i Controvèrsies. 28 experiències i reflexions per a ensenyar Ciències*. Rosa Sensat: Barcelona.

Domènech-Casal J. (2019b). Risk Zone, una actividad de estudio de caso y controversia socio-científica para la enseñanza de los riesgos geológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(3), 3201.

Domènech-Casal, J. (en edición, a). Escalas de certidumbre y balanzas de argumentos. Una experiencia de construcción de marcos epistemológicos para el trabajo con Pseudociencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, (en edición).

Domènech-Casal, J. (en edición, a). Contexto y Modelo en el aprendizaje basado en proyectos. Apuntes para la enseñanza de las ciencias. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales* (en edición).

Domènech-Casal, J., Lope, S. & Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2203.

García-Molina, R. (2015). Pseudociencia en el mundo contemporáneo. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 81, 25-33.

España E. & Prieto T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 71, 17-24.

Elam M. & Bertilsson M. (2003). Consuming, Engaging and Confronting Science. The emerging dimensions of Scientific Citizenship. *European Journal of Social Theory*, 6(2), 233-251.

Gil D. & Vilches A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la escuela*, 43, 27-37.

Henriksen D. (2014). Full STEAM Ahead: Creativity in Excellent STEM Teaching Practices. *The STEAM Journal*, 1(2), 15.

- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Kilpatrick W.E. (1918). *The Project Method: the use of the purposeful act in the educative process*. Teachers college, Columbia University.
- Kolstø S.D. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues. *Science Education*, 85(3), 291-310.
- Larmer J., Mergendoller J. & Boss S. (2015). *Setting the Standard for Project Based Learning: A Proven Approach to Rigorous Classroom Instruction*. ASCD, Alexandria.
- Lemke J. (2006). Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender nuevas formas de vivir. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 5-12.
- López V., Couso D., Simarro C., Garrido A., Grimalt-Álvaro C., Hernández M.I. & Pintó R. (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*, número Extraordinario 2017, 691-697.
- Osborne, J. (2014). Teaching critical thinking. New directions in science education? *School Science Review* 352, 53-62.
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F.J. & Vilchez-González, J.M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 1-24. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Mesa M. (2000). La educación para el desarrollo: entre la caridad y la ciudadanía global. *Papeles de Cuestiones Internacionales*, 70, 11-26.
- National Research Council (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/18612.
- Papert, S. & Haret, I. (1985). *Constructionism*. Media Lab, Massachusetts Institute of Technology, Ablex Pub. Corp, Norwood, NJ.
- Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D., Walberg-Heriksson H. & Hemmo V. (2007). *Science Education Now: a new pedagogy for the future of Europe*. Report for the European Commission. Disponible en línea: <[http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf)>.
- Sadler T.D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Sanmartí N. & Márquez C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice, Revista de Educación Científica*, 1(1), 3-16.
- Sagan, C. (1995) *El mundo y sus demonios*. Planeta, Barcelona.
- Sardà A., Márquez C. & Sanmartí N. (2006). Cómo promover distintos niveles de lectura de los textos de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 290-303.
- Serrano F., Holocher-Ertl T., Kieslinger B., Sanz F. & Silva C.G. (2014). *White Paper on Citizen Science for Europe*. Societize consortium. European Commission.

Simarro C. y Couso D. (2016). Análisis de una actividad tinkering en el marco de la educación STEM. *Comunicación y Pedagogía* 291-292, 65-7.

Turner B.S. (1999). *The sociology of citizenship*. London: Sage.

Vieira, M.R., Tenreiro-Vieira, C. & Martins, E. (2010). Pensamiento crítico y literacia científica. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 65, 96-104.

Wasserman, S. (1999). *El estudio de casos como método de enseñanza*. Amorroutu Editores: Buenos Aires.

Windschitl M., Thompson J. & Braaten M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.

Wing J.M. (2006). *Computational Thinking*. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.

## **Agradecimientos**

Reflexiones incluidas en este texto se enmarcan en la línea de innovación educativa promovida por el programa STEAMCat del Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya y la investigación metodológica del grupo de investigación consolidado LICEC (referencia 2014SGR1492) por AGAUR y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU2015-66643-C2-1-P) del Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona. El autor quiere agradecer de forma especial las discusiones de ideas con Ana Albalat, Eva Mateo, Digna Couso, Angel Domingo y el equipo de Embajadores STEAMCat.