

¿Cómo explicarían los autores la Educación STEM/STEAM a alumnos de Secundaria y Bachillerato?  
Como os autores explicariam a educação STEM/STEAM para alunos do ensino fundamental e médio?

Juan Núñez Valdés, Adolfo E. Vázquez Ruiz, Rafael A. Vázquez Ruiz

Fecha de recepción: 13/08/2022

Fecha de aceptación: 17/10/2022

<p><b>Resumen</b></p>	<p>Los autores muestran el proyecto de charla que, en caso de que se les hubiera pedido impartirla, les darían a los alumnos de un centro de Secundaria y Bachillerato sobre la educación STEM/ STEAM. En la misma, tratada siempre por medio de un lenguaje adecuado al nivel de estos alumnos, se abordarían en primer lugar los orígenes de este modelo educativo, continuándose con la exposición de sus principales objetivos, finalizándose la charla con amplios comentarios sobre la evolución y desarrollo que ha tenido el mismo en diferentes países. <b>Palabras clave:</b> Educación STEM/STEAM, metodologías transversales, aplicación de las ciencias.</p>
<p><b>Abstract</b></p>	<p>The authors show the talk project that, if they had been asked to give it, they would give to the students of a Secondary and Baccalaureate center on STEM/STEAM education. In it, always treated through a language appropriate to the level of these students, the origins of this educational model would be addressed first, continuing with the presentation of its main objectives, ending the talk with extensive comments on the evolution and development which has had the same in different countries. <b>Keywords:</b> STEM/STEAM education, cross-cutting methodologies, application of sciences.</p>
<p><b>Resumo</b></p>	<p>Os autores mostram o projeto de palestra que, se tivessem sido solicitados, eles dariam aos alunos de um centro de ensino médio e bacharelado em educação STEM/STEAM. Nele, sempre tratado através de uma linguagem adequada ao nível destes alunos, seriam abordadas em primeiro lugar as origens deste modelo educativo, prosseguindo com a apresentação dos seus principais objetivos, finalizando a palestra com extensos comentários sobre a evolução e desenvolvimento que teve o mesmo em diferentes países. <b>Palavras-chave:</b> Educação STEM/STEAM, metodologias transversais, aplicação das ciências.</p>

## 1. Introducción

El título de este artículo refleja claramente que el objetivo principal del mismo es mostrar qué harían los autores para explicarles a alumnos de Secundaria y Bachillerato la Educación STEM/STEAM, es decir, cómo enfocarían ellos una charla sobre esa temática, qué información básica sobre la misma deberían transmitirles a los alumnos y qué otra información, ya algo más avanzada, deberían tener preparada para responder a cualquier pregunta inesperada por parte de ellos sobre esa educación.

La razón de que los autores se hayan hecho la pregunta de cómo enfocarían esa charla es la siguiente. Debido a su ya muy extensa trayectoria universitaria, investigadora y docente, uno de los autores de esta comunicación suele ser frecuentemente invitado por profesores y profesoras de colegios e institutos de su ciudad, generalmente antiguos alumnos y alumnas suyos, para impartir charlas al alumnado en sus centros de Secundaria y Bachillerato sobre diferentes cuestiones científicas, generalmente relacionadas con las Matemáticas, aunque no siempre, en las diferentes jornadas lúdicas que tienen lugar en esos centros en ocasiones puntuales, como pueden ser en las semanas culturales, día del centro, las actividades prenavideñas o en los actos de bienvenida o finalización del curso. Por ello, en este artículo, ese autor, junto a los otros dos, se plantean cómo reaccionarían ellos ante una de esas invitaciones en las que les fuese pedido que participasen dándoles una charla a alumnos de esos niveles sobre las nuevas asignaturas STEM/STEAM.

De ahí que el artículo esté estructurado en el sentido de indicar por parte de los autores las cuestiones que, en su opinión, podrían tratarse en esa charla y las posibles preguntas que los alumnos y alumnas les podrían hacerles a ellos, y mostrar a continuación las respuestas que los autores les darían a esas preguntas, siempre teniendo en cuenta el nivel de estudios del alumnado.

En concreto, esa charla podría iniciarse mostrándole a los alumnos alguna figura curiosa relacionada con la temática STEM/STEAM o haciéndoles un comentario impactante que los motivara a seguirla con interés. Podría decirseles, por ejemplo: “Queridos alumnos. Esta no es una charla cualquiera. Prestad la máxima atención, porque puede que al escucharla os cambie lo que habíais pensado para vuestra vida”. O bien, preguntándoles: “¿Cuántos de vosotros, alguna vez, ha sentido que lo que está estudiando no le va a servir para nada en su futuro profesional?” Es plausible pensar que tras este inicio, el relato de la charla convertirá a los alumnos en los protagonistas de esta, invitándoles a reflexionar sobre lo necesario que resultan los valores del modelo STEAM para el desarrollo de las personas que impulsarán a la humanidad en un futuro con cada vez más necesidades.

Seguidamente, tras comentarles a los alumnos los orígenes y los objetivos que este modelo educativo pretende conseguir, se les podría hablar de las ventajas y desventajas que presenta con respecto al modelo tradicional de enseñanza y de cómo puede implementarse en los programas docentes y en el aula, detallándoles también un caso práctico ya experimentado. Otras cuestiones relacionadas, como el desarrollo de este modelo en diferentes países y el papel que juegan las mujeres en

él pueden ser también abordados, dependiendo del nivel de los asistentes a la charla y del tiempo del que se disponga.

La charla se podría finalizar con alguna pequeña actividad para los estudiantes, por ejemplo, pidiéndoles que cumplimentasen una encuesta con respuestas graduadas en una escala de 1 (lo más negativo) a 5 (lo más positivo), en la que se incluyesen preguntas para evaluar el impacto de lo que en ella se les ha informado, como, por ejemplo, “¿Cuál era tu conocimiento previo acerca de la educación STEM?”, “¿cómo evalúas tu conocimiento en educación STEM después de la charla?”, “¿crees realmente que las materias STEM son la gran apuesta de futuro?”, etc. En dicha encuesta se incluiría también el sexo del encuestado, para medir, junto al resto del contenido de la misma, si el mensaje de empoderamiento femenino en STEM ha llegado y calado en dicho público, y de qué manera lo ha hecho.

La situación de dar esta charla aún no se les ha presentado de manera real, pero los autores están seguros de que se les planteará en un futuro no muy lejano, e incluso no es difícil imaginar que esta charla para alumnos y alumnas pudiera extenderse a cualquier público en general, que estuviese interesado en informarse sobre esta cuestión, habida cuenta la enorme trascendencia e importancia que las asignaturas STEM/STEAM están alcanzando en los últimos tiempos.

Para finalizar esta Introducción, a los autores nos gustaría indicar que en algunas partes de la misma y ya de aquí en adelante, y solo por razones de brevedad, hemos usado y usaremos el masculino para referirnos a los dos géneros, reconociendo, no obstante, la igualdad de ambos géneros y asumiendo todos los últimos avances que se han producido en la sociedad en materia de igualdad, no solo los referidos al lenguaje inclusivo y escritura.

## 2. STEM como proyecto pedagógico

En esta sección se hace un recorrido en primer lugar por las distintas características del modelo educativo STEM (Figura 1): orígenes, significado, objetivos, implantación, etc., indicándose también su evolución y desarrollo en los diferentes países que lo han incorporado a sus estudios universitarios.

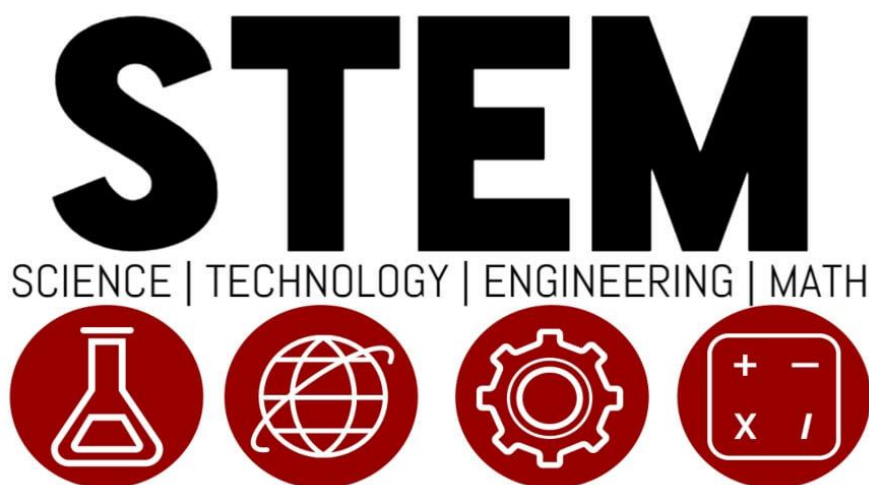


Figura 1. Significado del acrónimo STEM. Fuente: Fiar (2019).

## 2.1. Sus orígenes.

En esta subsección vamos a tratar de responder brevemente a las siguientes cuestiones: ¿Qué se entiende por STEM?, ¿en qué consiste? ¿dónde se introdujo por primera vez?, ¿quién lo planteó?, ¿cómo y cuándo lo hizo?, ¿con qué finalidad?

Aunque esta es una opinión claramente subjetiva, para los autores fue el griego Pitágoras (Samos, c. 569 - Metaponto, c. 475 a. C.) el primer autor en el que podemos fijarnos para considerar un precedente de los estudios STEM. Él consideró a la matemática y a la geometría como las dos disciplinas fundamentales del conocimiento, pues teorizó que el cosmos se regía por una armonía o un orden matemático y geométrico. De ahí que sus seguidores, la llamada Escuela Pitagórica (en realidad se trataba de una secta), construyesen un modelo educativo vocacional sobre las doctrinas que el intelecto humano debía tratar. Este modelo “científico” se componía de 4 doctrinas: la astronomía, la matemática, la geometría y la música (a esta agrupación de ciencias se la conocería después, a partir de los tiempos de Severino Boecio (Roma, c. 480 - Pavía, 524/525), como el “quadrivium”).

Poco después, hacia el siglo IV a.C., cobrarían relevancia en Grecia disciplinas más propias de las humanidades, como la retórica, la gramática y la dialéctica o lógica. Estas también se reunieron en un modelo educativo que sería conocido a partir del siglo IX d.C. como el “trívium”.

De esa manera se formó un modelo educativo vocacional constituido por 7 campos de estudio, siendo Marco Tulio Cicerón (Arpino, 106 a. C. - Formia, 43 a. C.), en su obra “De Inventore”, quien propuso el nombre de “Artes Liberales” para este grupo de disciplinas. Este modelo educativo fue el que imperó en las universidades occidentales de la Edad Media.

En el Renacimiento se reformó el “trívium”, dándose lugar al “Studia Humanitatis”, modelo en el que se conservaban las disciplinas anteriores, pero se añadían la historia, el griego y la ética, haciendo especial énfasis en la poesía. Este modelo permaneció vigente hasta mediados del siglo pasado (Colucci et als., 2017).

“El Studia Humanitatis” también llegó a los Estados Unidos, pero a finales del siglo XIX, tras numerosas críticas por su carácter centrado y orientado hacia las Humanidades, los académicos tomaron la iniciativa de reformarlo para reorientar la educación hacia un nuevo modelo mixto de Ciencias Sociales y Naturales, considerándose a Wilhelm von Humboldt (1767 - 1835) como el promotor y fundador de esta iniciativa (Encyclopaedia Britannica, 2013). Von Humboldt creía que existe un compendio de disciplinas y saberes que han de ser de carácter general.

El modelo von Humboldt, que se ha reformado en Europa debido a su tendencia hacia la especialización del empleo, se ha preservado en Estados Unidos, sobre todo en el ámbito universitario. En ese país, muchas universidades siguen ofreciendo un grado en Artes Liberales, tras el cual se espera que los estudiantes culminen su proceso de formación en una Escuela Profesional. Además, otras universidades ofrecen una fórmula ecléctica entre la especialización del modelo europeo y la transversalidad del modelo de Artes Liberales: un modelo en el que el alumno se especializa en un “mayor” y selecciona un “menor” como estudios complementarios, no siendo este necesariamente una disciplina afín a la escogida como “mayor”. Sin embargo, hacia finales del siglo pasado, la aparición de nuevos fenómenos, como la globalización y el ansia de creación de nuevo empleo en torno

a la industria tecnológica, requirieron una reorientación hacia un modelo aún más científico y pragmático (Colucci et als., 2017).

La Figura 2 muestra a los, en opinión de los autores, tres “precursores” del proyecto STEM,



**Figura 2. Pitágoras (izquierda), Cicerón (centro) y Von Humboldt (derecha).**

**Fuente: Imágenes de Wikipedia.**

Fue en ese contexto, en el año 1998, cuando la National Science Foundation (NSF), una agencia federal independiente norteamericana creada, en el Congreso en 1950 para promover el progreso de la ciencia, acuñó el término STEM para hacer referencia a su programa educativo STEMTEC (Berger, Sireci, 2001).

STEM es el acrónimo de Science, Technology, Engineering and Mathematics, materias que se le ofrecerían al alumno de forma transversal y contextualizada, mediante un modelo educativo de resolución de problemas y proyectos conocidos como PBL (Project Based Learning).

Más tarde, en 2006, la profesora Georgette Yakman (Figura 3), experta en educación transversal, acuñó el término STEAM como una extensión del tradicional STEM, concibiéndolo como Science & Technology interpreted through Engineering & the Arts, all based in Mathematical elements, proyecto pedagógico enfocado en la formación integral de los trabajadores del futuro (Yakman, Lee, 2012).

El Institute for Arts, Integration and STEAM dio en 2020 la siguiente definición de STEAM:

STEAM es un enfoque educativo para el aprendizaje que utiliza ciencia, tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas como puntos de acceso para orientar la curiosidad, el diálogo y el pensamiento crítico de los estudiantes. Los resultados finales son estudiantes que toman riesgos reflexivos, participan en el aprendizaje experiencial, persisten en la resolución de problemas, aceptan la colaboración y trabajan a través de un proceso creativo. (Institute for Arts, Integration and STEAM (a))





Figura 3. Georgette Yakman (izquierda) y acto de presentación de STEAM (derecha).  
Fuente: Researchgate and STEAM Education.

## 2.2. Objetivos

En esta subsección tratamos de responder brevemente a las siguientes cuestiones: ¿cuáles son los objetivos de STEM?, ¿cuáles son sus valores? ¿qué perfil que se busca que adquiera el alumno?, ¿qué competencias se plantea desarrollar?

Uno de los primeros objetivos del modelo STEM fue tratar de darle una solución a los pobres resultados que los estudiantes americanos obtenían en disciplinas relacionadas con las ciencias y la matemática.

En el informe que publicó en el 2007 el Comité estadounidense de Ciencia, Ingeniería y Política Pública, que fue el que propuso la adopción de dicho modelo educativo como respuesta a ese problema, no solo se relacionaba la implementación de dicho modelo con una previsible mejoría significativa en el rendimiento de los estudiantes en dichas disciplinas, sino que incluso se hallaba una relación de proporcionalidad entre la prosperidad económica de la nación y el éxito relativo a la adopción del mismo.

Referente a los valores que ofrece el modelo, la transversalidad que proporciona la educación STEAM permite a los estudiantes abordar un mismo problema desde distintas ópticas y perspectivas, lo cual aporta a estos un nivel de comprensión de la materia más profundo y flexible (Yakman, Lee, 2012).

Este conocimiento interdisciplinar busca también dar solución al fenómeno recurrente y frecuente en todas las culturas conocido como “Efecto Galileo”, por el cual las sociedades se oponen al cambio y tienden a aferrarse a lo establecido. Ello prepararía al alumnado ante un mundo cambiante en el que nacen nuevos empleos año tras año y la globalización permite un flujo más veloz y frenético de las consecuencias y el impacto de cada evento sucedido o acaecido en cada rincón del globo (Yakman, Lee, 2012). Además, esa capacidad de sentir desapego hacia la tradición y lo establecido desarrolla y potencia en ellos la creatividad y el pragmatismo a la hora de resolver problemas reales.

Además, esa necesidad de adaptación al cambio no se reduce solo a la enseñanza obligatoria, por lo que hace de este un modelo adaptable y apto a distintos niveles de enseñanza, planteado esencialmente para impulsar la educación pública (Yakman, Lee, 2012), al tiempo que, como este modelo busca formar

personas y sociedades funcionales, busca también el contacto entre educación y empresa. Por ello, se concibe que los estudiantes requieran modelos o referentes de éxito en los esfuerzos realizados para tener un impacto profundo en la economía y el entorno social.

### **2.3. Ventajas del modelo STEM/STEAM frente al modelo de educación tradicional**

En la línea de lo mencionado en la sección anterior, el modelo STEAM se propone de manera teórica, a diferencia del modelo de educación tradicional, por fomentar:

1. El aprendizaje basado en la experiencia, ayudando a los estudiantes a comprender y retener conceptos que, estudiados por medio de la educación tradicional, resultan abstractos y lejanos a ojos del alumnado.
2. El aprendizaje basado en la integración de distintas disciplinas, acercando al estudiante a la compleja realidad, la cual demuestra la inviabilidad de trabajar sobre alguna de sus facetas de manera aislada.
3. El desarrollo de la creatividad y el pensamiento crítico, incentivando a los estudiantes a “pensar fuera de la caja” y, así, no solo ampliar y profundizar su conocimiento acerca de la materia estudiada, sino también siendo de gran utilidad para el futuro servicio a la sociedad.
4. El trabajo en equipo, preparando a los alumnos al ambiente habitual de trabajo, donde se requiere de una adecuada comunicación y distribución de responsabilidades.

Resumidamente, el modelo de educación STEM/STEAM está concebido para preparar a los jóvenes a un futuro laboral competitivo e incierto lleno de necesidades en una sociedad en evolución (The Institute for Arts Integration and STEAM (b), 2020).

De manera empírica, se ha observado que la implementación de este modelo pedagógico desarrolla notablemente la creatividad, la motivación y la autoeficacia de los estudiantes (Üret and Ceylan, 2018), (Hsu-Chan, Yuan-Chi and Ya-Ting, 2020) y (Condrady, Sofoklis and Bogner, 2020).

Además, también existen evidencias empíricas de que la implementación del arte al resto de disciplinas tratadas por el amplio proyecto pedagógico STEAM mejora los resultados de los alumnos en otras disciplinas, pues ayuda a la retención de los conceptos tratados y a visualizar dichas nociones, desarrollando nuevas maneras de comprenderlos (Inoa, Weltsek and Tabone, 2014), (Cunnington et als., 2014) y (Hardiman and Yarmolinskaya, 2014).

### **2.4. Desarrollo del modelo STEM en algunos países**

En esta subsección se estudia la implantación y evolución del modelo STEM en algunos países en los que su desarrollo ha sido mayor, entre ellos España, país de los autores.

#### **2.4.1. Desarrollo del modelo STEM en Estados Unidos**

El “Programme for International Student Assessment” (informe PISA, por sus siglas), en el idioma español “Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes”, es un estudio llevado a cabo por la OCDE a nivel mundial que mide el

rendimiento académico de los alumnos en matemáticas, ciencia y lectura. Su objetivo es proporcionar datos comparables que posibiliten a los países mejorar sus políticas de educación y sus resultados, ya que este análisis no evalúa al alumno, sino al sistema en el que está siendo educado. El estudio se basa en el análisis del rendimiento de estudiantes de 15 años a partir de unos exámenes estandarizados que, desde el año 2000, se realizan cada tres años en diversos países pertenecientes o no a la OCDE (OECD (a)). Recuérdese que OCDE son las siglas de la “Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos”, organización internacional cuya misión es diseñar mejores políticas para una vida mejor (OECD (b)).

Los informes PISA de la primera década del siglo XXI habían estado advirtiendo de un hecho generalizado entre los países de la OCDE: el bajo rendimiento académico de los estudiantes en ciencias y matemáticas. En respuesta a ello, el Comité de Ciencia, Ingeniería y Políticas Públicas estadounidense publicó en 2007 un informe favorable a la adopción del modelo STEM. Eso llevó a que en 2009 se realizara una inversión de unos 250M\$ tanto en el sector privado como público para contratar y formar más profesorado especializado en este modelo (Colucci et als., 2017).

Más recientemente, cabe destacar los esfuerzos de inversión realizados en 2018, 2019 y 2020. En 2018 se invirtió un total de 279M\$ en ayudas y becas. En 2019 se invirtieron 540M\$ y en 2020, se invirtieron un total de 487M\$ (Ministerio de Educación de los Estados Unidos de América).

La educación STEM se ha convertido además en uno de los principales núcleos de inversión. Ello se refleja en el hito de que la inversión privada ha logrado multiplicar por más de 100 veces la inversión gubernamental prevista en el plan Obama, recaudando más de 350000M\$. Entre los principales inversores podemos destacar grandes empresas tecnológicas como Intel, Microsoft, IBM, Google o Facebook.

#### **2.4.2. Desarrollo del modelo STEM en Japón**

El origen de su implementación en Japón parece ser que tuvo lugar con la aparición de la asignatura obligatoria “Estudios del entorno de la vida” (traducción española de su nombre original) para la educación primaria, en 1989, por el Ministerio de Educación. En 1998, el Ministerio implementó como enseñanza obligatoria, tanto en la enseñanza primaria como en la secundaria, la asignatura “Periodo de estudios integrados”, para cuya impartición cada colegio tenía plena autonomía para escoger el contenido a enseñar. En 2018 se estableció para cursos superiores de secundaria la asignatura optativa “Estudio basado en la indagación de las ciencias y las matemáticas”. No obstante, el modelo de educación STEM como tal no había empezado a ser mencionado en Japón hasta los primeros años de 2010, en los artículos de Chida (2013), Kuerbis y Revak (2013) y Uchinokura et al. (2014), todos los cuales, junto con otros más, aparecen en una reciente publicación de Matsuura y Nakamura (2021).

La motivación que tienen los estudiantes en Japón por la ciencia y la importancia que se le da para su aplicación a la vida diaria es muy baja en comparación a las estadísticas obtenidas en EEUU y en otros países asiáticos, según los datos aportados por el TIMSS and PIRLS International Study Center, del Boston College (TIMSS and PIRLS, 2015).



Este desinterés del alumnado por la ciencia quedó reflejado también en el informe PISA de 2006. Además, se aprecia una brecha de género considerable (desfavorable para las mujeres) en los STQs en comparación a otros países, siendo esta diferencia de un 10%.

Sin embargo, existen pocos estudios de autores japoneses que explícitamente traten este modelo. Además, aún no se ha tratado en profundidad en Japón la adición de la letra “A” (artes) al STEM para pasar al STEAM. En Japón, por la letra “A” se entendería no solo a las artes en sí, sino también a las artes liberales (política, ética).

### 2.4.3. Desarrollo del modelo STEM en el Reino Unido

Los antecedentes del modelo STEM en el Reino Unido se remontan a la iniciativa “Set for Success”, que impulsó la adopción de ese marco de enseñanza (Colucci et als., 2017). En marzo de 2001, el Canciller de Exchequer y los ministros de Mercado e Industria y de Educación le pidieron a Sir Gareth Roberts que escribiera un informe sobre lo referente a suministrar habilidades en ciencia e ingeniería (Sir Gareth Gwyn Roberts (1940 – 2007) fue un famoso físico galés especializado en semiconductores y electrónica molecular). Ese informe fue publicado finalmente el 15 de abril de 2001 (UK Government Web Archive, 2002).

Recientemente, el gobierno británico ha dado su apoyo económico a varias iniciativas para mejorar la educación STEM en Reino Unido. Destaca en primer lugar la formación de la red de 41 Science Learning Partnerships, dirigida por la plataforma STEM Learning, financiada por el Ministerio de Educación entre 2016 y 2021. El proyecto Enthuse también ha impulsado este modelo de educación por parte de los Ministerios de Bienestar y Educación, entre 2013 y 2020.

Además de esta inversión pública, la privada también se ha sumado con la ayuda de unas 830.000 libras en 2019 por varias compañías privadas, como BP, Rolls-Royce, Lloyd’s Register Foundation y Eaton. Igualmente, la compañía BAE Systems realiza una inversión anual en este modelo de 93M de libras y también participa de manera activa en programas de formación de jóvenes en condiciones económicas desfavorables y desempleados (Bae Systems, 2021).

### 2.4.4. Desarrollo del modelo STEM en Corea del Sur

En Corea del Sur, el KOFAC (Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity) solicitó en 2010 que el país adoptara el modelo STEM y un año más tarde, el Ministro de Educación, Ciencia y Tecnología aceptó esa solicitud (Yakman, Lee, 2012).

El ministro indicó en uno de sus informes que el marco de enseñanza se distingue por su elemento afectivo, lo cual se refleja en el hecho de que su principal objetivo es desarrollar un mayor nivel de entendimiento en base al desarrollo creativo y el aprendizaje. Esta filosofía se resume en 4 apartados esenciales, denominados las 4 “c” del marco STEAM coreano: “caring”, “creativity”, “communication” and “convergence” (Baek et al., 2011).

### 2.4.5. Desarrollo del modelo STEM en España

En España, el modelo educativo STEM está actualmente muy en auge y tiene cada vez más adeptos. Según un informe titulado “España tiene más estudiantes STEM que la media de la UE”, publicado por el diario especializado “El Economista”

(edición del 20 de mayo de 2021), las disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM por sus siglas en español) aparecen como un ingrediente clave en el progreso tecnológico y económico de una sociedad. El gap entre las habilidades que demanda el mercado y el conocimiento generado por el sistema educativo está creciendo; se prevé que los trabajadores del futuro emplearán más del doble de tiempo que hoy en tareas que requieran ciencias, matemáticas y pensamiento crítico (El Economista, 2021).

La Fundación Cotec para la innovación (organización privada española sin ánimo de lucro, cuya misión es promover la innovación como motor de desarrollo económico y social) afirma que:

Disponer de graduados en áreas STEM y en programas de doctorado parece una de las vías más adecuadas para la formación de líderes para los procesos de innovación, al tratarse de las personas con una mayor probabilidad de dedicarse, entre otras labores, a actividades de investigación y desarrollo. (El Economista, 2021)

Con un 21,9 por mil, España tiene una proporción mayor de estos graduados en educación superior -incluyendo manufacturas y construcción- que países como Alemania (20,4 por mil) -el país líder en innovación-, Francia (18,5 por mil) o Italia (14,5 por mil), y supera la media de la Unión Europea.

En España, hay 10 carreras se pueden englobar en la categoría de STEM, que son Matemáticas, Física, Química, Biología y seis ingenierías: Informática, Industrial, Civil, Mecánica, Eléctrica y Química. Al menos estas son las diez que ha recogido el Ranking CYD-2021, en el que se analiza y puntúa el rendimiento de 73 de los 81 centros que hay en España (el Ranking CYD de Universidades españolas es una herramienta online única e innovadora, que permite al usuario diseñar su propio ranking y medir de manera personalizada el rendimiento del sistema universitario español mediante un conjunto de indicadores transparentes y fiables. Compara las universidades españolas mediante una guía multidimensional que evita las dificultades en la interpretación, por lo que es un instrumento muy útil para estudiantes, gestores, profesores, investigadores, empresas y agentes institucionales, permitiéndoles seleccionar, comparar y desarrollar una estrategia de evaluación universitaria).

Según ese estudio, las mejores universidades para cursar materias STEM en España son la Autónoma de Madrid, la de Barcelona, la del País Vasco, la Politécnica de Cataluña y la Pontificia Comillas, todas públicas salvo la última, aunque también despuntan otros centros donde también aparecen universidades de Valencia, Zaragoza, Girona, Castilla-La Mancha o Santiago de Compostela.

### 3. Propuesta de Implementación en Programas Docentes y en el Aula

En base a lo anterior, los autores consideran que la mejor acción para armonizar los programas y espacios docentes con el espíritu y filosofía del método STEM/STEAM pasa por satisfacer:

1. Una mayor presencia de los recursos TIC en las aulas. En asignaturas relacionadas con las artes y las Matemáticas, los dispositivos electrónicos acompañados de herramientas gráficas pueden ayudar al alumnado a desarrollar una mayor visión espacial e intuición geométrica. Dichos recursos audiovisuales son también de gran relevancia en asignaturas como las Ciencias Naturales, mientras que, en asignaturas relacionadas con las

humanidades y las letras, los juegos con flashcards refuerzan la retención de nociones abstractas al aportar al alumno reglas mnemotécnicas con las que asociar conceptos a colores, sentimientos o sonidos.

2. Un enfoque del aprendizaje hacia la resolución de proyectos. En etapas tempranas, el alumnado muestra un pensamiento más literal e inmediato en contraste con el razonamiento complejo y la capacidad de reflexión y premeditación que se adquieren posteriormente. Ello requiere una adaptación de la enseñanza a modelos más aptos a su forma de comprensión y retención. Estos modelos han de mostrar al estudiante la inmediata aplicabilidad y el poder de las herramientas estudiadas, además de poner de manifiesto la íntima relación entre ramas del conocimiento aparentemente distantes.
3. El fomento del trabajo cooperativo. Los centros educativos que forman a los profesionales del mañana, han de incentivar la mejora de las habilidades sociales, interactivas y comunicativas. Se propone que los proyectos se resuelvan en común entre varios estudiantes.
4. Una implementación de horarios más flexibles entre asignaturas.

### **3.1. Caso Práctico: aulas ACL del Colegio Inmaculado Corazón de María, Portaceli**

Las aulas ACL (siglas de Aulas Cooperativas Loyola) del Colegio Portaceli (del que han sido alumnos dos de los autores), localizado en Sevilla y perteneciente a la Compañía de Jesús, han logrado implementar una metodología docente que satisface con creces los apartados anteriores.

Implementadas actualmente para los últimos cursos de Enseñanza Primaria y los primeros de Secundaria Obligatoria, pasaron primero por cambiar la disposición de las aulas echando abajo tabiques de separación entre estas y unificándolas. Con ello se han conseguido espacios mayores que permiten formar aulas con hasta 2 o 3 grupos (clases) de alumnos (véase la Figura 6 en el Anexo final). La mayor parte del tiempo se distribuye a estos alumnos sobre la superficie del aula en grupos que comparten mesa. En las aulas en las que lo hubiere, las decisiones relevantes que competen a todos los alumnos, las charlas y eventos que requieren la participación conjunta y simultánea de todos ellos toman lugar con ellos sentados en unas gradas.

Por aula se dispone de dos o tres docentes especializados en diferentes materias, con el fin de poder dar respuesta a cualquier duda o pregunta del alumno. Estos docentes realizan parte de su trabajo en uno de los dos espacios aislados de los que dispone el aula, y que ejerce la función de despacho o sala de tutorías. Este primer espacio contiguo está separado por un tabique opaco y conectado con una puerta. El otro espacio aislado, cuya pared la conforma un cristal transparente, es apodado “pecera”. Esta se utiliza para impartir docencia a alumnos con necesidades especiales en algunas o todas las materias, permitiendo así que, pese a ello, ese perfil de alumno pueda durante buena parte del tiempo interactuar con sus compañeros e integrarse.

Los recursos TIC han conseguido mayor protagonismo en el aula al hacer uso durante buena parte de la carga docente de portátiles, pizarras virtuales, robots e impresoras 3D. Para no desatender a los alumnos provenientes de bajos estratos

socioeconómicos el centro aporta *Chromebooks* durante las actividades que lo requieran.

Por último, se le propone al alumnado proyectos o problemas a resolver en un periodo de tiempo dado, para lo que requieren adquirir nociones de diversas materias. Atendiendo a ello, se organizan las materias en bloques (según el proyecto al que respondan) y se imparten horarios respetando la unidad de dichos bloques. Dentro de un mismo bloque, el tutor puede ir alternando entre materias para enriquecer la óptica del estudiante (Fundación Loyola, Portaceli; 2018).

#### 4. Organización de la Experiencia Divulgativa en las Escuelas

Obviamente, si se desea que tenga éxito, la divulgación de cualquier actividad es necesaria e imprescindible en todos los ámbitos de la vida, sobre todo si va especialmente dirigida a todas aquellas personas relacionadas directamente con esa actividad. De ahí que la divulgación de todos los aspectos relacionados con el modelo educativo STEM/STEAM, tanto sus objetivos, como sus contenidos, aspectos metodológicos, etc., es indispensable para que este continúe con las tasas de crecimiento que actualmente está consiguiendo.

Como ejemplos de dos actividades de divulgación ya realizadas referentes al conocimiento de este modelo por parte de sus futuros alumnos, los autores citamos a continuación solo dos experiencias (por motivos de extensión) muy notables, que han tenido lugar, una en nuestro país, España, y la otra en Uruguay, ya en el ámbito iberoamericano, cuyos detalles completos pueden consultarse en las referencias indicadas.

La primera de ellas fue patrocinada por La Caixa (una entidad bancaria española), FECYT y Everis Company, y entre sus objetivos principales estaba el facilitar recomendaciones para la mejora del impacto de las acciones de divulgación en la promoción de vocaciones científico-tecnológicas, a partir de un proyecto desarrollado durante dos cursos escolares, que contó con la participación de más de 2.500 estudiantes de ESO (La Caixa, 2020).

La segunda tuvo lugar Centro de Formación de la Cooperación Española de Montevideo, en el marco del Laboratorio regional “Impulsando la Ciencia, Tecnología e Innovación como motor del desarrollo inclusivo” que lleva dicho centro, con el fin de mejorar la práctica sobre divulgación científica con relación a los nuevos medios de comunicación, como lo son las redes sociales. Consistió en el desarrollo del taller “Divulgación científica para las/os más jóvenes dentro y fuera del aula, entre el 14 y 29 de septiembre de 2021. Su objetivo fue incentivar a personas dedicadas a la educación, investigación y comunicación en el uso de diversas herramientas de divulgación científica, para apoyar la educación en ciencias y promover las vocaciones en estas temáticas en la infancia, principalmente en las niñas y grupos minoritarios (Centro de Formación de Montevideo, 2021).

Como propuestas de divulgación de este modelo STEM/STEAM, los autores proponemos que en los distintos centros de Enseñanza Secundaria y de Bachillerato de los diferentes países se puedan organizar charlas con un contenido similar al este artículo, en las que se les muestre a los alumnos las ventajas y bondades de este modelo y las posibilidades que este les puede deparar en el futuro, particularmente a las estudiantes femeninas, cuya presencia en la educación STEM/STEAM, como se verá en la sección 6 de este artículo, es bastante menor que la de los alumnos varones.

## 5. El papel de las Matemáticas en el sistema STEM/STEAM y la influencia de la “M” en las otras siglas del acrónimo

Yakman afirma que las Matemáticas son la base en la que se asientan el resto de las disciplinas que componen el modelo STEM/STEAM. Para ella, las Matemáticas no se entienden en este modelo solamente como la materia que se encarga del estudio de las propiedades de los números y del cálculo de ciertas magnitudes, sino que ella las define como:

La única doctrina esencial para el estudio del resto (...). Es un idioma primario/primigenio, transversal a todas las ramas de conocimiento, siendo lo más cercano que conoceremos a un lenguaje común capaz de dotar de un formalismo o estructura común a todas las materias (...). Pero más que eso se trata de una red de resultados teóricos y prácticos (...) que incumben a todos los aspectos de la sociedad y pueden, por tanto, transformar la cultura (Yakman, Lee, 2012, p.1076)

Para Ludwig Wittgenstein (1889 - 1951), reconocido filósofo, matemático, lingüista y lógico austríaco, posteriormente nacionalizado británico, de la misma forma que el pensamiento es una actividad emergente del lenguaje, y por tanto encuentra sus límites en los de este último, la matemática es *“una actividad intrínseca al ser humano, que estudia los objetos abstractos que tienen propiedades que se pueden reproducir”* (Hersh, 1995). Por ello, el hecho de que el objeto de estudio de las Matemáticas sean las entidades abstractas resalta su papel de “ser humano”, en el modelo STEM/STEAM, compartiendo con las ciencias naturales la reproducibilidad. De ahí que pueda inferirse que las Matemáticas son una disciplina que oscila entre las humanidades y las ciencias.

Por otro lado, las Matemáticas se distinguen de las otras disciplinas científicas en que se trata de una actividad socio-histórico-cultural, dado que, aunque es concebida por el individuo, su construcción cae necesariamente en un proceso de socialización y ello hace que las Matemáticas tengan una influencia directa en la cultura (Hersh, 1995).

Este aspecto de las Matemáticas fue tratado por el matemático John Allen Paulos, quien introdujo el concepto de “anumerismo” en su libro “Innumeracy” en el que trataba las consecuencias del desconocimiento de nociones matemáticas. Tras ese libro, Paulos publicó varias obras más, entre ellas “A mathematician reads the newspaper” y “Mathematics and Humor” (Paulos, 1990).

La notable relación entre las Matemáticas y el resto de las disciplinas del modelo STEM/STEAM puede ser estudiada a partir de los siguientes 6 aspectos característicos de ella (National Science Foundation):

1. Modelización: los fenómenos naturales se describen dentro de un marco matemático. Las Matemáticas sirven de traductor de la fenomenología natural a algo más fácilmente interpretable.
2. Estudio de Tamaño y Complejidad: las Matemáticas son capaces de caracterizar con detalle sistemas complejos y distinguirlos de los sistemas simples. Generalmente, un aumento en el tamaño de un sistema o en el número de elementos involucrados lleva a un comportamiento más complejo del mismo. Las Matemáticas son, por tanto, de gran utilidad para caracterizar y modelizar sistemas dinámicos complejos, redes, etc.



3. Incertidumbre: toda medición empírica tiene asociada una tasa de incertidumbre o de error en la medida, lo cual lleva a la acumulación de error. El estudio de esta incertidumbre o error necesariamente va de la mano de las Matemáticas.
4. Múltiples Escalas: en los sistemas complejos, pueden existir relaciones entre elementos o entidades residiendo en distintas escalas temporales, espaciales, etc. La limitada capacidad de cálculo de la tecnología limita la cantidad de escalas que podemos tratar en un problema, lo cual solo puede sobrellevarse mediante un análisis matemático adecuado.
5. Cálculo: respecto a la ciencia, se trataría del proceso intermedio entre el experimento, es decir, la observación empírica, y la teoría, el modelo. Las Matemáticas permiten calcular ciertas magnitudes naturales y predicciones. Respecto a la computación, las Matemáticas aportan algoritmos inteligentes y métodos para hacer más económico y eficaz el cómputo y la resolución de problemas numéricos. Sin algoritmos óptimos, los límites de la tecnología impondrían una barrera imposible de superar.
6. Grandes conjuntos de datos (Big Data): los ordenadores y máquinas más modernos usados en los experimentos científicos recaban cantidades inmensas de datos. De ellos, se ha de cribar la información irrelevante o “ruido”. Las Matemáticas se encargan de caracterizar los “conjuntos ruidosos” y los más exactos, obteniendo patrones que permiten desechar el ruido.

## 6. La presencia de la mujer en el sistema STEM/STEAM

Finalizamos esta aportación con unas breves indicaciones sobre la presencia de la mujer en el modelo educativo STEM/STEAM, cuestión que está siendo últimamente muy debatida debido a los intereses de género de la sociedad de hoy en día.

Actualmente, solo un 30% de las mujeres del mundo estudia carreras STEM, porcentaje que incluso cae al 3% en carreras relacionadas con tecnologías de la información o al 8% en carreras de ingeniería (Chueke, 2018).

La American Association of University Women, una asociación sin ánimo de lucro que trabaja en pro de la igualdad de género, afirma que los principales motivos de ese bajo porcentaje se deben a los estereotipos de género, a los entornos profesionales eminentemente masculinos y a la escasez de referentes femeninos: (Chueke, 2018).

Darle solución a esta situación es en estos momentos un reto que se han marcado diversas organizaciones y entidades mundiales. En el Simposio internacional y Foro de políticas de la UNESCO que abordó estas cuestiones, en Bangkok, 2017, se afirmó que se necesitan respuestas holísticas e intersectoriales integrales que permitan la participación de las niñas y las mujeres en la búsqueda de soluciones para hacer frente a los desafíos persistentes. Para ello, se consideraron como objetivos a conseguir los siguientes (UNESCO):

- Mejorar la participación, la culminación y la continuación de las niñas y las mujeres en las carreras y los estudios vinculados con las STEM con miras a reducir las disparidades de género en estas profesiones.

- Reforzar la capacidad de los países para proporcionar una educación en materia de STEM sensible a las cuestiones de género que incluye la formación de docentes, los contenidos pedagógicos y la pedagogía.
- Aumentar la concienciación en cuanto a la importancia de la enseñanza de las STEM para las niñas y las mujeres.

## 7. Conclusión

De la investigación realizada se deducen de manera indudable las siguientes conclusiones:

1.- Como se ha indicado, la educación STEM/STEAM presenta muchas ventajas respecto de los modelos tradicionales de educación que considera a las diferentes materias de estudio como entes individuales y no como partes conjuntas de un proyecto global de educación.

2.- La implantación de este modelo se encuentra actualmente en fase de fuerte crecimiento en la mayoría de los países del mundo. En particular, en los más desarrollados ese crecimiento es espectacular.

3.- La formación práctica es una de las principales características de STEM/STEAM. El alumno pasa a ser el verdadero protagonista de su formación, soslayando el aprendizaje pasivo y memorístico tradicional. Así, aprende a solucionar problemas por sí mismo, desarrolla su creatividad e ingenio, diseña estrategias, crea con sus propias manos, experimenta y prueba, analiza los resultados, obtiene conclusiones, emprende acciones de mejora, aprende a trabajar en equipo... y, en definitiva, se integra en lo que conoce actualmente como el movimiento o cultura "Maker" (MacMillan, 2012).

4.- Sin embargo, la presencia de la mujer en las carreras STEM/STEAM es todavía bastante escasa y debería ser consolidada por todos, hombres y mujeres, en un futuro próximo.

Al respecto de este último apartado, los autores nos sumamos al objetivo de incrementar lo más pronto posible esta presencia de la mujer en los estudios STEM/STEAM, esperando que este objetivo no tarde demasiado tiempo en ser conseguido.

## Referencias bibliográficas

Bae Systems (13/09/2021). *The New Statesman*. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://www.newstatesman.com/spotlight/2021/09/why-we-invest-in-stem-education>

Baek, Y. et als (2001). *STEAM Education in Korea*. Semantic Scholar.

Berger, J.B.; Sireci, S.G. (2001). *STEMTEC Evaluation Report For Year 4*. University of Massachuset

Centro de Formación de Montevideo (2021). Divulgación científica como instrumento para ampliar el acceso de niños/niñas a las carreras STEM. Recuperado el 16 de agosto de 2022, de: <https://intercoonecta.aecid.es/divulgacion-cientifica-2021>

- Chida, Y. (2013, Jan./Feb.). Strategies for developing human resources for Science and Technology in the U.S.] *Science & Technology Trends*, 17–26.
- Chueke Perles, D. (7 de abril de 2018). Qué son las "mujeres STEM" y por qué son importantes para el desarrollo de la tecnología. *Diario "La Nación"*, Argentina.
- Colegio Portaceli Inmaculado Corazón de María (2018). *ACL - Aulas Cooperativas Loyola – Portaceli Sevilla* [Archivo de Vídeo]. Youtube. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://www.youtube.com/watch?v=iAeb1Z2f42k>
- Colucci-Gray, L.; Burnard, P.; Cooke, C.; Davies, R.; Stuart Gray, D.; Trowsdale, J. (2017). *BERA Research Commission Reviewing the potential and challenges of developing STEAM education through creative pedagogies for 21st learning: how can school curricula be broadened towards a more responsive, dynamic, and inclusive form of education?* British Educational Research Association.
- Conradty, C.; Sofoklis A. S.; Bogner, F. X. (2020). *How Creativity in STEAM Modules Intervenes with Self-Efficacy and Motivation*. MDPI Open Access Journals. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://doi.org/10.3390/educsci10030070>
- Cunnington, M.; Kantrowitz, A.; Harnett, S.; Hill-Ries, A. (2014). *Cultivating Common Ground: Integrating standards-based visual arts, math and literacy in high-poverty urban classrooms*. Journal for Learning through the Arts, University of California Irvine.
- El Economista (20/05/2021). *España tiene más estudiantes STEM que la media de la UE*. Recuperado el 36 de octubre de 2022, de: <https://www.eleconomista.es/especial-formacion/noticias/11221138/05/21/Espana-tiene-mas-estudiantes-STEM-que-la-media-de-la-UE.html>
- Encyclopaedia Britannica (2013). *Entrada "Humboldt, Wilhelm, baron (Freiherr) von"*.
- Fiar (26/09/2019). *Por Qué No Hay Vocaciones 'STEM' En España*. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://fiar.me/node/430>
- Fundación Loyola, Portaceli (2018). Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://fundacionloyola.com/portaceli/acl/>
- Hardiman, M.; Rinne, L.; Yarmolinskaya, J. (2014). *The Effects of Arts Integration on Long-Term Retention of Academic Content*. International Mind, Brain and Education Society.
- Hersh, R. (1995). Fresh Breezes in the Philosophy of Mathematics. *The American Mathematical Monthly*, 102: 7, 589-594.
- Inoa, R.; Weltsek, G.; Tabone, C. (2014). *A Study on the Relationship between Theater Arts and Student Literacy and Mathematics Achievement*. Journal for Learning through the Arts, University of California Irvine.

Institute for Arts, Integration and STEAM (a). Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://artsintegration.com/>

Institute for Arts, Integration and STEAM (b) (2020). Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://artsintegration.com/what-is-steam-education-in-k-12-schools/>

Kuerbis, P. J., & Revak, M. D. (2013). STEM teacher development in the United States: Key research recommendations and results from a longitudinal study of K-5 science teacher development on student achievement. *Journal of Science Education in Japan*, 37(2), 75–87. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://doi.org/10.14935/jssej.37.75>.

Kuo, H.-C.; Tseng, Y.-C.; Ting, C. Yang (2018). *Promoting college student's learning motivation and creativity through a STEM interdisciplinary PBL human-computer interaction system design and development course*. Elsevier. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.09.001>

La Caixa (2020). ¿Cómo podemos estimular una mente científica? Estudio sobre vocaciones científicas. Recuperado el 31 de octubre de 2020, de: [https://www.convocatoria.fecyt.es/publico/Catalogos/Recursos/evaluacion\\_impacto\\_stem.pdf](https://www.convocatoria.fecyt.es/publico/Catalogos/Recursos/evaluacion_impacto_stem.pdf)

MacMillan, T. (30 Apr 2012). On State Street, “Maker” Movement Arrives. *New Haven Independent*.

Matsuura T., Nakamura, D. (2021). Trends in STEM/STEAM Education and Students' Perceptions in Japan. *Asia-Pacific-Science Education* 7, 7-33.

National Science Foundation. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://www.nsf.gov/>

OECD Education (a). Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://www.oecd.org/pisa/pisa-es/>

OECD Education (b). Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://www.oecd.org/acerca/>

Paulos, J.A. (1990). *Innumeracy*. Vintaje Books.

STEAM Education. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://steamedu.com/programs/speaking-presentations/>

TIMSS and PIRLS, Boston College (2015). Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/timss-2015/science/student-engagement-and-attitudes/students-value-science/>

Uchinokura, S., Ishizaki, T., Saito, T., Irma, R. S., Imamura, T., Kumano, Y., & Nagasu, N. (2014). A report for examples of STEM education promotion in United States: A focus on practical efforts in state of Iowa. *JSSE Research Report*, 29(1),

87–92. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://doi.org/10.14935/jsr.29.1.87>.

UK Government Web Archive (05/04/2002). HM Treasury. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: [https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/+http://www.hm-treasury.gov.uk/ent\\_res\\_roberts.htm](https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/+http://www.hm-treasury.gov.uk/ent_res_roberts.htm)

UNESCO. Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://es.unesco.org/themes/educacion-igualdad-genero/stem>

Üret, A.; Ceylan, R. (2021). *Exploring the effectiveness of STEM education on the creativity of 5-year-old kindergarten children, European Early Childhood Education*. Research Journal, 29:6, 842-855, Recuperado el 31 de octubre de 2022, de: <https://doi.org/10.1080/1350293X.2021.1913204>

Yakman, G.; Lee, H. (2012). Exploring the Exemplary STEAM Education in the U.S. as a Practical Educational Framework for Korea. *J Korea Assoc. Sci. Edu*, 32:6, 1072-1086.

## ANEXO

Las Figuras 4 y 5 muestran las instalaciones STEM, que se encuentran separadas de las restantes, en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Europea, en el campus de Villaviciosa de Odón, en las cercanías de Madrid.



Figura 4. Instalaciones STEM en la Universidad Europea de Madrid.  
Fuente: Aportación personal de los autores.





Figura 5. Instalaciones STEM en la Universidad Europea de Madrid.  
Fuente: Aportación personal de los autores.

La Figura 6 muestra la disposición de un aula ACL en el Colegio Portaceli, de Sevilla (véase la subsección 3.1).



Figura 6. El aula ACL del Colegio Portaceli, en Sevilla.  
Fuente: Colegio Portaceli Inmaculado Corazón de María (2018).

## Datos de los Autores

**Núñez Valdés, Juan:** Actualmente Investigador Honorario de la Universidad de Sevilla, es Licenciado y Doctor en Matemáticas y Farmacia por esa Universidad. Es vocal de la Sociedad Andaluza de Educación Matemática THALES y autor de varias publicaciones sobre Matemáticas Recreativas y Divulgativas, así como también sobre Historia de las Matemáticas y de la Farmacia. E-mail: [jnvaldes@us.es](mailto:jnvaldes@us.es) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8413-6735>

**Vázquez Ruiz, Adolfo Enrique:** Actualmente es alumno del Doble Grado de Física y Matemáticas de la Universidad de Sevilla. Colabora con el profesor Núñez en artículos de Matemáticas Recreativas y de Divulgación e Historia de las Matemáticas, con especial dedicación a las biografías de mujeres científicas. E-mail: [adolfovr3@gmail.com](mailto:adolfovr3@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3156-6974>

**Vázquez Ruiz, Rafael Adolfo:** Actualmente es alumno del Grado de Física de la Universidad de Sevilla. Colabora con el profesor Núñez en artículos de Matemáticas Recreativas y de Divulgación e Historia de las Matemáticas, con especial dedicación a las biografías de mujeres científicas. E-mail: [ravazquezruiz@gmail.com](mailto:ravazquezruiz@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3330-0670>