

M.-Á. Queiruga-Dios et al.

STEAM project implementation in compulsory secondary education / *Implementación de un proyecto STEAM en Educación Secundaria*

Implementation of a STEAM project in compulsory secondary education that creates connections with the environment (*Implementación de un proyecto STEAM en Educación Secundaria generando conexiones con el entorno*)

Miguel-Ángel Queiruga-Dios^a, Emilia López-Iñesta^b, María Diez-Ojeda^a, María-Consuelo Sáiz-Manzanares^a and José-Benito Vázquez-Dorrío^c

^aUniversidad de Burgos; ^bUniversitat de València; ^cUniversidad de Vigo

CONTACT Miguel-Ángel Queiruga-Dios maqueiruga@ubu.es Departamento de Didácticas Específicas, Área de Ciencias Experimentales, Universidad de Burgos, Facultad de Educación, Calle de Villadiego, 1, Burgos 09001, España

English version: pp. XXXX / *Versión en español*: pp. XXXX

References / *Referencias*: pp. XXXX

Translation from Spanish / *Traducción del español*: Jennifer Martin

Received 31 January 2020

Accepted 30 April 2021

ABSTRACT

The teaching of STEAM has been gaining ground in the world of education for some years now. This article presents two fundamental contributions to STEAM literature. The first contribution is the detailed description of a STEAM work experience with secondary school students using Project Based Learning, in which the disciplines of science and art are connected and integrated. To achieve this, connections established among the disciplines corresponding to S, T, E, A and M are analysed. The second contribution presented in this paper is the study of the relationships established between the members of the educational community and the external educational agents (artists, researchers and research centres) involved in the project. These relationships

among all the educational agents give rise to important connections relevant to STEAM education. Additionally, an increase in performance and interest in science and technology manifested by the students is analysed in a quantitative way. The students perceive an improvement in certain skills, such as teamwork, creativity, communication and self-evaluation.

KEYWORDS

STEAM; new teaching methods; creativity; new pedagogical approaches; integrated teaching

RESUMEN

La enseñanza STEAM se está imponiendo en el mundo educativo desde hace unos años. Este artículo presenta dos contribuciones fundamentales a la literatura STEAM. En primer lugar, la descripción detallada de una experiencia de trabajo STEAM llevada a cabo con alumnado de Secundaria empleando Aprendizaje Basado en Proyectos, donde las disciplinas de ciencias y arte aparecen conectadas e integradas. Para esto, se analizan las conexiones que se establecen entre las disciplinas S, T, E, A y M. En segundo lugar, el estudio de las relaciones generadas entre los integrantes de la comunidad educativa y los agentes educativos externos (artistas, investigadores, centros de investigación) involucrados en el proyecto. Estas conexiones resultan una parte relevante de la educación STEAM. Además, se analiza de manera cuantitativa el aumento del rendimiento y del interés por la ciencia y la tecnología manifestado por el alumnado, que percibe una mejora en algunas habilidades, como trabajo en equipo, creatividad, comunicación y autocrítica.

PALABRAS CLAVE

STEAM; nuevos métodos de enseñanza; creatividad; nuevos enfoques pedagógicos; enseñanza integrada

The term STEM education refers to the integrated and connected teaching of scientific-technological disciplines (Science, Technology, Engineering and Mathematics) through the use of real-world issues ([Martín-Páez et al., 2019](#); [Sanders, 2009, 2012](#)) in contexts that allow students to make connections between school, community, work and business in order to develop the ability to compete in the new economy ([Tsupros et al., 2009](#)). To achieve this goal, STEM education must ensure that students learn conceptual content in addition to twenty-first-century skills, which include communication, critical thinking, creativity and collaboration ([MacDonald et al., 2019](#)), to effectively enter into the labour and social world in which they must solve problems in a global and changing environment ([National Research Council \(NRC\), 2012](#); [Yakman & Lee, 2012](#)).

The integration of STEM disciplines with art, language, social studies and the humanities also allows us to address the understanding and resolution of current problems from an increased interdisciplinary approach ([Nistor et al., 2018](#)). Doing so contributes to developing scientific literacy in students, preparing them for global citizenship. At the same time, learning experiences are enriched, improving the affective aspects of the teaching-learning process, reducing school dropout ([Chu et al., 2019](#); [Kim & Chae, 2016](#); [Nussbaum, 2010](#)) and

democratizing education ([Nussbaum, 2010](#)). We move from this to an approach known as STEAM (the A is for Art) that emphasizes the humanistic vision of STEM teaching ([Boy, 2013](#)).

This article presents a STEAM work experience carried out at the secondary education level, using an active methodology, Project Based Learning (PBL), where all STEM and artistic disciplines are connected and integrated. The project's implementation has the objective of student learning through the creation of connections between disciplines and between members of the educational community and the external educational agents (artists, researchers and research centres) involved in the project.

From STEM education to STEAM education through PBL

As a complement to the STEM approach, an artistic pedagogical practice and the acquisition of twenty-first-century skills can be incorporated ([Hunter-Doniger & Sydow, 2016](#)) by adding the A for Art, which encompasses ethics, rhetoric, aesthetics and creativity ([Taylor, 2016](#)), thus obtaining the acronym STEAM. This offers a more complete training in terms of culture, music, and humanities ([Aróstegui, 2016](#)), avoiding the dichotomous thinking of art as illogical and of science as not creative ([Park & Ko, 2012](#)). This training will enable the preparation of cleverer and more creative future scientists ([Segarra et al., 2018](#)). Thus, more presence and curricular value is given to humanistic teaching, whose eradication, as [Nussbaum \(2010\)](#) points out, will have the result that 'nations all over the world will soon be producing entire generations of useful machines' (p. 20).

However, although science and art belong to different domains, the relationship between object and image in art can be considered similar to the relationship between physical reality and measurement ([Jho, 2019](#)). Furthermore, artistic as well as scientific processes share similar stages: observation, questioning and testing, and the exchange and communication of ideas ([Prengaman, 2019](#)).

STEAM education incorporates the benefits of scientific creativity and artistic creativity ([Lehmann & Gaskins, 2019](#); [Silverstein & Layne, 2010](#)). While scientific creativity is essentially groundbreaking, creating new conceptions that often eliminate the previous ones, artistic creativity does not tend to do so, meaning that artistic innovations often coexist with those preceding them ([Martínez-Freire, 2002](#)). Conversely, the scientific process, which is defined by having more rigid cognitive structures, can be complemented with artistic creative

processes that are evidently affective, allowing STEAM education to join the two processes together ([Prengaman, 2019](#)).

While creative people are more engaged and are perhaps more active and motivated learners ([Subotnik et al., 2011](#)), this is not the only advantage of this connection between scientific creativity and artistic creativity or between STEM and art. This connection, through both the content and the pedagogical method, will help students think and argue for themselves ([Nussbaum, 2010](#)). Similarly, science can also contribute to improving creative thinking in other disciplines; however, a deep understanding of these other disciplines is required for this ([Jho, 2019](#)). An important question then arises: Which teaching-learning methodology is ideal for achieving an integrated approach of this nature? Most of the authors consulted ([Cilleruelo & Zubiaga, 2014](#); [Domènech-Casal, 2019](#); [Liao, 2016](#); [Perales-Palacios & Aguilera, 2020](#); [Queiruga-Dios et al., 2019](#)) agree that the implementation of a STEAM education can be carried out through active methodologies such as PBL, as something inherent in this approach.

A STEAM project proposal requires the creation of connections between disciplines, but it must also connect students with the real world through the environment, in other words, with members of the educational community and with other external educational actors ([Tsupros et al., 2009](#)). In fact, establishing connections between all the elements of the students' daily life that exist beyond school and their meaningful incorporation into the teaching-learning processes is an important educational challenge ([Bouillion & Gomez, 2001](#)).

In light of these considerations, this work is based on the implementation of a STEAM project that applies the PBL methodology with the involvement of teachers from different disciplines, who collaborate in the design of STEAM teaching activities ([Liao, 2016](#); [Yakman & Lee, 2012](#)). As a starting point for the implementation of this ambitious STEAM project, Liao's recommendation ([Liao, 2016](#)) is followed and the work is carried out in a single classroom, which will be considered as the reference classroom. This will be the centre of connection with the environment of the educational community and external agents and will also serve to subsequently lay the foundations for the development of more sophisticated initiatives.

Objectives

The objectives set out in this research were the following:

- (1) Describe and analyse the connections made during the implementation and development of a STEAM project, as well as the participation of all educational agents involved.
- (2) Quantitatively assess the performance of the students after the implementation of the project in the classroom, as well as its impact outside the classroom through the actions realized.

- (3) Analyse the students' opinions regarding the impact that their participation in the project has produced on them.

Methodology

Participants

This project has distinct participant profiles, from teachers to external educational agents, as described in [Table 1](#). The students attend a school located in the central area of a city in northern Spain where they belong to different school year levels. They come from families with medium-high socioeconomic levels. The abovementioned classroom consists of a sample of 26 students (14 boys and 12 girls), 15–16 years old, from the fourth year of compulsory secondary education (*Enseñanza Secundaria Obligatoria* — ESO). It should be noted that the project's coordinating teacher is one of the authors of this article and also has training in STEM education. Two additional teachers of history and art and literature have previous experience in implementing similar projects.

Instruments

The following instruments were used to carry out the project's assessment:

- (1) Daily observation of the students' work and the work from student teams, using the rubric included in [Appendix 1](#). The students' work was supervised during each session through inquiry and guidance. The teacher recorded notes in his classroom register.
- (2) Assessment rubrics for final products ([Appendix 2](#)). The individual quantitative score is not analysed in this study.
- (3) Battery of questions, designed ad hoc by the interdisciplinary teaching team to determine the students' assessment of their learning as a result of participation in the project and the impact that said project has had on them. This consisted of 12 multiple-choice questions, for which a four-point Likert-type scale was used from 1: 'strongly disagree' to 4: 'strongly agree'. Cronbach's alpha was .724, a coefficient value that shows an acceptable internal consistency for the early stages of research or for exploratory studies ([Nunnally, 1967](#)).
- (4) Interview with external educational agents to find out their opinions on the activity. They were asked three multiple-choice questions that used a five-point Likert-type scale from 1: 'strongly disagree' to 5: 'strongly agree' in order to determine any change in their views regarding the present school.
- (5) Qualitative assessment of the project, which includes the degree of collaboration of all the agents involved and the project's impact measured by the number of actions performed that *transcended the walls of the classroom*.

Procedure

The project's teacher-coordinator was responsible for making the connections described below,

thus involving the educational community and the external agents shown in [Table 1](#). Both the teacher-coordinator and the history and art and literature teachers teach students involved in the project and work together to avoid any research bias that could influence the results ([Hernández-Sampieri et al., 2010](#)).

The faculty was informed of the interest in developing a STEAM project with the main idea revolving around space exploration and the search for life since astrobiology provides an interdisciplinary context to which contributions can be made from all areas and levels. This STEAM project was developed throughout a trimester in the information and communication technologies (ICT) subject, which met weekly for a total of three hours.

Proposal of the reference classroom's activity

For the reference classroom, it was determined that the students should work in pairs to create an animated science fiction movie. They were assigned a celestial body capable of hosting life according to news reports in the regular newspapers and in scientific publications: planets and moons of our solar system and several exoplanets. The students were to follow the same steps that any professional production would follow ([Benítez et al., 2013](#)):

- (1) Search for scientific and technical information ([Kirby, 2011](#)): physical characteristics of the planet or moon, its location, why it appears in the press as likely to host life and possible exploration projects that NASA or the ESA may be developing.
- (2) Development of a two-page science fiction story describing the narrative and that will serve as the script for a multimedia production ([Gutiérrez, 2018](#)). It must also be accompanied by an illustration created by the students ([Figure 1](#)), thus favouring literary and artistic creativity ([Land, 2013](#)).
- (3) Construction of a storyboard ([Figure 2](#)) indicating the scenes that the movie would include ([Van der Lelie, 2006](#)).
- (4) Creation of a two-minute animated movie using Adobe Flash Professional C6 software. The technical requirements were: (a) the number of scenes must correspond to those of the storyboard and be 800×600 pixels in size; (b) it must contain different types of animation: frame by frame, motion tween (move objects between two points in the scene) and shape tween (scale an object or distort it; can represent an object moving closer or farther away). [Figure 3](#) shows a screenshot taken during the editing of a scene from the movie made by a student team.

To analyse the status of the project, the teachers in charge of it met weekly for one hour. The art and literature teachers suggested actions that could be performed, and they also reviewed the students' work in order to give their feedback.

Project management team

While the multimedia production was in development, a management team (MT) was created in

the reference classroom, made up of five student volunteers who adopted the role of project managers and spokespersons (with one of the students as coordinator). The MT decided to create a blog that would serve as a showcase, giving visibility to the project.

During the first meetings an outline of the actions that could be carried out in an effort *to move the project outside the classroom* was developed. Weekly meetings of 15 minutes between the teacher-coordinator and the MT were held. Progress, difficulties and new lines of action were reviewed in these meetings. The distribution of tasks that arose among the students was additionally organized in order to give them the responsibility of leading the project and making decisions and to also ensure that the students designed new lines by themselves and caused the project to grow without predefined limits, while the teacher guided and facilitated the processes.

[Table 2](#) summarizes the actions arising from these meetings between the teacher-coordinator and the MT.

Connections outside the classroom

The teacher-coordinator established connections outside the classroom, with teachers and students from other educational levels taking part, in addition to students pursuing their master's degree in teaching. Subsequently, the MT was in charge of contacting students and teachers from other years to request their collaboration, for example: 'When would be a good time for a presentation in your classroom of some of the work?' or 'When would it be convenient to organize a videoconference?'

Compulsory secondary education (ESO) and baccalaureate (second-year bach.) teachers participated in developing the activities, making sure the schedules were flexible so that the students from the different years could meet on various occasions, inviting those teams that were working on projects to go to their classrooms to exhibit the work. The preschool and primary teachers also collaborated by allowing the secondary students to present their projects to the younger students.

[Table 3](#) shows the project participants and their roles.

The students' families were informed of the project and invited to participate in the activities carried out, such as exhibitions in the classroom and accompanying students to science fairs and visits to institutions.

The professor-coordinator established contact, through institutional websites or social networks, with professionals from different areas of knowledge and with different profiles:

university professors, researchers and artists. The project was explained to them and they were asked to participate in an interview or videoconference with the students. This had an intent: to show the students that a subject that may seem to be just scientific-technological in nature, such as space exploration, is actually connected to all areas of knowledge (mathematics, physics, psychology, anthropology, art, etc.). The teacher-coordinator obtained the questions for the interview from the students by asking them: ‘What would you ask a person who researches solar energy, connecting it to space exploration? A person who researches human evolution? A person doing maths research?’ Each team of four students proposed a question, the questions were then pooled, and a few were selected with the teacher’s guidance.

Finally, visits to institutions, technology centres and museums were organized. The students were able to have direct contact with research staff and to visit the following facilities and interpretation centres: Centro de Astrobiología (Center for Astrobiology), Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (National Institute for Aerospace Technology), Centro Europeo de Astronomía Espacial (European Space Astronomy Center), Complejo de Comunicaciones con el Espacio Profundo (Deep Space Communications Complex), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Center for Energy, Environment and Technology Research), in addition to the Museo Lunar (Moon Museum) ([Figure 4](#)).

Results

The results corresponding to each objective are described below:

Objective 1: Describe and analyse the connections made during the implementation and development of a STEAM project, as well as the participation of all educational agents involved.

Connections between communities. The connections made are shown in [Figure 5](#). In green, the students from the larger reference classroom centred and binarily connected with all the agents; in red, the educational community; in orange, the artists, scientists and institutions; and in blue, the teaching staff involved in the project are shown, where the teacher-coordinator holds the greatest weight.

Connections among disciplines. In this project all the letters, S, T, E, A and M, have been worked on within a single subject. [Table 4](#) details the contributions of each subject to the STEAM project.

Connections between teachers. The art and literature teachers participated in the assessment of the artistic aspects: story, drawing, storyboard, poster layout, etc. The project was

very highly valued by these teachers. They also noted some difficulties, such as the amount of time required to organize and monitor the project ([Wells et al., 2009](#)).

All the teachers, in a subsequent staff meeting, expressed their interest in continuing to carry out similar activities and expressed the following ideas:

(1) *The experience has been enriching.*

The preschool and primary students have enjoyed and learned from it.

(2) *It would be interesting if the presentations could coincide with the curricular content being developed in the classroom at the time.*

There is interest in repeating the experience in successive school years.

Intra-classroom connections. The cooperative work structure used enabled the fluid exchange of ideas, helping to raise the students' performance and establish positive relationships that allow for adequate social, psychological and cognitive development, as suggested by [Johnson et al. \(1999\)](#).

Inter-classroom connections. In addition to students from the reference class, students from the third year of ESO and from the baccalaureate were involved in the project. [Table 5](#) shows the research articles that the students from these other school year levels worked on as part of their participation.

An exchange of experiences also took place between the students from the reference class and the other classes, as well as between the other classes with respect to each other ([Figure 6](#)).

Continuous interaction occurred between students: the students from different levels shared results by organizing small seminars and conferences. For example, the baccalaureate students explained their research on astrobiology to the fourth-year students in ESO.

Connections with other members of the educational community. The students' families were involved in the activities, encouraging the students' participation and accompanying them to events that were held and visits that were organized: work exhibitions, science fairs and trips to the facilities of different institutions.

Former students also collaborated by guiding the students in the layout of the final products, and the master's degree students participated in the review of the contents and joined the students during the development of classroom activities and science fairs. In personal interviews held later, everyone expressed their satisfaction with participation in the project.

Connections with scientists, researchers, artists and institutions. A total of 20 external educational agents collaborated in the project, as well as seven cultural and scientific institutions

that expressed, in a subsequent interview, very positive opinions: ‘In the school of today, the students are more active’ (university professor) and ‘responsible for their learning’ (scientist), and ‘they can develop their potential’ (professor at the Higher School of Art). All of them expressed their interest in continuing to participate in educational projects and 16 out of the 20 participants answered the battery of questions, the results of which are shown in [Table 6](#). As can be seen in the responses, their participation has improved their perception of school.

As for the participating artists, in addition to giving suggestions to the students, they collaborated directly with illustrations dedicated to the space theme ([Figure 7](#)). These illustrations are the product of the artists’ contact with science, in which science and the scientist’s task is reinterpreted from an artistic point of view in order to show this vision to society and, in particular, to the students. The topics addressed in the videoconferences were: (a) the relationship between science and art, from the perspective of an artist; (b) expression through art; and (c) comic book illustrations. One of the artists expressed how he perceived the relationship between science and art in this way: ‘chemistry is closely related to my work’, and he subsequently spoke to us about aspects that he defines as more philosophical, based on the ‘random chaos of my painter’s palette’ and then concluded with, from his perception, the importance of science in humanization and human achievements.

Objective 2: Quantitatively assess the performance of the students after the implementation of the project in the classroom, as well as its impact outside the classroom through the actions realized.

All the students achieved the academic objectives according to the ICT (information and communications technology) subject curriculum ([Ministerio de Educación, Cultura y Deporte \(MECD\), 2015](#)), which were assessed by using the rubrics detailed in [Appendix 1](#) and [Appendix 2](#). The tasks assigned by the teachers were performed with a level of quality appropriate to the specifications of these rubrics.

To study the effect of the STEAM project on student performance, pre-post survey analysis was performed taking as a previous measure the average score of each student from the previous two trimesters (the mean for the first trimester and second trimester is 6.1 and 6.22 points respectively) in which they had worked in a traditional way by carrying out some practical activities. The third trimester score had a mean of 7.03 points. The Wilcoxon non-parametric test was performed to compare the means ($p = .009081$) and shows that the increase in the score is statistically significant, with a significance level of **0.05**.

[Table 7](#) shows the impact produced outside the classroom through the actions analysed within the school as well as outside it.

Objective 3: Analyse the students' opinions regarding the impact that their participation in the project has produced on them.

[Table 8](#) lists the questions asked and the results obtained.

High scores without significant differences are observed with regard to gender. This was analysed with the non-parametric Mann-Whitney U test ($p = .367$) and had a significance level of .05. As can be observed, the students show an increase in their interest towards science and technology, positively assessing the project's methodology and perceiving an improvement in some skills, such as the ability to work in a team, communication and creativity, while at the same time taking notice of connections made during the project.

Discussion

The analysis of the STEAM practices that were consulted in the literature suggests that the activities are designed with an emphasis on one of the STEM disciplines, integrating a cultural and artistic component and giving relevance to learning through social constructivism ([Chu et al., 2019](#); [Nussbaum, 2010](#); [Pérez-Tornero, 2002](#)). This social constructivism is further supported through the use of technology for creating online exhibitions and communication with students from other schools.

In this article's proposal, social constructivism takes a more relevant role in the teaching-learning process since interaction not only occurs between students and between students and teachers, but the students' environment becomes an educational agent itself due to the connections made. This context provides opportunities for learning and for creative and educational dialogue ([Pérez-Tornero, 2002](#)). The connections established between the school and the environment are bidirectional in terms of the exchange of knowledge ([Bouillion & Gomez, 2001](#)): the student is aware of the connections established, realizing that he/she 'has worked as a scientist', and the external educational agents learn about what the school of today looks like.

Despite the diversity of existing approaches in the implementation of STEAM education ([Martín-Páez et al., 2019](#)), the benefits in student learning are highlighted in all of these proposals. However, this learning goes beyond the different disciplines' conceptual content since it allows students to acquire quality knowledge that enables the transfer of that knowledge between these disciplines ([Chu et al., 2019](#); [Jho, 2019](#); [Yakman & Lee, 2012](#)).

In the work presented, the incorporation of artistic and humanistic disciplines improved the academic performance of students in STEM disciplines, as suggested by other authors ([Cilleruelo & Zubiaga, 2014](#); [Hunter-Doniger & Sydow, 2016](#); [Tveita, 1999](#)). That improvement was significant compared to other trimesters in which other approaches were carried out. Conversely, the actions performed in the reference classroom had an impact throughout the school and in the environment. This is evident both in the statements from the external educational agents and in the actions carried out by the students in the activities designed.

Working on a STEAM project increases students' interest in scientific-technological disciplines and expands their perspective on problem-solving ([Chu et al., 2019](#); [Conradty et al., 2020](#); [Nistor et al., 2018](#)). In addition, the development of skills related to teamwork, communication, creativity and self-evaluation is favoured ([Lehmann & Gaskins, 2019](#); [Silverstein & Layne, 2010](#)). These results are consistent with the students' assessments and with the results obtained in the assessment through the use of the rubrics. No significant differences were found with respect to gender, which is in line with results from other studies in which art is incorporated into the STEAM disciplines ([Tveita, 1999](#)).

Conclusions

In recent years, interest has grown in the integration of STEAM education into teaching curricula. The fundamental contribution from this present article lies in the detailed description of a STEAM project in which the design, realization and assessment performed by the multiple actors involved are specified, as well as the impact produced. This can serve as a reference for teachers or schools that may be in the process of adapting their curricula to these new approaches. As an additional contribution, it shows the need and importance of connections with the environment and how this environment acts as an educational agent and provides veracity to the educational proposal in which students work in the real world. These connections not only break boundaries between the different disciplines but between all elements of the educational community. Thus, teachers from different areas must work together on the design of educational projects, making spaces and times more flexible. In addition to the improvement in academic performance and the increased interest in science and technology, the students perceive an improvement in their skills with regard to teamwork, creativity, communication and self-evaluation. Furthermore, in view of the impact produced by the actions carried out around

the project, the students in turn become educational agents.

The implementation of STEAM projects involves adapting the curricular structure commonly found in schools to be more flexible, allowing teachers to generate connections and changing the limited context in which teaching normally occurs ([Yakman & Lee, 2012](#)). This, in turn, impacts the necessary change in teaching-learning environments ([National Research Council \(NRC\), 2007](#)), not so much with the modification of the geometry of the school's physical spaces but integrating the school into the environment through the creation of connections. It is necessary to change the space contested by disciplines into a relational site where teachers and policy makers work collaboratively to allow for local experiments ([MacDonald et al., 2019](#)). A STEAM project can be implemented by structuring activities around a focus of interest that could be quite diverse — food, sustainability, human evolution, etc. — and can create connections, for example, through open science or citizen science ([Queiruga-Dios et al., 2020](#)).

As future lines of research, the progressive consolidation of a STEAM project that allows the accumulation of experience by the teachers involved will be considered, starting with short-term classroom activities, up to the creation of a school project spanning more than one trimester with collaborations from international entities and exchanges between students. At the same time, it would be interesting to conduct a longitudinal study of students' academic decisions to see if these approaches, together with active methodologies, produce a decrease in school drop-out and/or an increase in scientific-technological vocations, which is probable. Lastly, the improvement in scientific literacy in non-epistemic aspects as well as in the positive appreciation of science and technology should also be analysed. Furthermore, if this improvement is found, an analysis of the relationship between it and the increased interest in artistic disciplines should be carried out.

Implementación de un proyecto STEAM en Educación Secundaria generando conexiones con el entorno

El término Educación STEM hace referencia a la enseñanza de las disciplinas científico-tecnológicas (Science, Technology, Engineering and Mathematics) de una forma integrada y conectada a través de cuestiones del mundo real ([Martín-Páez et al., 2019](#); [Sanders, 2009, 2012](#)) en contextos que permitan al alumnado realizar conexiones entre la escuela, la comunidad, el trabajo y la empresa para desarrollar la capacidad de competir en la nueva economía ([Tsupros et al., 2009](#)). Para conseguir este objetivo, la Educación STEM ha de asegurar que el alumnado aprende contenidos conceptuales además de las habilidades del Siglo XXI que incluyen la comunicación, el pensamiento crítico, la creatividad y la colaboración ([MacDonald et al., 2019](#)) para incorporarse eficazmente al mundo laboral y social en el que deberán resolver problemas

en un ambiente global y cambiante ([National Research Council \(NRC\), 2012](#); [Yakman & Lee, 2012](#)).

La integración de las disciplinas STEM y el arte, el lenguaje, los estudios sociales y las humanidades, permite abordar, además, la comprensión y resolución de problemas actuales, desde una mayor interdisciplinariedad ([Nistor et al., 2018](#)). Con esto, se contribuye a desarrollar la alfabetización científica del alumnado preparándolo para la ciudadanía global, a la par que enriqueciendo las experiencias de aprendizaje mejorando los aspectos afectivos del proceso de enseñanza-aprendizaje, disminuyendo el abandono escolar ([Chu et al., 2019](#); [Kim & Chae, 2016](#); [Nussbaum, 2010](#)) y democratizando la enseñanza ([Nussbaum, 2010](#)). De esta manera se pasa a un enfoque conocido como STEAM (con la A de Arte) que enfatiza la visión humanista de la enseñanza STEM ([Boy, 2013](#)).

En este artículo se presenta una experiencia de trabajo STEAM llevada a cabo en Secundaria empleando una metodología activa como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) donde todas las disciplinas STEM y artísticas aparecen conectadas e integradas. La implementación del proyecto tiene por objetivo el aprendizaje del alumnado a través de la generación de conexiones entre disciplinas y entre los integrantes de la comunidad educativa y los agentes educativos externos (artistas, investigadores, centros de investigación) involucrados en el proyecto.

De Educación STEM a Educación STEAM a través de ABP

Como complemento al enfoque STEM se puede incorporar la práctica pedagógica artística y la adquisición de las habilidades del Siglo XXI ([Hunter-Doniger & Sydow, 2016](#)) añadiendo a esas siglas la A de Arte, que engloba la ética, la retórica, la estética y la creatividad ([Taylor, 2016](#)), obteniendo el acrónimo STEAM. Con ello se ofrece una formación más completa en términos de Cultura, Música y Humanidades ([Aróstegui, 2016](#)), evitando el pensamiento dicotómico de que el arte es ilógico y la ciencia no es creativa ([Park & Ko, 2012](#)), para preparar futuros científicos más ingeniosos y creativos ([Segarra et al., 2018](#)). Así, se da más presencia y valor curricular a las enseñanzas humanísticas, cuya erradicación, como señala [Nussbaum \(2010\)](#), repercutirá en que ‘las naciones de todo el mundo en breve producirán generaciones enteras de máquinas utilitarias’ (p. 20).

Sin embargo, aunque la ciencia y el arte pertenecen a diferentes dominios, la relación entre objeto e imagen en el arte puede considerarse como correspondiente a la relación entre la realidad física y la medición ([Jho, 2019](#)). Además, tanto los procesos artísticos como los

científicos comparten etapas similares: observación, realización de preguntas y pruebas e intercambio y comunicación de ideas ([Prengaman, 2019](#)).

La Educación STEAM incorpora los beneficios de la creatividad científica y la creatividad artística ([Lehmann & Gaskins, 2019](#); [Silverstein & Layne, 2010](#)): mientras que la primera es esencialmente rupturista, creando nuevas concepciones que a menudo eliminan a las anteriores, la creatividad artística no suele serlo, de forma que las novedades artísticas suelen coexistir con lo anterior ([Martínez-Freire, 2002](#)). Por otro lado, el proceso científico, que se define por tener estructuras cognitivas más rígidas, se puede complementar con los procesos creativos artísticos que son evidentemente emocionales, permitiendo la Educación STEAM unir ambos procesos ([Prengaman, 2019](#)).

Si bien las personas creativas son más comprometidas y, tal vez, aprendices más activos y motivados ([Subotnik et al., 2011](#)), esta no es la única ventaja de esta conexión entre la creatividad científica y la creatividad artística o entre disciplinas STEM y arte. Tanto por el contenido como por el método pedagógico, esta conexión ayudará a que el alumnado reflexione y argumente por sí mismo ([Nussbaum, 2010](#)). Del mismo modo, la ciencia puede contribuir también a mejorar el pensamiento creativo en otras disciplinas, pero para ello es necesaria una comprensión profunda de estas ([Jho, 2019](#)). Entonces surge una cuestión importante: ¿qué metodología de enseñanza-aprendizaje es la idónea para lograr un enfoque integrado de esta naturaleza? La mayoría de los autores consultados ([Cilleruelo & Zubiaga, 2014](#); [Domènech-Casal, 2019](#); [Liao, 2016](#); [Perales-Palacios & Aguilera, 2020](#); [Queiruga-Dios et al., 2019](#)) coinciden en que la implementación de la enseñanza STEAM puede realizarse a través de metodologías activas como el ABP como algo inherente a este enfoque.

El planteamiento de un proyecto STEAM requiere de la creación de conexiones entre disciplinas, pero también debe conectar al alumnado con el mundo real a través del entorno, es decir, con los miembros de la comunidad educativa y con otros agentes educativos externos ([Tsupros et al., 2009](#)). De hecho, un importante reto educativo es establecer conexiones entre todos los elementos de la vida cotidiana del alumnado que existen más allá de la escuela y su incorporación significativa en los procesos de enseñanza-aprendizaje ([Bouillion & Gomez, 2001](#)).

A la luz de estas consideraciones, en este trabajo se parte de la implementación de un proyecto STEAM aplicando la metodología ABP donde el profesorado de distintas disciplinas colabora en el diseño de las actividades de enseñanza STEAM ([Liao, 2016](#); [Yakman & Lee, 2012](#)). No obstante, como punto de partida para la ejecución de un proyecto STEAM ambicioso, se sigue la recomendación de [Liao \(2016\)](#) y se trabaja en un aula individual, que será considerada el aula de referencia. Este será el centro de conexión con el entorno de la

comunidad educativa y agentes externos y que además servirá para, posteriormente, sentar las bases para la elaboración de iniciativas más sofisticadas.

Objetivos

Los objetivos planteados en esta investigación fueron los siguientes:

- (1) Describir y analizar las conexiones realizadas durante la implementación y desarrollo de un proyecto STEAM, así como la participación de todos los agentes educativos involucrados.
- (2) Valorar cuantitativamente el rendimiento del alumnado después de la implementación del proyecto en el aula, así como su impacto fuera de ella a través de las acciones realizadas.
- (3) Analizar la opinión del alumnado con respecto al impacto que ha producido en él la participación en el proyecto.

Metodología

Participantes

En este proyecto intervienen distintos perfiles de participantes, desde profesorado a agentes educativos externos, descritos en la [Tabla 1](#). El alumnado pertenece a distintos cursos de un centro educativo de la zona centro de una ciudad del norte de España de familias de nivel socioeconómico medio-alto. La clase de referencia mencionada anteriormente está formada por una muestra de 26 estudiantes (14 chicos y 12 chicas) de cuarto curso de Enseñanza Secundaria Obligatoria, ESO, (15–16 años). Entre el profesorado, se ha de destacar al profesor-coordinador del proyecto descrito en este trabajo, que es uno de los autores de este manuscrito y tiene formación en STEM y, además, dos profesoras, de Historia y Arte y Literatura, con experiencia previa en implementación de proyectos similares.

Instrumentos

Para realizar la evaluación del proyecto se utilizó:

- (1) Observación diaria del trabajo del alumnado y de los equipos de estudiantes, utilizando la rúbrica del [Apéndice 1](#). Durante cada sesión se supervisó el trabajo del alumnado, preguntando y orientando. El profesor tomaba nota en su diario de aula.
- (2) Rúbricas de evaluación de los productos finales ([Apéndice 2](#)). En el presente estudio no se analiza la calificación cuantitativa individual.
- (3) Batería de preguntas, diseñado ad hoc por el equipo docente interdisciplinar para conocer la apreciación del estudiante sobre su aprendizaje como consecuencia de su participación en el proyecto y las repercusiones que ha tenido sobre él. Estaba formado por 12 preguntas de respuesta múltiple, para lo que se utilizó una escala tipo Likert con valores entre 1: ‘absolutamente en desacuerdo’ y 4: ‘totalmente de

acuerdo'. El coeficiente Alfa de Cronbach fue de .724, valor que muestra una consistencia interna aceptable para las primeras fases de una investigación o para estudios exploratorios ([Nunnally, 1967](#)).

- (4) Entrevista con los agentes educativos externos para conocer su opinión sobre la actividad y batería de preguntas formada por tres cuestiones de respuesta múltiple utilizando una escala tipo Likert con valores entre 1: 'absolutamente en desacuerdo' y 5: 'totalmente de acuerdo' a fin de conocer el cambio de apreciación sobre la escuela actual.
- (5) Evaluación cualitativa del proyecto, a través del grado de colaboración de todos los agentes involucrados y del impacto del proyecto medido a través del número de acciones llevadas a cabo que *trascienden las paredes del aula*.

Procedimiento

El profesor-coordinador del proyecto fue el responsable de realizar las conexiones que se describirán posteriormente, involucrando así a la comunidad educativa y a los agentes externos mostrados en la [Tabla 1](#). Tanto el profesor-coordinador como las profesoras de Historia y Arte y Literatura imparten docencia en los cursos involucrados en el proyecto y trabajan de manera conjunta para evitar sesgos en la investigación que influyan en los resultados ([Hernández-Sampieri et al., 2010](#)).

Se informó al claustro sobre el interés en desarrollar un proyecto STEAM donde la idea principal del proyecto giraría en torno a la exploración espacial y la búsqueda de vida ya que la astrobiología proporciona un contexto interdisciplinar al que se puede contribuir desde todas las áreas y niveles. Dicho proyecto STEAM fue desarrollado a lo largo de un trimestre en la asignatura de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) con una carga lectiva de tres horas semanales.

Planteamiento de la actividad en la clase de referencia

Como propuesta de actividad para la clase de referencia se determinó que, por parejas, debían realizar una película de animación de ficción científica. Se les asignó un cuerpo celeste susceptible de albergar vida según las noticias aparecidas en la prensa habitual y en publicaciones de divulgación científica: planetas y lunas de nuestro Sistema Solar y algunos exoplanetas. El alumnado debía seguir las mismas fases que sigue cualquier producción profesional ([Benítez et al., 2013](#)):

- (1) Búsqueda de información científica y técnica ([Kirby, 2011](#)): características físicas del planeta o luna, ubicación, por qué aparece en la prensa como susceptible de albergar vida y posibles proyectos de exploración que pudieran estar desarrollando la NASA o la ESA.

- (2) Elaboración de un relato de ficción científica de dos páginas describiendo la acción y que servirá como guion para una producción multimedia ([Gutiérrez, 2018](#)) y que debía ir acompañado de una ilustración realizada por el alumnado ([Figura 1](#)), favoreciendo así la creatividad literaria y artística ([Land, 2013](#)).
- (3) Construcción de un *storyboard* o guion gráfico ([Figura 2](#)) indicando las escenas que conformarían la película ([Van der Lelie, 2006](#)).
- (4) Realización de una película de animación con una duración de dos minutos utilizando el programa Adobe Flash Professional C6. Los requisitos técnicos fueron: (a) el número de escenas debe corresponderse con las del *storyboard* y 800 × 600 píxeles de tamaño; (b) debe contener distintos tipos de animación: fotograma a fotograma, interpolación de movimiento (trasladar objetos entre dos puntos del plano) e interpolación de forma (escalar un objeto o deformarlo; puede representar el acercamiento o alejamiento de un objeto). En la [Figura 3](#) se muestra una captura realizada durante la edición de una escena de la película realizada por el equipo de estudiantes.

Para analizar el estado del proyecto, el profesorado responsable se reunía una hora a la semana y las profesoras de Arte y Literatura sugerían acciones que se podrían emprender y, además, revisaban los trabajos del alumnado para reportar retroalimentación.

Equipo directivo del proyecto

Paralelamente al desarrollo de la producción multimedia se creó en el aula de referencia un Equipo Directivo (ED) formado por cinco estudiantes voluntarios que adoptaron el rol de responsables y portavoces del proyecto (una de las alumnas actuó como coordinadora). El ED decidió la realización de un blog que sirviera como escaparate y proyección del proyecto.

En las primeras reuniones se construyó un esquema de las acciones que podrían realizarse para *sacar el proyecto fuera del aula*, y semanalmente se mantuvo una reunión de 15 minutos entre el profesor-coordinador y el ED. En estas reuniones se revisaban avances, dificultades, nuevas líneas de acción y se organizaba el reparto de las tareas que surgían entre el alumnado para darles la responsabilidad de conducir el proyecto y la toma de decisiones, y que ellos mismos diseñaran nuevas líneas e hicieran crecer el proyecto sin unos límites predefinidos, mientras el profesor guiaba y facilitaba los procesos.

La [Tabla 2](#) resume las acciones surgidas de estas reuniones entre el profesor-coordinador y el ED.

Conexiones fuera del aula

El profesor-coordinador estableció conexiones fuera del aula, involucrando docentes y estudiantes de otros cursos, además de estudiantes del Máster del Profesorado. Posteriormente, el ED se encargaba de contactar con alumnado y profesorado de otros cursos para solicitar su

colaboración; por ejemplo: en qué momento sería adecuado hacer una exposición de alguno de los trabajos en su aula o qué momento sería adecuado para organizar una videoconferencia.

El profesorado de Secundaria y Bachillerato participó en el desarrollo de las actividades, flexibilizando los horarios para que el alumnado de los distintos cursos coincidiese en distintos momentos, invitando a que aquellos equipos que estaban realizando trabajos fueran a sus aulas a exponerlos. Además, el profesorado de Infantil y de Primaria colaboró recibiendo al alumnado que expuso sus proyectos.

La [Tabla 3](#) muestra los participantes en el proyecto y el rol desarrollado.

Las familias fueron informadas del proyecto e invitados a participar en las actividades realizadas, como exposiciones en el aula, acompañamiento a ferias científicas y visitas a instituciones.

El profesor-coordinador estableció contacto, a través de las páginas institucionales o por las redes sociales, con profesionales de distintas áreas del conocimiento y con perfil diferente: profesorado universitario, investigadores y artistas. Se les explicaba el proyecto que se estaba realizando y se solicitaba su participación con el objeto de realizar una entrevista o videoconferencia con el alumnado. Esto tenía una intencionalidad: mostrar al alumnado que un tema que puede parecer de corte científico-tecnológico, como la exploración espacial, está conectado con todas las áreas del conocimiento (matemáticas, física, psicología, antropología, arte, etc.). El profesor-coordinador obtenía del alumnado las preguntas para la entrevista planteándoles: ‘¿Qué le preguntaríais a una persona que investiga en energía solar, relacionado con la exploración espacial?’, ‘¿a una persona que investiga en evolución humana?’, ‘¿a una persona que investiga en matemáticas?’ Cada equipo de cuatro estudiantes proponía una pregunta y posteriormente se ponían en común, seleccionándose algunas de ellas con la orientación del profesor.

Por último, se organizaron visitas a instituciones, centros tecnológicos y museos. El alumnado pudo entrar en contacto directo con personal investigador y visitar instalaciones y centros de interpretación: Centro de Astrobiología, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Centro Europeo de Astronomía Espacial, Complejo de Comunicaciones con el Espacio Profundo, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, además del Museo Lunar ([Figura 4](#)).

Resultados

Se describen a continuación los resultados correspondientes a cada objetivo:

Objetivo 1: Describir y analizar las conexiones realizadas durante la implementación y desarrollo de un proyecto STEAM, así como la participación de todos los agentes educativos involucrados.

Conexiones entre comunidades. Las conexiones realizadas se muestran en la [Figura 5](#). En color verde, el estudiantado del aula de referencia de mayor tamaño, centrado y conectado binariamente con todos los agentes; en color rojo, la comunidad educativa; en anaranjado los artistas, científicos e instituciones; y en color azul se muestra al profesorado implicado en el proyecto, donde, el profesor-coordinador tiene mayor peso.

Conexiones entre disciplinas. En este proyecto se han trabajado todas las letras S, T, E, A y M en una única asignatura. La [Tabla 4](#) detalla las contribuciones de cada materia al proyecto STEAM.

Conexiones entre docentes. Las profesoras de Arte y Literatura participaron en la evaluación de los aspectos artísticos: relato, dibujo, *storyboard*, maquetación de posters, etc. El proyecto fue muy bien valorado por estas profesoras y se apuntaron algunas dificultades como la cantidad de tiempo necesario para la organización y seguimiento del proyecto ([Wells et al., 2009](#)).

Todo el profesorado, en posterior claustro, manifestó su interés en seguir realizando actividades similares expresando las ideas siguientes:

(1) *La experiencia ha resultado enriquecedora.*

El alumnado de Infantil y Primaria ha disfrutado y aprendido.

(2) *Sería interesante que las exposiciones coincidieran con el contenido curricular que se está desarrollando en el aula.*

Hay interés en que la experiencia se repita en cursos sucesivos.

Conexiones intra-aula. La estructura de trabajo cooperativo empleada permitió el intercambio fluido de ideas ayudando a elevar el rendimiento del alumnado y establecer relaciones positivas que permiten lograr un adecuado desarrollo social, psicológico y cognitivo, tal y como sugieren [Johnson et al. \(1999\)](#).

Conexiones inter-aula. En el proyecto se involucraron, además del alumnado de la clase de referencia, estudiantes de 3º de ESO y de Bachillerato. En la [Tabla 5](#) se muestra la participación del alumnado de estos cursos en forma de artículos de investigación.

Se realizó, además, un intercambio de experiencias entre el alumnado de la clase de referencia y las otras clases, así como de las otras clases entre sí ([Figura 6](#)).

Hubo una continua interacción entre estudiantes: el alumnado de distintos cursos compartió los resultados a través de la organización de pequeños *seminarios* y conferencias. Como ejemplo, diremos que el alumnado de Bachillerato explicó en el curso 4º de ESO su investigación sobre Astrobiología.

Conexiones con otros miembros de la comunidad educativa. Las familias se involucraron en las actividades realizadas, animando a la participación y acompañando al alumnado en los eventos desarrollados y movilidades organizadas: exposición de trabajos, ferias científicas y viajes a las instalaciones de distintas instituciones.

Además, antiguas alumnas colaboraron orientando al alumnado en la maquetación de los productos finales y el alumnado del Máster participó en la revisión de los contenidos, acompañó al alumnado durante el desarrollo de las actividades de aula y a las ferias científicas. Posteriormente en entrevistas personales, todos manifestaron su satisfacción por la participación en el proyecto.

Conexiones con científicos, divulgadores, artistas e instituciones. Colaboraron en el proyecto un total de 20 agentes educativos externos, así como siete instituciones culturales y científicas que manifestaron, en posterior entrevista, opiniones muy positivas: ‘En la escuela actual el alumnado es más activo’ (profesor Universidad) ‘y responsable de su aprendizaje’ (científico), ‘y puede desarrollar su potencial’ (profesora Escuela Superior de Arte). Todos manifestaron su interés en seguir participando en proyectos educativos y 16 de los 20 participantes contestaron la batería de preguntas cuyos resultados se muestran en la [Tabla 6](#). Como se aprecia en las respuestas, su participación ha mejorado la percepción que tenían de la escuela.

En cuanto a las y los artistas participantes, además de dar sugerencias al alumnado, colaboraron directamente con ilustraciones dedicadas a la temática espacial ([Figura 7](#)). En estas ilustraciones, producto del contacto del artista con la ciencia, este reinterpreta la ciencia y la tarea del científico desde su punto de vista artístico para mostrar esta visión a la sociedad y, en particular, al alumnado. Los temas abordados en las videoconferencias fueron: (a) la relación entre la ciencia y el arte, desde la perspectiva de un artista; (b) la expresión a través del arte; (c) ilustraciones de cómics. Uno de los artistas expresaba así cómo percibía la relación entre ciencia y arte: ‘la química está muy relacionada con mi trabajo’, para posteriormente hablarnos de aspectos que él mismo define como más filosóficos, partiendo del ‘caos aleatorio de mi paleta de pintor’ para concluir, desde su percepción, la importancia de la ciencia en la humanización y los logros humanos.

Objetivo 2: Valorar cuantitativamente el rendimiento del alumnado después de la implementación del proyecto en el aula, así como su impacto fuera de ella a través de las acciones realizadas.

Todo el alumnado logró los objetivos académicos según el currículo de la asignatura TIC ([Ministerio de Educación, Cultura y Deporte \(MECD\), 2015](#)) que se evaluaron mediante las rúbricas del [Apéndice 1 y Apéndice 2](#). Las tareas encomendadas por el profesorado se realizaron con un nivel de calidad adecuado a las especificaciones de dichas rúbricas.

Para estudiar el efecto del proyecto STEAM en el rendimiento del alumnado, se realizó un análisis pre-post tomando como medida previa la calificación media de cada estudiante de los dos trimestres anteriores (la media del primer trimestre y segundo trimestre es 6.1 y 6.22 puntos respectivamente) en los que habían trabajado de manera tradicional realizando alguna actividad práctica. La nota del tercer trimestre tuvo una media de 7.03 puntos. El análisis estadístico realizado a través de un contraste de medias no paramétrico de Wilcoxon ($p = .009081$) indica que el aumento de la calificación es estadísticamente significativo con un nivel de significatividad de 0,05.

En la [Tabla 7](#) se muestra el impacto producido fuera del aula a través de las acciones analizadas en el centro educativo y fuera de él.

Objetivo 3: Analizar la opinión del alumnado con respecto al impacto que ha producido en él la participación en el proyecto.

En la [Tabla 8](#) se recogen las cuestiones formuladas y los resultados obtenidos.

Se aprecian puntuaciones elevadas sin diferencias significativas en cuanto a género detectadas con un contraste de hipótesis no paramétrico U Mann-Whitney ($p = .367$) con un nivel de significatividad de .05. Se observa que el alumnado manifiesta un aumento de interés hacia la ciencia y la tecnología, apreciando positivamente la metodología del proyecto y percibiendo una mejoría en algunas habilidades, como la capacidad de trabajo en equipo, la comunicación y la creatividad, a la vez que toma conciencia de las conexiones realizadas.

Discusión

El análisis de las prácticas STEAM consultadas en la literatura, sugiere que las actividades se diseñan poniendo énfasis en una de las disciplinas STEM, integrando un componente cultural y artístico y dando relevancia al aprendizaje por constructivismo social ([Chu et al., 2019](#);

[Nussbaum, 2010](#); [Pérez-Tornero, 2002](#)). Este constructivismo social es reforzado con el uso de la tecnología para la creación de exposiciones online y la comunicación con estudiantes de otros centros.

En la propuesta abordada en este artículo, el constructivismo social toma un papel más relevante en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que la interacción no solo se produce entre el alumnado y entre alumnado-profesorado, sino que el entorno del alumnado se transforma en un agente educativo a través de las conexiones realizadas. Este contexto proporciona oportunidades para el aprendizaje y para el diálogo creativo y educativo ([Pérez-Tornero, 2002](#)). Las conexiones establecidas entre la escuela y el entorno son bidireccionales en cuanto al intercambio de conocimiento ([Bouillion & Gomez, 2001](#)): el alumnado es consciente de las conexiones que ha establecido percibiendo que *ha trabajado como un científico*, y los agentes educativos externos aprenden sobre cómo es la escuela actual.

A pesar de la diversidad de enfoques existentes en la implementación de la enseñanza STEAM ([Martín-Páez et al., 2019](#)), en todas las propuestas se resaltan los beneficios en el aprendizaje del alumnado. Sin embargo, este aprendizaje va más allá de los contenidos conceptuales de las distintas disciplinas, ya que logra que el alumnado adquiera conocimiento de calidad que permite la transferencia de ese conocimiento entre esas disciplinas ([Chu et al., 2019](#); [Jho, 2019](#); [Yakman & Lee, 2012](#)).

En el trabajo presentado, la incorporación de las disciplinas de corte artístico y humanístico mejoró el rendimiento académico del alumnado en las disciplinas STEM, como sugieren otros autores ([Cilleruelo & Zubiaga, 2014](#); [Hunter-Doniger & Sydow, 2016](#); [Tveita, 1999](#)). Esa mejora fue significativa con respecto a otros trimestres en los que se trabajó con otros enfoques. Por otro lado, las acciones realizadas desde el aula de referencia tuvieron impacto en todo el centro educativo y en el entorno. Esto queda patente tanto en las declaraciones de los agentes educativos externos como en las actuaciones llevadas a cabo por el alumnado en las actividades diseñadas.

Trabajar en un proyecto STEAM aumenta el interés del alumnado por las disciplinas científico-tecnológicas y amplía su perspectiva en la resolución de problemas ([Chu et al., 2019](#); [Conradty et al., 2020](#); [Nistor et al., 2018](#)). Además, se favorece el desarrollo de habilidades de trabajo en equipo, comunicación, creatividad y autocrítica ([Lehmann & Gaskins, 2019](#); [Silverstein & Layne, 2010](#)). Estos resultados concuerdan con la apreciación del alumnado y con los resultados obtenidos en su evaluación realizada con las rúbricas utilizadas. No se hallaron diferencias significativas con respecto a la variable género, lo cual está en concordancia con los

resultados de otros estudios en los que se incorpora el arte a las disciplinas STEAM ([Tveita, 1999](#)).

Conclusiones

En los últimos años ha crecido el interés en la integración de la Enseñanza STEAM en los currículos de enseñanza. En este escenario, se presenta la contribución fundamental de este artículo que reside en la descripción minuciosa de un proyecto STEAM donde se detalla el diseño, la realización y la evaluación realizada por múltiples agentes involucrados, así como el impacto producido. Esto puede servir de referencia para profesorado o centros educativos que estén adaptando sus currículums hacia nuevos enfoques. Como segunda contribución, se muestra la necesidad y la importancia de las conexiones con el entorno y cómo este entorno actúa como agente educativo y da veracidad a la propuesta educativa en la que el alumnado trabaja en el mundo real. Estas conexiones implican no solamente romper las fronteras entre las distintas disciplinas, sino entre todos los elementos de la comunidad educativa. Así, el profesorado de distintas áreas debe trabajar conjuntamente en el diseño de proyectos educativos, flexibilizando espacios y tiempos. Además de la mejora del rendimiento académico y aumento del interés por la ciencia y la tecnología, el alumnado percibe una mejora en sus habilidades como son trabajo en equipo, creatividad, comunicación y autocrítica. Por otro lado, a la vista del impacto producido por las acciones realizadas en torno al proyecto, el alumnado involucrado se transforma a su vez en agente educativo.

La implementación de proyectos STEAM implica flexibilizar la estructura curricular encontrada habitualmente en los centros educativos, permitiendo que el profesorado genere conexiones, y cambiar el contexto limitado en el que se enseña ([Yakman & Lee, 2012](#)). Esto, a su vez, repercute en el necesario cambio de los ambientes de enseñanza-aprendizaje ([National Research Council \(NRC\), 2007](#)), no tanto con la modificación de la geometría de los espacios físicos del centro escolar, sino integrando el centro escolar en el entorno a través de la generación de conexiones. Es preciso, para ello, cambiar el espacio disputado por las disciplinas por un sitio relacional en el que trabajen en colaboración docentes y responsables políticos para permitir experimentos locales ([MacDonald et al., 2019](#)). Un proyecto STEAM puede implementarse vertebrando actividades en torno a un foco de interés que podría ser muy diverso: alimentación, sostenibilidad, evolución humana, etc., y realizar conexiones, por ejemplo, a través de la ciencia abierta o la ciencia ciudadana ([Queiruga-Dios et al., 2020](#)).

Como futuras líneas de investigación, se estudiará la consolidación progresiva de un proyecto STEAM que permita la acumulación de experiencia por parte del profesorado involucrado: comenzando por actividades de aula de corta duración, hasta la creación de un proyecto de centro que abarque más de un trimestre con colaboraciones de entidades internacionales e intercambios entre alumnado. Al mismo tiempo, sería interesante realizar un estudio longitudinal de las decisiones académicas del alumnado, para ver si estos enfoques, unidos a las metodologías activas, producen una disminución del abandono escolar y/o un aumento en las denominadas vocaciones científico-tecnológicas, lo que es presumible. Finalmente, debería analizarse también la mejora en la alfabetización científica en aspectos no epistémicos así como en la apreciación sobre la ciencia y la tecnología. Además, si se produce esta mejora, analizar la relación entre esta y el aumento del interés por las disciplinas artísticas.

Acknowledgements / Agradecimientos

This study was carried out within the project [EDUCYL2018_04] selected in call 237/2018 from the Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León (Department of Education of the Castile y León Regional Government) and is funded by the Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León through the Dirección General de Innovación y Equidad Educativa (General Directorate of Innovation and Educational Equity). Our gratitude to the organizers of the Ciencia en Acción y Feria de la Ciencia y Tecnología de Castilla y León (Science on Stage and Science and Technology Fair of Castile and León) and the national competition for young researchers ‘*Si eres original, eres de libro*’ for the awards granted. / *Este estudio se realizó dentro del proyecto [EDUCYL2018_04] seleccionado en la convocatoria 237/2018 de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León y es financiado por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León a través de la Dirección General de Innovación y Equidad Educativa. Nuestro agradecimiento a los organizadores de las ferias científicas Ciencia en Acción y Feria de la Ciencia y Tecnología de Castilla y León, y del concurso nacional de jóvenes investigadores ‘Si eres original, eres de libro’ por los galardones concedidos.*

Disclosure statement / Conflicto de intereses [AQ1]

No potential conflict of interest was reported by the authors. / *Los autores no han referido ningún potencial conflicto de interés en relación con este artículo.*

References / Referencias

Aróstegui, J. L. (2016). Exploring the global decline of music education. *Arts Education Policy Review*, *117*(2), 96–103. <https://doi.org/10.1080/10632913.2015.1007406>

Benítez, A. J., Rodríguez, V., & Utray, F. (2013). *Guion técnico y planificación de la realización*. Universidad Carlos III de Madrid. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16373/guion_tecnico_2013.pdf

Bouillion, L. M., & Gomez, L. M. (2001). Connecting school and community with science learning: Real world problems and school–community partnerships as contextual scaffolds. *Journal of Research in Science Teaching*, *38*(8), 878–898. <https://doi.org/10.1002/tea.1037>

Boy, G. A. (2013). From STEM to STEAM: Toward a human-centred education, creativity & learning thinking. *Proceedings of the 31st European conference on cognitive ergonomics* (p. 3). ACM. <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?print=yes&R=20130011666>

Chu, H. E., Martin, S. N., & Park, J. (2019). A theoretical framework for developing an intercultural STEAM program for Australian and Korean students to enhance science teaching and learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *17*(7), 1251–1266. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9922-y>

Cilleruelo, L., & Zubiaga, A. (2014, November 11-13). *Una aproximación a la Educación STEAM. Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología* [Paper presentation]. XXI Jornadas de Psicodidáctica, Bilbao, Spain.

Conradty, C., Sotiriou, S. A., & Bogner, F. X. (2020). How creativity in STEAM modules intervenes with self-efficacy and motivation. *Education Sciences*, *10*(3), 70. <https://doi.org/10.3390/educsci10030070>

Domènech-Casal, J. (2019). STEM: Oportunidades y retos desde la Enseñanza de las Ciencias. *Universitas Tarraconensis. Revista De Ciències De l'Educació*, *1*(2), 154–168. <https://doi.org/10.17345/ute.2019.2>

Gutiérrez, J. S. (2018). El guion cinematográfico: Su escritura y su estatuto artístico. *Signa: Revista de la Asociación Española de Semiótica*, *27*, 523–539. <https://doi.org/10.5944/signa.vol27.2018.21855> [AQ2]

Hernández-Sampieri, R., Collado, F., & Lucio, C. B. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill.

Hunter-Doniger, T., & Sydow, L. (2016). A journey from STEM to STEAM: A middle school case study. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, *89*(4-5), 159–166. <https://doi.org/10.1080/00098655.2016.1170461>

- Jho, H. (2019). Interdisciplinary approach to combine science and art: Understanding of the paintings of René magritte from the viewpoint of quantum mechanics. *Foundations of Science*, 24(3), 527–540. <https://doi.org/10.1007/s10699-019-09600-z>
- Johnson, D., Johnson, R., & Holubec, E. (1999). *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Paidós.
- Kim, H., & Chae, D. H. (2016). The development and application of a STEAM program based on traditional Korean culture. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(7), 1925–1936. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1539a>
- Kirby, D. A. (2011). *Lab coats in hollywood: Science, scientists, and cinema*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8483.001.0001>
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547–552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317> [AQ3]
- Lehmann, J., & Gaskins, B. (2019). Learning scientific creativity from the arts. *Palgrave Communications*, 5(1), 1–5. <https://doi.org/10.1057/s41599-019-0308-8>
- Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: An arts-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, 69(6), 44–49. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224873>
- MacDonald, A., Wise, K., Tregloan, K., Fountain, W., Wallis, L., & Holmstrom, N. (2019). Designing STEAM education: Fostering relationality through design-led disruption. *International Journal of Art & Design Education*, 39(1), 227–241. <https://doi.org/10.1111/jade.12258>
- Martínez-Freire, P. F. (2002). *Rasgos básicos de la creatividad científica*. <http://webpersonal.uma.es/~FREIRE/Hipervc/Creatividad.htm> [AQ4]
- 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*, 103(4), 799–822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD). (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. MECD. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105>
- National Research Council (NRC) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. In R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.), *Committee on Science Learning, K-8*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12190>

- National Research Council (NRC). (2012). *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century*. In J. W. Pellegrino, & M. L. Hilton, (Eds), *Committee on Defining Deeper Learning and 21st Century Skills*. Board on Testing and Assessment and Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13398>
- Nistor, A., Gras-Velazquez, A., Billon, N., & Mihai, G. (2018). *Science, Technology, Engineering and Mathematics Education Practices in Europe. Scientix Observatory report*. European Schoolnet. <https://bit.ly/2ADrCai>
- Nunnally, J. C. (1967). *Psychometric theory*. McGraw-Hill.
- Nussbaum, M. C. (2010). *Sin fines de lucro. Por qué la democracia necesita de las humanidades*. (Rodil, M.V., trad.). Katz editores.
- OECD. (2003). *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework*. <https://doi.org/10.1787/19963777>
- Park, N., & Ko, Y. (2012). Computer education's teaching-learning methods using educational programming language based on STEAM education. *IFIP international conference on network and parallel computing* (pp. 320–327). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35606-3_38
- Perales-Palacios, F. J., & Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción? *Ápice. Revista De Educación Científica*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Pérez-Tornero, J. M. (2002). Crisis de educación, crisis de comunicación. *Ágora Digital*, 3. <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/3455> [AQ5]
- Prengaman, E. (2019). Lessons in Process: Similarities between Scientific and Artistic Creative Practice. *The STEAM Journal*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.5642/steam.20190401.11>
- Queiruga-Dios, M. Á., López-Iñesta, E., Diez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M. C., & Vázquez-Dorrío, J. B. (2020). Citizen Science for Scientific Literacy and the Attainment of Sustainable Development Goals in Formal Education. *Sustainability*, 12, 4283. <https://doi.org/10.3390/su12104283> [AQ6]
- Queiruga-Dios, M. Á., Sáiz-Manzanares, M. C., & Montero-García, E. (2019). Adaptive and creative problem-projects in the teaching of science. description of the methodology and appreciation of the students involved. *Research in Education and Learning Innovation Archives*, 23(23), 1–23. <http://dx.doi.org/10.7203/realia.23.15567>

- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *Technology Teacher*, 68(4), 20–26. <https://www.teachmeteamwork.com/files/sanders.istem.ed.ttt.istem.ed.def.pdf>
- Sanders, M. (2012). Integrative STEM education as “best practice”. In H. Middleton (Ed.), *Explorations of best practice in technology, design, & engineering education* (Vol. 2, pp. 103–117). Griffith Institute for Educational Research.
- Segarra, V. A., Natalizio, B., Falkenberg, C. V., Pulford, S., & Holmes, R. M. (2018). STEAM: Using the arts to train well-rounded and creative scientists. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 19(1). <https://dx.doi.org/10.1128%2Fjmb.e.v19i1.1360> [AQ7]
- Silverstein, L. B., & Layne, S. (2010). *What is Arts Integration?* The John F. Kennedy Center for the Performing Arts. <https://bit.ly/3dfE8ud>
- Staley, J. T. (2003). Astrobiology, the transcendent science: The promise of astrobiology as an integrative approach for science and engineering education and research. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(3), 347–354. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(03\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(03)00073-9)
- Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P., & Worrell, F. C. (2011). Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological Science in the Public Interest*, 12(1), 3–54. <https://doi.org/10.1177/1529100611418056>
- Taylor, P. C. (2016, August 7–9). *Why is a STEAM curriculum perspective crucial to the 21st century? 14th Annual conference of the Australian Council for Educational Research*. <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/37950/>
- Tsupros, N., Kohler, R., & Hallinen, J. (2009). *STEM education: A project to identify the missing components*. Intermediate Unit 1 Center for STEM Education and Leonard Gelfand Center for Service Learning and Outreach at Carnegie Mellon University.
- Tveita, J. (1999). Can untraditional learning methods used in physics help girls to be more interested and achieve more in this Subject? In M. Bandiera, S. Caravita, E. Torracca, & M. Vicentini (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 133–140). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9307-6_17
- Van der Lelie, C. (2006). The value of storyboards in the product design process. *Personal and Ubiquitous Computing*, 10(2-3), 159–162. <https://doi.org/10.1007/s00779-005-0026-7>
- Warnock, J. N., & Mohammadi-Aragh, M. J. (2016). Case study: Use of problem-based learning to develop students’ technical and professional skills. *European Journal of Engineering Education*, 41(2), 142–153. <https://doi.org/10.1080/03043797.2015.1040739>

Wells, S., Warelow, P., & Jackson, K. (2009). Problem based learning (PBL): A conundrum. *Contemporary Nurse*, 33(2), 191–201. <https://doi.org/10.5172/conu.2009.33.2.191>

Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072–1086. <https://doi.org/10.14697/JKASE.2012.32.6.1072>

Appendix 1. Rubric for daily work assessment.

	4	3	2	1
Cooperative work	The group has been organized according to roles and properly develops the activity.	The group has been organized according to roles and properly develops the activity. Is distracted on occasion.	The group has NOT been organized according to roles, although they carry out the activity. Some people in the group just watch.	The group has NOT been organized according to roles, and some people in the group just watch. They talk about things other than the activity on occasion.
Individual work	Maintains a constant work attitude throughout the session.	Occasionally distracted without impeding the development of the activity, the group work or the class.	Occasionally distracted, impairing the development of the activity.	Usually distracted, interfering with group work.

Appendix 2. Rubric for final productions and presentations.

	4	3	2	1
Storyboard	Perfectly expresses the scenes according to the story.	Correctly displays the scenes according to the story.	The scenes are not the most fitting in relation to the story.	Is quite lacking.
Story (style)	Excellent writing.	Good writing.	Adequate writing.	Completed. Poor writing.
Story (originality)	The story presents an original idea and plot.	The story presents a plot with enough original elements.	The story presents few original elements.	The story is an adaptation with little originality from the other story.
Story (scientific rigour)	The story has a rigorous scientific basis.	The story, in general, presents scientific rigour.	The story has some scientific elements.	The story has no scientific foundation.
Image	The images give strength to the story's text.	The images support the text by being connected to a certain scene.	The images are related to the story but do not communicate relevant information.	The images are not specifically related to the story.

Storyboard	Perfectly expresses the scenes according to the story.	Correctly displays the scenes according to the story.	The scenes are not the most fitting in relation to the story.	Is quite lacking.
Movie (technical quality)	The movie is complete, well edited, and fulfils all of the requirements.	The movie is complete, sufficiently well edited, and fulfils almost all of the requirements.	The movie is complete, is not well edited, and fulfils almost all of the requirements.	The movie is not complete, nor well edited, and does not fulfill all of the requirements.
Movie (artistic quality)	Audiovisual support is creative, of quality and original.	Adequate and interesting audiovisual support.	Adequate audiovisual support.	Inadequate audiovisual support, not original.
Presentation (style)	The presentation is clear and the student develops and controls the discourse and public speaking.	The presentation is adequate.	The presentation is vague and/or the student reads fragments.	The student reads from the content of the slides or from his/her notes.
Presentation (scientific rigour)	The information is treated with complete rigour.	The information presents some shortcomings.	The information lacks rigour.	The content of the presentation is seriously lacking.

Apéndice 1. Rúbrica de evaluación del trabajo diario.

	4	3	2	1
Trabajo cooperativo	El grupo se ha organizado según los roles y desarrolla adecuadamente la actividad.	El grupo se ha organizado según los roles y desarrolla adecuadamente la actividad. En alguna ocasión se distrae.	El grupo NO se ha organizado según los roles, aunque realizan la actividad. Algunas personas del grupo solo miran.	El grupo NO se ha organizado según los roles, y algunas personas del grupo solo miran. En ocasiones, charlan de cosas ajenas a la actividad.
Trabajo individual	Mantiene una actitud de trabajo continua durante toda la sesión.	Se distrae ocasionalmente sin impedir el desarrollo de la actividad ni el trabajo de grupo ni la clase.	Se distrae ocasionalmente perjudicando el desarrollo de la actividad.	Habitualmente se distrae interfiriendo el trabajo del grupo.

Apéndice 2. Rúbrica producciones finales y presentaciones.

Storyboard	Expresa perfectamente las escenas según el relato.	Muestra correctamente las escenas según el relato.	Las escenas no son las más adecuadas en relación al relato.	Presenta grandes carencias.
Relato (estilo)	Redacción excelente.	Buena redacción.	Redacción adecuada.	Hecho. Pobre redacción.
Relato (originalidad)	El relato presenta idea y una trama original.	El relato presenta una trama con bastantes elementos originales.	El relato presenta pocos elementos originales.	El relato es una adaptación y poco original de otra historia.
Relato (rigour científico)	El relato presenta una rigurosa base científica.	El relato, en general, presenta rigour científico.	El relato presenta algún elemento científico.	El relato no tiene fundamento científico-
Imagen	Las imágenes dan fuerza al texto del relato.	Las imágenes apoyan el texto estando conectadas con alguna escena.	Las imágenes están relacionadas con el relato, pero no comunican información relevante.	Las imágenes no guardan relación específica con el relato.
Película (calidad técnica)	La película está completa, bien editada y cumple todos los requisitos.	La película está completa, bastante bien editada y cumple casi todos los requisitos.	La película está completa, no está bien editada y cumple casi todos los requisitos.	La película no está completa, ni bien editada y no cumple todos los requisitos.
Película (calidad artística)	Soporte audiovisual, creativo, de calidad y original.	Soporte audiovisual adecuado e interesante.	Soporte audiovisual adecuado.	Soporte audiovisual inadecuado, no original.
Presentación (estilo)	La exposición es clara y el alumno se desenvuelve y domina el discurso y la oratoria.	La exposición es adecuada.	La exposición es poco clara y/o el alumno lee fragmentos.	El alumno lee el contenido de las diapositivas o de sus notas.
Presentación (rigour científico)	La información está tratada con total rigour.	La información presenta alguna carencia en su tratamiento.	La información no está tratada con rigour.	El contenido de la presentación presenta graves carencias.

Figure 1. Paintings created by a student to illustrate her story.

Figure 2. Example of a storyboard created by one of the teams.

Figure 3. Screenshot of a scene from one of the movies.

Figure 4. Photographs taken during one of the visits made by the students.

Figure 5. Binary relationships between students and educational agents.

Figure 6. Connections between the reference class and the other classes involved and between the other classes with respect to each other.

Figure 7. Some of the collaborations from the artists in which they illustrate their vision of science.

Figura 1. Pinturas realizadas por una alumna para ilustrar su relato.

Figura 2. Ejemplo de Storyboard elaborado por uno de los equipos.

Figura 3. Captura de una escena de una de las películas.

Figura 4. Fotografías durante alguna de las visitas realizadas por el alumnado.

Figura 5. Relaciones binarias entre alumnado y agentes educativos.

Figura 6. Conexiones entre la clase de referencia y las demás clases involucradas, así como de las otras entre sí.

Figura 7. Algunas de las colaboraciones de las y los artistas en las que muestran su visión de la ciencia.

Table 1. Participant type and number.

Participants	Number
4 th -year ESO students	26
3 rd -year ESO students	36
Baccalaureate students (2nd year bach.)	13
Master's of Teaching students — University of Burgos	4
Teachers involved	3
Other teachers	32
Family members	39
Artists	3
Former students	3
Scientists and communicators	17
Institutions	7
Total	183

Table 2. List of actions and persons responsible.

Task	Person(s) Responsible
General ideas of desired actions. Selection of project title. Creation and maintenance of a blog to contain the created content.	MT under the supervision of teachers.
Blog sections:	Blog management: MT
- Astrobiology: will contain all the scientific articles produced	All the students.
- Micro-interviews with scientists	All the students.
- SciFi (fiction stories)	Students from 4 th -year ESO.
- Blog (news and information)	MT.
Dissemination and outreach plan	
- Conferences at the centre	All the students.
- Participation in competitions	MT.
- Participation in science fairs	MT+ volunteers.
- Contact with scientists and institutions	First contact: teachers. Subsequent: students accompanied by teachers.
Design of dissemination elements:	
- Project logo	Design: contest among students. Finished: designer (former student). Supervision: teachers.
- Poster	Design: MT. Finished: designer (former student). Supervision: teachers.
- Leaflet	Design: MT. Finished: designer (former student). Supervision: teachers.
- Book	Design (idea): MT. Layout: designers (former students). Supervision and review: teachers and Master's Degree students.

Table 3. Project participants and their role.

Participants	Role
4 th -year ESO students	- Main project implementers: - Organization. - Development. - Construction. - Connection. - Dissemination.
3 rd -year ESO students	- Participate with: - Own research related to the space theme (or, relating research to space exploration).

Participants	Role
Baccalaureate students	<ul style="list-style-type: none"> - Handle requests for collaboration. - Participate with: - Own research related to space theme. - Handle requests for collaboration. - Provide suggestions over the development of the project.
Master's degree in teaching students	<ul style="list-style-type: none"> - Collaborate on: - Reviews of documents created (content, writing, format, spelling, etc.). - Guidance, follow-up, and support in the development of the project (direction, approach, connections with scientists, etc.). - Handling of requests from the teacher responsible for the project.
Teachers involved	<ul style="list-style-type: none"> - Organization and guidance of students. - Suggestions for new lines of research and development of the project. - Feedback and evaluation.
Artists	<ul style="list-style-type: none"> - Advise on design aspects. - Contribute with own works.
Former students	<ul style="list-style-type: none"> - Collaboration in design and layout.
Scientists and communicators	<ul style="list-style-type: none"> - Participate in meetings and interviews with students connecting their area of research with space exploration.
Institutions	<ul style="list-style-type: none"> - Support and promote the project. - Arrange meetings, visits, and activities for students.

Table 4. Representation of the most relevant aspects of each STEAM discipline.

Discipline	Aspects Worked On
S	<ul style="list-style-type: none"> • Development of the project around astrobiology, which is itself multidisciplinary (Staley, 2003). • Documentation of a star: characteristics and location (physics, chemistry, biology and geology). • Interviews with educational agents from different areas of scientific-technological research.
T	<ul style="list-style-type: none"> • Use of technological tools for multimedia production and exhibition of works. • Use of synchronous and asynchronous communication tools for interviews and videoconferences with external educational agents, layout, preparation of posters, etc. • Use of programs for the layout and preparation of posters, etc.
E	<ul style="list-style-type: none"> • Search for information on future or developing technologies from space

Discipline Aspects Worked On

	<p>agencies for the exploration or colonization of different stars.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guided visits to facilities and research complexes by personnel who worked in different fields of engineering (materials, engines, aerodynamics, telecommunications, etc.). • Application of PBL methodology in a current project with real production stages, establishing connections with the environment and employing professional and technical skills that engineering requires (Warnock & Mohammadi-Aragh, 2016).
A	<ul style="list-style-type: none"> • Development of the fiction story, drawing and multimedia production. • Interviews and videoconferences with artists and researchers with training in the humanities to deal with classroom aspects such as: ‘How do Homo sapiens perceive the solitude of life in space?’ • Visits to facilities and museums: history of the space race and social impact, design of spaces, exhibitions, etc.
M	<ul style="list-style-type: none"> • Space and form: patterns, properties of objects, positions and orientations, representation, etc. (OECD, 2003). • Management of space and geometry of each scene in the movie, positioning the objects using their coordinates on the plane (simulating collisions or landings). • Adjusting the movie to the temporal conditions, determining the number of scenes and their duration in frames per second. • Interview with a mathematician and discussion: ‘Do you think that mathematics has been developed in other planets in a form similar to the evolution that it has followed on our planet? ‘

Table 5. Title and description of the work carried out by students from other classes.

Title	Brief description
What do you know about life?	Statistical research on the knowledge that people on the street possess of space exploration related aspects.
ExoMars	Article about the ESA mission travelling towards Mars.
Institutions and facilities	Documentation work on the presence of space institutions in Spain.
Searching for methane in the solar system	Documentation article on the presence of methane and organic compounds in the Solar System.
Mindstorms detection of water on	Robotics project linked to the importance of

Title	Brief description
Mars	detecting water on Mars.
Life on Mars	Article that delves into the requirements for the existence of life. Analyse extreme environments and extremophiles.

Table 6. Battery of external educational agent questions.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
Participating in school projects has changed my overall perception of school	3.81	1.07
If there has been change, this change has been positive	4.06	1.14
I think teaching has changed a lot since I studied	4.06	1.03

Note: *M* = mean; *SD* = standard deviation. Scores out of 5.

Table 7. Actions performed outside the classroom.

Talks given outside the classroom (to Preschool and Primary)	14
Presentations to families	1
Visits to cultural and technological centres	7
Participation in science fairs	2
Participation in researcher competitions	1

Table 8. Student responses to the assessment questions.

	Boys		Girls	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Working on the project:	3.5	0.6	3.5	0.5
My interest in science and technology in general has increased	7	5	8	1
It has allowed me to see science and technology as something practical	3.6	0.5	3.8	0.3
	4	0	3	9
	3.7	0.4	3.8	0.3
I have understood that science and technology are connected	9	3	3	9
It has allowed me to learn science and technology content	3.7	0.4	3.9	0.2

	Boys		Girls	
	9	3	2	9
	3.9	0.2	3.5	0.5
It has allowed me to learn science in a different way	3	7	0	2
	4.0	0.0	3.7	0.4
It has allowed me to work as a scientist	0	0	5	5
	3.9	0.2	3.8	0.3
My ability to work in a team has improved	3	7	3	9
	3.6	0.5	3.8	0.3
My communication skills have improved	4	0	3	9
	4.0	0.0	4.0	0.0
I have been able to develop my creativity	0	0	0	0
It has allowed me to establish connections with other classrooms and school year levels	4.0	0.0	3.7	0.4
	0	0	5	5
It has allowed me to establish connections with scientists, artists, entrepreneurs ...	4.0	0.0	3.9	0.2
	0	0	2	9
	3.5	0.5	3.5	0.5
I have improved my capacity for self-criticism	7	1	0	2

Note: *M* = mean; *SD* = standard deviation. Scores out of 4. Wilcoxon-Mann-Whitney test

$p = .367$ ($\alpha = .05$).

Tabla 1. Participantes y número.

Participantes	Número
Alumnado 4º ESO	26
Alumnado 3º ESO	36
Alumnado Bachillerato	13
Alumnado Máster del Profesorado Universidad de Burgos	4
Profesorado involucrado	3
Otro profesorado	32
Familiares	39
Artistas	3
Antiguas alumnas	3
Científicas/os y divulgadoras/es	17
Instituciones	7
Total	183

Tabla 2. Listado de acciones y responsables.

Tarea	Responsable
Ideas generales de lo que se desea hacer.	ED bajo la supervisión del profesorado.
Elección del título del proyecto.	

Tarea	Responsable
Construcción y mantenimiento de un blog para albergar los contenidos generados.	
Apartados del blog:	Gestión del blog: ED.
- Astrobiología: contendrá todos los artículos científicos elaborados	Todo el alumnado.
- Microentrevistas a científicas/os	Todo el alumnado.
- SciFi (relatos de ficción)	Alumnado de 4º de ESO.
- Blog (noticias e informaciones)	ED.
Plan de difusión y divulgación	
- Conferencias en el centro	Todo el alumnado.
- Participación en certámenes	ED.
- Participación en ferias científicas	ED + voluntarios.
- Contacto con científicas/os e instituciones	Primer contacto: profesorado. Posteriores: alumnado acompañado de profesorado.
Diseño de elementos de difusión:	
- Logo del proyecto	Diseño: concurso entre alumnado. Acabado: diseñadora (antigua alumna). Supervisión: profesorado.
- Póster	Diseño: ED. Acabado: diseñadora (antigua alumna). Supervisión: profesorado.
- Tríptico	Diseño: ED. Acabado: diseñadora (antigua alumna). Supervisión: profesorado.
- Libro	Diseño (idea): ED. Maquetación: diseñadoras (antiguas alumnas). Supervisión y revisión: profesorado y estudiantes del Máster.

Tabla 3. Participantes en el proyecto y rol.

Participantes	Rol
Alumnado 4º ESO	- Principales ejecutores del proyecto: - Organización. - Desarrollo. - Construcción. - Conexión. - Divulgación.
Alumnado 3º ESO	- Participar con: - Investigaciones propias relacionadas con la temática espacial (o, relacionándolas con la exploración

Participantes	Rol
	espacial).
	- Atender a las peticiones de colaboración.
Alumnado Bachillerato	- Participar con:
	- Investigaciones propias relacionadas con la temática espacial.
	- Atender a las peticiones de colaboración.
	- Aportar sugerencias sobre el desarrollo del proyecto.
Alumnado Máster del Profesorado	- Colaborar en:
	- Revisiones de documentos generados (contenido, redacción, formato, ortografía, etc.).
	- Guía, seguimiento y acompañamiento en el desarrollo del proyecto (orientación, enfoque, conexiones con científicos, etc.)
	- Atender a las peticiones del profesor responsable del proyecto.
Profesorado involucrado	- Organización y guía de los estudiantes.
	- Sugerencias de nuevas líneas de investigación y desarrollo del proyecto.
	- Retroalimentación y evaluación.
Artistas	- Asesorar en los aspectos de diseño.
	- Contribuir con obras propias.
Antiguas alumnas Científicas/os y divulgadoras/es	- Colaboración en diseño y maquetación.
	- Participar en encuentros y entrevistas con los estudiantes conectando su área de investigación con la exploración espacial.
Instituciones	- Apoyar y dar difusión al proyecto.
	- Concertar encuentros, visitas y actividades para los alumnos.

Tabla 4. Representación de los aspectos trabajados más relevantes de cada disciplina STEAM.

Disciplina	Aspectos trabajados
S	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo del proyecto en torno a la astrobiología, que es en sí misma multidisciplinar (Staley, 2003). • Documentación sobre un astro: características y ubicación (física, química, biología y geología). • Entrevistas a agentes educativos de distintas áreas de investigación científico-tecnológicas.
T	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de herramientas tecnológicas para la producción multimedia y exposición de los trabajos. • Uso de herramientas de comunicación síncronas y asíncronas para las entrevistas y videoconferencias con los agentes educativos externos, maquetación, elaboración de posters, etc. • Empleo de programas para la maquetación y elaboración de posters, etc.

Disciplina	Aspectos trabajados
E	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información sobre tecnologías futuras o en desarrollo de las agencias espaciales para la exploración o colonización de distintos astros. • Visitas guiadas a instalaciones y complejos de investigación por personal que desarrollaba su actividad en distintos campos de la ingeniería (materiales, motores, aerodinámica, telecomunicaciones, etc.). • Aplicación de metodología ABP en un proyecto actual con fases de producción real, estableciendo conexiones con el entorno y trabajando habilidades profesionales y técnicas que requieren la Ingeniería (Warnock y Mohammadi-Aragh, 2016).
A	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración del relato de ficción, dibujo y producción multimedia. • Entrevistas y videoconferencias con artistas e investigadores con formación en humanidades para tratar en el aula aspectos como: ‘¿Cómo percibe el Homo sapiens la soledad de la vida en el espacio?’ • Visitas a instalaciones y museos: historia de la carrera espacial e impacto social, diseño de espacios, exposiciones, etc.
M	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio y forma: patrones, propiedades de objetos, posiciones y orientaciones, representación, etc. (OECD, 2003). • Gestión de espacio y geometría de cada escena de la película, posicionando los objetos utilizando sus coordenadas en el plano (simulando colisiones o aterrizajes). • Ajuste de la película a las condiciones temporales, determinando el número de escenas y su duración en fotogramas por segundo. • Entrevista con un matemático y diálogo: ‘¿Crees que las matemáticas se hubieran desarrollado en otro planeta de forma similar a la evolución que han seguido en nuestro planeta?’

Tabla 5. Título y descripción de los trabajos realizados por el alumnado de otras clases.

Título	Breve descripción
¿Qué sabes de la vida?	Investigación estadística sobre el conocimiento de aspectos relacionados con la exploración espacial en la población de la calle.
ExoMars	Artículo sobre la misión de la ESA que viajaba rumbo a Marte.
Instituciones e instalaciones	Trabajo de documentación sobre la presencia en España de instituciones espaciales.
Buscando metano en el Sistema Solar	Artículo de documentación sobre la presencia de metano y compuestos orgánicos en el

Título	Breve descripción
	Sistema Solar.
Mindstorms detección de agua en Marte	Proyecto de robótica vinculado a la importancia de la detección de agua en Marte.
Vida en Marte	Artículo que ahonda en los requisitos para la existencia de vida. Analiza los ambientes extremos y extremófilos.

Tabla 6. Batería de preguntas agente educativo externo.

	<i>M</i>	<i>DT</i>
Participar en proyectos escolares, ha cambiado mi percepción global de la escuela	3.81	1.07
Si ha habido cambio, este cambio ha sido positivo	4.06	1.14
Creo que ha cambiado mucho la enseñanza desde que yo he estudiado	4.06	1.03

Nota: *M* = media, *DT* = desviación típica. Puntuaciones sobre 5.

Tabla 7. Acciones realizadas fuera del aula.

Conferencias fuera del aula (a Infantil y Primaria)	14
Exposiciones a familias	1
Visitas a centros culturales y tecnológicos	7
Participación en ferias científicas	2
Participación en certámenes de investigadores	1

Tabla 8. Respuestas del alumnado a las cuestiones de apreciación.

	Chicos		Chicas	
	<i>M</i>	<i>DT</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>
Trabajar en el proyecto:		0.6		0.5
Ha aumentado mi interés por la ciencia y tecnología en general	3.57	5	3.58	1
Me ha permitido ver la ciencia y la tecnología como algo práctico	3.64	0	3.83	9
		0.4		0.3
He comprendido que la ciencia y la tecnología están conectadas	3.79	3	3.83	9

		Chicos	Chicas		
			0.4		0.2
Me ha permitido aprender contenidos de ciencia y tecnología	3.79	3	3.92	9	
			0.2		0.5
Me ha permitido aprender ciencia de otra forma	3.93	7	3.50	2	
			0.0		0.4
Me ha permitido trabajar como un científico	4.00	0	3.75	5	
			0.2		0.3
Ha mejorado mi capacidad de trabajo en equipo	3.93	7	3.83	9	
			0.5		0.3
Ha mejorado mi habilidad de comunicación	3.64	0	3.83	9	
			0.0		0.0
He podido desarrollar mi creatividad	4.00	0	4.00	0	
			0.0		0.4
Me ha permitido establecer conexiones con otras aulas y cursos	4.00	0	3.75	5	
			0.0		0.2
Me ha permitido establecer conexiones con científicos, artistas, empresarios ...	4.00	0	3.92	9	
			0.5		0.5
He mejorado mi capacidad de autocrítica	3.57	1	3.50	2	

Nota: M = media, DT = desviación típica. Puntuaciones sobre 4. Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney $p = .367$ ($\alpha = .05$).