

Document downloaded from the institutional repository of the University of Alcalá: <http://ebuah.uah.es/dspace/>

This is a posprint version of the following published document:

Lage Gómez, C. & Ros Magán, G. 2021, “La integración transdisciplinar y su aplicación en Educación Primaria a través de dos proyectos STEAM = Transdisciplinary integration and its implementation in primary education through two STEAM projects”, *Infancia y Aprendizaje / Journal for the Study of Education and Development*, vol. 44, no. 4, pp. 801-837.

Available at <https://dx.doi.org/10.1080/02103702.2021.1925474>

© 2021 Fundación Infancia y Aprendizaje

(Article begins on next page)



This work is licensed under a

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International License.

Transdisciplinary integration and its implementation in primary education through two STEAM projects (*La integración transdisciplinar y su aplicación en Educación Primaria a través de dos proyectos STEAM*)

Carlos Lage-Gómez & Germán Ros

PREPRINT

Transdisciplinary integration and its implementation in primary education through two STEAM projects (*La integración transdisciplinar y su aplicación en Educación Primaria a través de dos proyectos STEAM*)

Carlos Lage-Gómez ^a and Germán Ros ^b

^aUniversidad Complutense de Madrid; ^bUniversidad de Alcalá

ABSTRACT

Curriculum integration from a STEAM transdisciplinary perspective represents a profound challenge. This study delves into a transdisciplinary approach to primary education and the role of the arts through two STEAM projects in a programme for gifted students in Madrid (Spain). Participants include 111 students from eight groups (11–12 years old), five teachers and four external professionals. The teachers fulfill the dual role of both teacher and researcher, using participant and non-participant observation, video recordings, interviews and classroom journals and questionnaires. All the findings have been triangulated and coded by means of Activity Theory, using Atlas.ti8 software and statistical analysis. The results show the significance of learning and the creation of meaningful experiences as being related to a high degree of motivation and satisfaction, and to the integration of diverse areas in a participatory process in which the arts play a disciplinary and integrating role. A transdisciplinary STEAM approach is presented that could be paradigmatic for the field of primary education.

RESUMEN

La integración curricular desde una perspectiva STEAM transdisciplinar representa un profundo desafío. Este estudio profundiza en una comprensión transdisciplinar de la Educación Primaria y el rol del arte en dos proyectos STEAM a través del concepto de *gran idea*. Han participado 111 estudiantes de ocho grupos (11–12 años) de un programa para alumnado con altas capacidades, junto con cinco profesores y cuatro profesionales externos. Desde el rol de profesores e investigadores, se ha empleado la observación participante y no participante, grabaciones de vídeo, entrevistas individuales y grupales, diarios de clase y cuestionarios, triangulados y codificados a través de la Teoría de la Actividad mediante el software Atlas.ti8 y el análisis estadístico. Los resultados evidencian la significatividad del aprendizaje y la construcción de experiencias significativas, relacionadas con un grado elevado de motivación y de satisfacción, así como a la integración de diversas áreas en un proceso participativo, en el que el arte ha jugado un rol disciplinar

e integrador. Se presenta una aproximación STEAM Transdisciplinar que podría resultar paradigmática para el ámbito de la Educación Primaria.

The STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) movement has sparked growing interest in scientific literature and in educational practice for more than a decade (Khine & Areepattamannil, 2019). However, along with the wide range of possibilities it represents for the educational field (Burnard & Colucci-Gray, 2020), a certain vagueness in its didactic implementation has stood out, as well as inconsistency in some of the research. All this is reflected in the scarcity of studies over the benefits that a STEAM education provides (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019).

Integration between the scientific-technological and artistic areas in STEAM

The role of the arts and their integration with scientific and technological areas represents one of the aspects generating discussion in the scientific literature. The role of the arts in the STEAM movement has been described from several perspectives, including:

- (1) Disciplinary value, through balanced integration of the disciplines (e.g., Clapp & Jimenez, 2016).
- (2) Contribution to the teaching and learning processes of STEM areas, promoting creative pedagogies that allow scientific-technological areas to be humanized (Ge et al., 2015).
- (3) Increase in student motivation and improvement in the effectiveness of teaching-learning processes in STEM areas (Henrkisen et al., 2015).
- (4) Development of creativity, innovation and invention (Harris & de Bruin, 2018).
- (5) Instrument for narrowing the gender gap that exists in scientific-technological careers (Colucci-Gray et al., 2019).

Additionally, and with the aim of promoting complete and inclusive knowledge, an extensive interpretation of the STEAM acronym has been encouraged (Colucci-Gray et al., 2019), which includes, for example, the humanities (Herro & Quigley, 2016). In this context, Perignat and Katz-Buonincontro (2019) suggested delving deeply into STEAM movement research, which enables, among other things, a better understanding of the integration of scientific-technological and artistic areas.

Curriculum integration and the transdisciplinary STEAM approach

The excessive compartmentalization of knowledge in subject areas, often unconnected to each other, has been repeatedly stressed. Curriculum integration has received increasing attention in the literature over the last three decades (Bautista et al., 2016) and could be conceived as an umbrella category that encompasses the integration of

a wide range of educational practices, justified from various ontological, epistemological, sociological or psychological perspectives (Torres Santomé, 1994). Thus, the integrated curriculum:

- (1) Establishes the contents' axis on ideas rather than on disciplines, using the concept of *big ideas* (Chalmers et al., 2017) or *thematic centres* (Etim, 2005). This perspective permits an approach to content that is focused on concepts, strategies, models or processes, and has been proven effective in achieving flexible and generalizable knowledge and improving problem-solving (Niemi et al., 2006).
- (2) Places students as the centre of teaching and learning processes, meeting their interests, motivation or self-knowledge (Bautista et al., 2016).
- (3) Promotes motivation and involvement of teachers.

One of the conceptual frameworks that make it possible to address curriculum integration in the classroom is transdisciplinarity (Hirsch Hadorn et al., 2007), whose application could be characterized by a series of fundamental aspects:

- (1) Integration of content around diverse subject areas. The idea of blurring the boundaries between the areas in a real integration of the teaching and learning processes from a metadisciplinary and multidimensional perspective is proposed (Marshall, 2014).
- (2) Holism and unity of knowledge as an epistemological principle (Nicolescu, 2012).
- (3) Connect learning with the real world, addressing real and socially relevant problems (Burger & Kamber, 2003).
- (4) Diverse participants involved in different areas and sectors, along with the students and teachers (Klein et al., 2001).
- (5) The role of the students is active and varied (Park & Son, 2010).

Costantino (2018) has advocated for adopting a transdisciplinary perspective in the STEAM movement, which emerges from the idea of collaboration as the movement's central axis and which favours actual integration between scientific-technological and artistic areas (Chapell et al., 2019). This would make it possible to use knowledge from each discipline to approach solutions to complex problems through creative thinking, fostering spaces to develop imagination and innovation from the conception of *big ideas*.

After corroborating a certain lack of connection in curriculum content from our teaching experience, as well as the importance of delving deeper into transdisciplinary integration in the STEAM movement, we present the report of a Collaborative Action Research study, developed with fifth- and sixth-year primary education students who attend an educational programme for gifted students in the Community of Madrid (Spain). The following research questions were posed:

- (1) What aspects characterize student learning through STEAM projects focused on transdisciplinary integration?

- (2) What are the benefits for students in the transdisciplinary STEAM projects implemented in the research study?
- (3) What is the role of the arts in the STEAM projects developed?
- (4) What elements characterize a transdisciplinary STEAM project from the perspective developed in the research study?

Method

A Collaborative Action Research Study (Cochran-Smith & Litle, 2009) was implemented in two cycles over the course of two full school years (2017/18 and 2018/19). Two transdisciplinary STEAM projects were developed using the *big ideas* of Fractals and Graphs. Beginning with the epistemological principle of teachers who, within the context of their own teaching activity, carry out research that is ethically designed, participatory and transformative in nature (Kemmis, 2010), the students, the teacher-researchers and skilled professionals came together in a shared social space as a community of practice (Wenger, 2002). Therefore, a spiral synthesis process between theory and practice was developed (Elliott, 2009), aimed at building learning and knowledge, convinced of the importance of understanding educational reality from within.

Context and participants

The study took place within a public programme for gifted students. This programme is an extracurricular programme that is both voluntarily and free of charge. It meets for 16 sessions each year between October and May, on two Saturdays per month, for a duration of 90 minutes each and is organized around diverse areas of knowledge: humanistic-literary, scientific-technological and artistic and social skills. The study was carried out in one of the six public schools where the programme is offered. Students were able to join the programme after a psycho-pedagogical assessment from their schools' counselling department. Eight groups of fifth- and sixth-year primary education students (11 and 12 years old) participated, for a total of 111 students (39 male students and 14 female students in the fractals project and 35 male students and 23 female students in the graphs project).

The study was implemented by a group of five teachers/professors from the educational programme: one from primary education and four from secondary education and university in the fields of history, biology and geology, musical expression and sciences. Additional collaboration came from two external skilled professionals, both experts in the topics addressed, and two audiovisual production professionals who edited an overview of each project. The cooperation of the educational programme coordinator and consent from the students' families was also granted.

The transdisciplinary STEAM project using a big idea: Fractals and Graphs

The starting point of the didactic proposal, in the planning stages of the study, consisted of a *big idea*, agreed upon by the teaching team and to which each discipline connected

(Figure 1). Fractals and Graphs were the *big ideas* chosen because (1) they can be easily connected to diverse disciplines, (2) they have a high level of conceptual concreteness and (3) they are novel concepts to the students. Gender equality was additionally established as a cross-cutting axis. It was intended to address the scarcity of women in scientific careers through the realization of tasks that are routinely stereotyped by gender, to have the teachers demonstrate equal educational models and to make professional women, experts in diverse areas, visible.

In the study's action stages, the projects began with a presentation and contextualization session (90 min). Different activities from the diverse disciplines were rotated in the following sessions (4 × 90 min). The two skilled professionals collaborated by holding conferences and workshops with the students (180 min). In addition, there were two subject-related field trips, one to the Museo Nacional de Ciencias Naturales (National Museum of Natural Sciences) and another to the Aula Taller del Museo de las Matemáticas (Classroom Workshop of the Museum of Mathematics) at the Universidad Politécnica de Madrid (Polytechnic University of Madrid) (180 min). In the end, a final product was created whose objective was to blur and integrate the barriers of the diverse

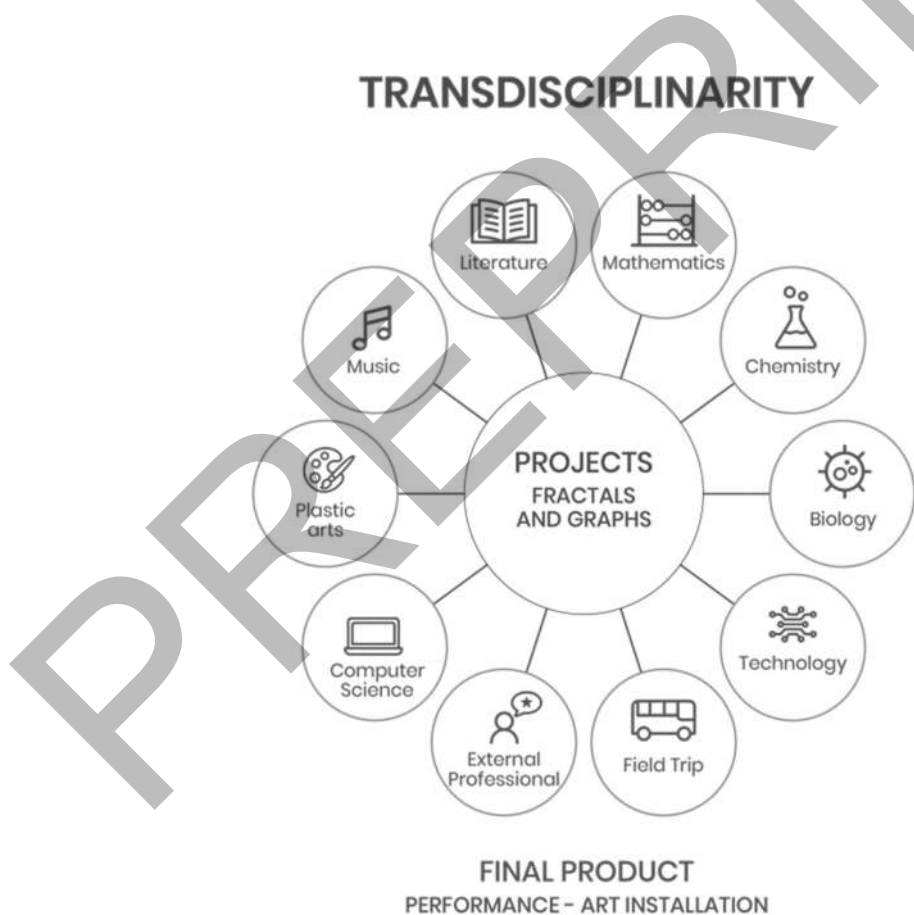


Figure 1. Outline of proposed transdisciplinary STEAM approach and its implementation in two projects (Fractals and Graphs).

disciplines through art. A summary of the educational projects can be viewed at the following links:

- (1) Fractals Project: <https://mediateca.educa.madrid.org/video/jysb7ilq6ru5o2p7>
- (2) Graphs Project: <https://mediateca.educa.madrid.org/video/ibm73smq1cpim63w/fs>

Instruments

Qualitative and quantitative instruments, designed in the planning stages of the study around the research questions, were used for the data collection. The qualitative instruments were: (1) participant observation, which was performed by the teachers, recorded on video during the sessions and noted in the class journals; (2) non-participant observation that was implemented by the programme coordinator and recorded in an observation journal; (3) four structured individual interviews conducted with the non-participating observer, one of the external professionals and two parents of the students; (4) eight semi-structured group interviews with the participating students, recorded on video.

The questionnaire acted as the quantitative instrument. A Likert scale questionnaire (1 minimum — 5 maximum) was designed to collect the students' assessments. It was divided into two categories of five items each. The first category measured the assessment of the project in terms of degree of curriculum integration, the second according to the degree of the students' motivation. This questionnaire was validated by the expert judgement of five highly qualified persons in the field of quantitative research at the educational level. Following Escobar Pérez and Cuervo Martínez (2008), these experts evaluated each item for clarity, relevance and coherence. After the review, several items were reformulated. In addition, Cronbach's alpha was used to measure the questionnaire's reliability, resulting in a value of .70 and .87 respectively in the categories of curriculum integration and motivation in the Fractals project and .62 and .86 in the Graphs project. Values from .7 are usually considered adequate, although for fewer than 10 items, alpha values from .6 would be valid (Loewenthal & Lewis, 2018).

Procedure

The Activity Theory (Engeström, 1999) enables the analysis and design of educational practice from a sociocultural perspective, facilitating various ways of explaining learning and its representation, through activity systems (Figure 2). In this way, activity systems establish the components and the framework of relationships that take place in human activity: in our case, the subject would be the students who were immersed in a didactic project (Fractals and Graphs), which was defined as the object. The relationship between subject and object would be mediated by a series of instruments or tools, in this case centred around transdisciplinary curriculum integration, along with a series of rules derived from the involvement, active participation, and motivation of the participants (teachers, external professionals, families, programme coordinator and

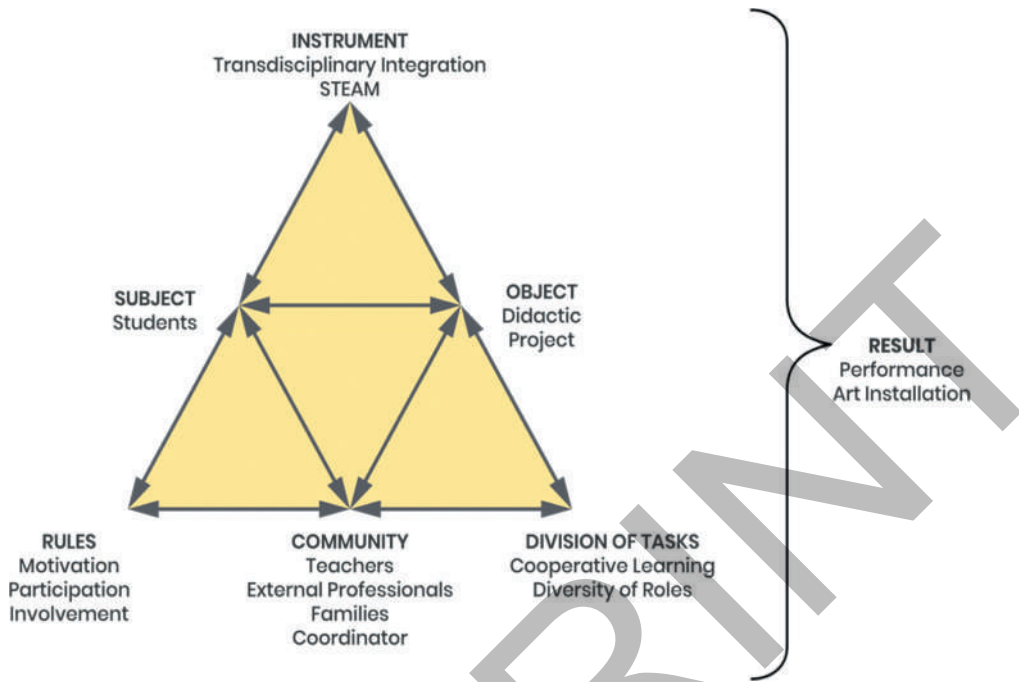


Figure 2. Activity theory adapted from Engeström (1999).

audiovisual editing professionals), as well as the division of labour, through the various roles assumed by the students and cooperative learning.

The quantitative analysis was carried out with R statistical software (R Core Team, 2018), through the following analyses:

- (1) Descriptive statistics to determine the percentage of responses.
- (2) Shapiro-Wilk test to confirm whether the answers followed a Gaussian distribution. The result was negative for all questions.
- (3) Mann-Whitney U test (valid for non-Gaussian distributions) to check for the existence of significant differences by age and gender.
- (4) Correlation analysis using Spearman's Rho (r), valid for non-Gaussian and non-symmetric distributions, as is the case here.

From the deductive framework of the Activity Theory, the quantitative data obtained from the statistical analysis of the questionnaires, the narrative analysis of discourse obtained from the interviews and the qualitative analysis of the teaching and learning processes in the didactic project sessions were triangulated and coded inductively using Atlas.ti software (Friese, 2013), through an iterative process of reading and rereading the data (Rice & Ezzy, 1999). The following categories were used for this purpose: meaningful learning, meaningful experience, cooperative learning, transdisciplinarity, integration from the perspective of learning and teaching, motivation and final product.

Ethical concerns

Written permission was requested from the coordinator of the educational programme, who also provided the necessary resources for the study. The students and their families gave their informed consent to participate in the study, as well as consent to be recorded, as did the external professionals participating in the study.

Results

Presented here are a series of findings, coded and triangulated around the research questions and supported at a conceptual, didactic and methodological level in the theoretical framework. These findings demonstrate the assessment and reflection stages of the study. In light of the project's characteristics, the results are presented together.

Transdisciplinary integration through didactic projects


Transdisciplinary integration represented the tool around which the rest of the elements were articulated, following the Activity Theory. The coding of the group interviews conducted with students highlights the significance of their learning in understanding the axis content developed through the diverse disciplines (Table 1).

We corroborated the relationship established by the students between the disciplines, which in turn allowed the deepening of the significance of the learning. This aspect was pointed out by one student, among others, who said that 'we have managed to find a similarity between all the subjects, it seemed that there were no similarities, but we have managed to see them' (Student 9, group interview 3). This aspect has also been highlighted by teachers, stating that they 'have written poems, transformed them into music, built knowledge graphs, which has more to do with sociology, but was then supported from graph theory or six degrees, which is mathematics' (Teacher 2, group interview). The programme coordinator also expressed that 'it has become quite clear that it was a graph from both a scientific and humanistic point of view and its connection with artistic fields has been made visible in the types of activities and explicitly connected in the final activity' (Programme Coordinator, interview).

The complexification of knowledge through transdisciplinary integration is evident, just as in the reflection from a student, for whom 'everything can be represented by a graph, but each graph in turn is different from the others, each graph is unique' (Student 8, group interview 7).

The holistic and unitary nature of knowledge was corroborated as a characteristic of a transdisciplinary approach in the educational field, thus blurring the boundaries between the diverse areas. Along this line, a student referring to fractals indicated that 'they can be in many places: in nature; romanescos, the broccoli; certain trees; conch shells', something that has allowed him to get 'a broader idea and that are not only in one place, they can also be in literature, or music' (Student 7, group interview 2). All of this through a balanced perspective between the diverse disciplines is emphasized by a parent who stated that 'applying knowledge acquired from certain areas into others and the continuity of applications, under the same umbrella, makes students see the importance of learning in all the areas of knowledge' (Parent 1, interview). In addition,

Table 1. Learning by area.

| Learning | Evidence |
|---|--|
| <p>Arts and Humanities</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) Creation of fractals using different techniques: origami, collage, and painting with bubbles (2) Musical composition from the fractalization of all parameters (3) Preparation and musicalization of haikus (4) Artistic performance of a fractal ensemble (5) Literary creation, structure of a work (6) Embroidery (7) Creation of an art installation (8) Fractal art in nature |  |
| <p>Engineering</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) Applications of fractals in encryption, data compression (2) Design of idea maps (3) Organization of information with graphs (4) Network design |  <p data-bbox="592 1041 1138 1097"><i>'We had to make a graph of social networks, such as the relationships we have between all' (Student 3, group interview 5)</i></p> |
| <p>Technology</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) Use of web applications to create fractal art (2) Basic level programming (3) Structure of social networks from graph theory through web applications | <p data-bbox="572 1125 1138 1153"><i>'The creation of fractals with tablets' (Student 4, group interview 3)</i></p>  <p data-bbox="592 1388 875 1435"> https://github.com/anvaka/pplay https://ncase.me/crowds/ </p> |

(Continúa)

Table 1. (Continuación).

| Learning | Evidence |
|---|--|
| Sciences | |
| <ol style="list-style-type: none">(1) Fractals and Fibonacci sequence in nature(2) Concept and chaos theory Chaos in biological systems(4) Graphs and Voronoi diagrams in nature(5) Formation of molecular models(6) Carbon Cycle |  |
| Mathematics | |
| <ol style="list-style-type: none">(1) Origin and fractal concept(2) Fractal Geometry. Examples(3) Algebraic fractals(4) Origin and concept of graph(5) Historical relevance of Leonard Euler(6) Plane Geometry: mediatrix, distances, Voronoi diagrams(7) The four colour theorem.(8) Solving of logic games(9) Hamiltonian paths |  |
| | <p><i>'Something that is repeated infinite times and each one of its parts represents the whole' (Student 6, group interview 3)</i> www.experiencingmaths.org</p> |

the students' reflections that were collected in the group interviews allowed us to corroborate both the procedural and declaratory nature of the knowledge attained, together with the development of their metacognitive skills.

Transdisciplinary integration developed in turn through the teaching processes, since there was collaboration between educational professionals from several levels (primary, secondary and university) and areas of knowledge (science, technology, humanities and the arts). General pedagogical principles, reflected in the project's planning, were agreed upon for this purpose. Accordingly, matters related to teaching were planned out and agreed upon in meetings. This element was emphasized by the teachers who expressed

that ‘work has been performed in a very similar way, but from completely different things’ (Teacher 2, group interview 1)

Thus, implicit and explicit negotiation processes are emphasized in the planning and development of the project by teachers. As one teacher pointed out, ‘each of us needs to shift certain preconceived ideas a little bit and fit ourselves into a project, and in the end, the connection between areas is complex’ (Teacher 3, group interview 1). In this sense, methodological adaptation processes occur that enrich and make the process more complex, since ‘you are obligated to cross borders, until the language is connected. Fractals, a word that almost no one had dealt with, we have to correctly interpret what it means together’ (Professor 1, group interview 1). The programme coordinator underlined the importance of the coordination among the teachers in her interview where she stated, ‘it even requires research on specific aspects that are not quite mastered’ (Programme Coordinator, interview). This aspect was corroborated by a parent, noting that ‘the teachers make a big effort to coordinate the different activities and to be able to transmit knowledge avoiding the traditional academic environment’ (Parent 2, interview).

Everything presented thus far is corroborated in the students’ responses to the questionnaire (Table 2). They appear to have achieved a better understanding of the topic (A1) by connecting the diverse areas (A4). In addition, they felt like experts and creators in each one of them (A2 and A3).

In sum, contributions were made manifest both in the teaching and the learning processes between the scientific-technological areas and the humanistic-artistic areas that mutually enriched one another. Learning was characterized by the balance between disciplines and significance, together with a holistic and unitary approach that enabled the complexification of knowledge.

Significance for students of the transdisciplinary STEAM methodology

Cooperative learning

Cooperative learning corresponds to the division of tasks according to the Activity Theory and is one of the aspects that was promoted throughout the project (Table 3).

In this sense, the students’ satisfaction was verified in the joint sessions carried out with all the groups simultaneously, since, as one student pointed out, ‘in the joint

Table 2. Percentages for students’ assessment of the degree of integration achieved.

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|-----|-----|------|------|------|
| A1: Working with fractals/graphs from different subject areas has helped me to understand the subject better and in greater depth. | Fractals | 0 | 3.8 | 1.9 | 18.9 | 75.5 |
| | Graphs | 1.7 | 0 | 6.9 | 24.1 | 67.2 |
| A2: I acted as a scientist, writer, musician or artist during the activities. | Fractals | 0 | 1.9 | 11.3 | 39.6 | 47.2 |
| | Graphs | 1.7 | 5.2 | 12.1 | 43.1 | 37.9 |
| A3: We have created new things from all the areas. | Fractals | 0 | 1.9 | 3.8 | 26.4 | 67.9 |
| | Graphs | 1.7 | 1.7 | 12.1 | 39.7 | 44.8 |
| A4: I have related what we have seen from all the areas to fractals/graphs. | Fractals | 0 | 3.8 | 3.8 | 26.4 | 66.0 |
| | Graphs | 0 | 1.7 | 10.3 | 24.1 | 63.8 |
| A5: In the final representation we have integrated all the activities carried out. | Fractals | 3.8 | 1.9 | 5.7 | 18.9 | 69.8 |
| | Graphs | 1.7 | 1.7 | 10.3 | 29.3 | 56.9 |

Table 3. Percentage for responses to the question: Do you like working in a team?

| | No | Yes, but I prefer alone | Yes, almost as much as individually | Yes, more than individually |
|------------------|-----|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Fractals Project | 1.7 | 12.1 | 34.5 | 51.7 |
| Graphs Project | 3.8 | 9.4 | 28.3 | 58.5 |

sessions you meet more people and, what's more, we can all understand each other better' (Student 10, group interview 6).

The integration of social skills in the learning processes related to cooperative learning was a theme that the teachers also stressed. As one teacher pointed out, 'also integrating social skills, which as you said, into this topic of graphs created an inter-connection between them, between groups, between different social circles, different personalities, different rhythms' (Teacher 5, group interview 8).

Students' motivation and satisfaction

The projects (Table 4) were very motivating for the students (M1), the transdisciplinary way of working was very stimulating (M2), and, in addition, they feel that it allowed them to enhance their numerous abilities (M3). Their expectations have been widely met (M4) and they state that they would like to continue working in this way (M5).

The students' families also perceived the motivation that their children felt with respect to the project. In this respect, a father indicated his surprise at 'the children's predisposition to work with so much enthusiasm/excitement on the Saturday mornings' (Father 1, interview). A relationship could similarly be established between the perspective expressed by the students and the degree of involvement and motivation of the teachers, in a process of mutual feedback.

Meaningful experiences

Spearman's Rho showed significant positive correlations between motivation generated by the projects (M1) and stimulation from said projects (M2; $r = .56, p < .001$) and with expectations having been met (M4; $r = .52, p < .001$). In addition, how stimulating a project was to a student (M2) was closely related to the development of their skills (M4; $r = .46, p < .001$), both being determining factors when it comes to wanting to

Table 4. Percentages for student responses to motivational variables.

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|-----|-----|------|------|------|
| M1: Has the project motivated you? | Fractals | 1.9 | 0 | 7.5 | 39.7 | 50.9 |
| | Graphs | 0 | 0 | 15.5 | 39.7 | 44.8 |
| M2: Has it been stimulating to work in this way? | Fractals | 1.9 | 1.9 | 7.5 | 34.0 | 54.7 |
| | Graphs | 0 | 3.4 | 13.8 | 36.2 | 46.6 |
| M3: Has it allowed you to develop your abilities to work in this way? | Fractals | 1.9 | 0 | 7.5 | 39.6 | 50.9 |
| | Graphs | 0 | 1.7 | 13.8 | 29.3 | 55.2 |
| M4: Have the expectations you had when starting the project been met? | Fractals | 3.8 | 1.9 | 11.3 | 35.8 | 47.2 |
| | Graphs | 1.7 | 5.2 | 10.3 | 34.5 | 48.3 |
| M5: Would you like to continue working in this way in future school years? | Fractals | 3.8 | 7.5 | 5.7 | 20.8 | 62.3 |
| | Graphs | 1.7 | 5.2 | 13.8 | 20.7 | 58.6 |

study more with this methodology (M5; $r = .53$ and $.54$ respectively, in both cases $p < .001$).

Understanding (A1) was also strongly influenced by motivation (M1; $r = .52$, $p < .001$) and how stimulating the project was (M2; $r = .60$, $p < .001$). On the other hand, achieving better understanding (A1) correlated especially with having created from the different areas (A3; $r = .51$, $p < .001$).

In this regard, the relationship between the significance of the students' learning and their high degree of motivation and satisfaction during the projects highlights the significant nature of the experiences lived by students in the classroom, in which all aspects that make up the learning processes could be encompassed.

The role of the arts in transdisciplinary STEAM projects

A performance and art installation were created to present the integration between the diverse disciplines. This was proposed, as one teacher pointed out, 'to guide it to a final product, an overview. The idea of integrating everything visually helped them to see it, to make all the ideas clear and place them on a board so that the students could say yes, it's true, I understand' (Teacher 3, group interview 1). As one student pointed out with regard to the performance, 'when putting it all together, the stories were repeating themselves. The music later helped to accompany the story, and the drawings helped with the music, and to represent fractals and chaos' (Student 11, group interview 3)

In this regard, the students clearly expressed on the questionnaire the high degree of integration of the activities realized in the final representation (Table 2, A5), supported through the art, and where the disciplinary perspective was blurred, fostering the increasing complexity of the acquired knowledge. This is also clear from the perspective provided by the teachers, in that 'the project made more sense; without the performance it would also have been very interesting, but the performance was a catharsis for them and for us, all our work had a common thread' (Teacher 3, group interview).

The video analysis (Figures 3 and 4) reflects the performance's conception and installation as the development of a process in itself, through the symbolic space in which the students assume a series of roles (musician, narrator, artist, graphic designer, computer engineer and mathematician). Curriculum integration as a supportive principle could be applied to the variety of roles assumed by students in the various subjects (see A2 and A3 in Table 2) by using a procedural approach to knowledge.

Thus, the role of art in the disciplinary integration and connection processes has become evident, as a supportive and connecting element, beyond its specific disciplinary character:

In addition, in these joint sessions, this is where they have best integrated that knowledge that they have seen from each area, because they reflected what they had learned in the mathematics or biology sessions in those artistic creations, and it was seen in the embroidery that they have done (Teacher 1, group interview 2)

In addition, the embroidery task was established as a gender equality activity, which was an artistic element that supported the art installation in the graphs project, given that, as the collaborating artist pointed out, 'they are practices that are not considered to be



Figure 3. Video screenshots of performance of the Fractals project.



Figure 4. Video screenshots of graphs project art installation.

artistic practices because they are very feminized, and I do like to bring it into schools, a very creative way to start projects' (Collaborating artist, interview).

Conceptual approach to the transdisciplinary STEAM perspective

The triangulation of the analyses performed allowed us to establish a series of characteristics that define the transdisciplinary STEAM perspective developed in this study for the field of primary education:

- (1) The transdisciplinary integration of STEAM from the perspective of learning and teaching.

- (2) Using the concept of a *big idea* and art as an integrative tool, the boundaries between the areas were blurred to obtain a holistic perspective of knowledge.
- (3) The importance of the involvement and active participation of students focused on cooperative learning.
- (4) Connection of learning to the real world through its experiential character, developed in diverse spaces and with integrated field trips during the project, through which students assumed a variety of roles.
- (5) The collaboration of teachers and the participating students, together with experts in several fields (art, biology and audiovisual recording), thereby integrating a community of practice.
- (6) Gender equality was fostered as a cross-cutting and implicit issue. The absence of significant differences according to gender or age in any of the questions from the questionnaire was statistically corroborated.

In this respect and as reflected by the Atlas.ti analysis, a connection was shown between a number of factors in the development of the didactic projects and included in the final result: transdisciplinary integration, the students' motivation and involvement, cooperative learning, significance and integration of learning and the experience itself, developed in a variety of spaces and with the involvement of various professionals. This is summarized in Figure 5.

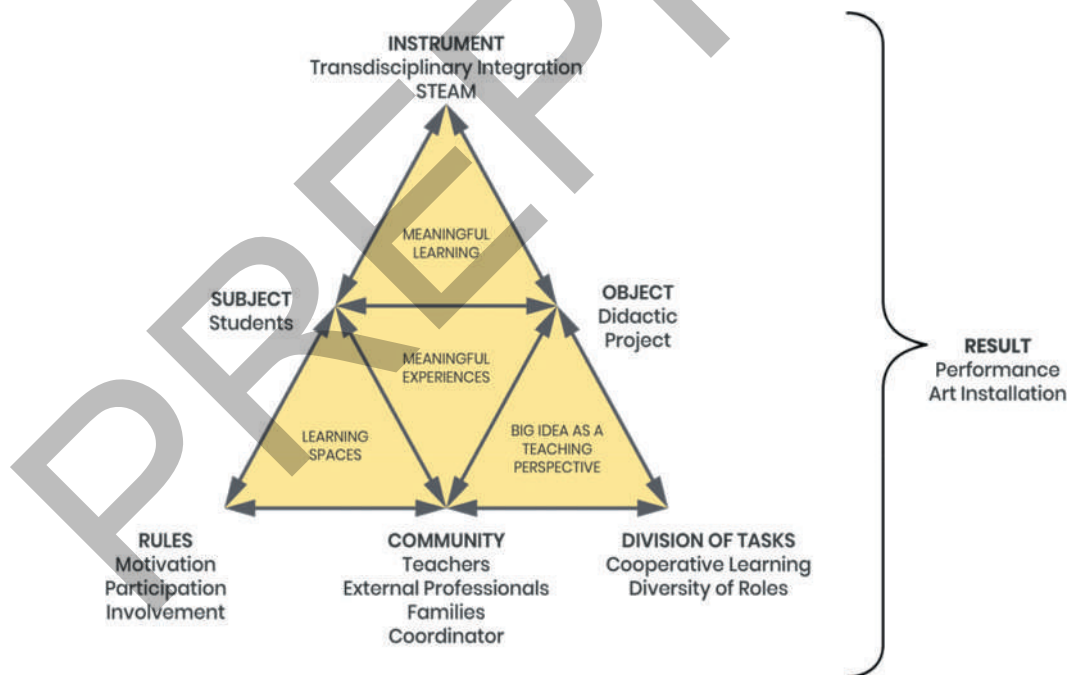


Figure 5. The didactic project from the perspective of the activity theory.

Discussion

This project emerged as a tool for triggering an educational transformation process, from the perspective of learning as well as teaching, focused on transdisciplinary integration within the STEAM framework by using the concept of a *big idea*.

From the perspective developed in the project (Burnard & Colucci-Gray, 2020), and in line with Herro and Quigley (2016), it seems appropriate to us to include the humanities in the STEAM movement, just as it has been developed in the study, through an integrative, holistic and complex conception of knowledge. With regard to the integration between the scientific-technological and artistic-humanistic areas, and as suggested by Perignat and Katz-Buonincontro (2019), we find it appropriate to emphasize the disciplinary and balanced value of all of them, promoting their transdisciplinary integration.

In the context of the gradual and generalized decline of the presence of music and art in educational curricula (Aróstegui, 2020), an attempt to shed light on the role of the arts in the STEAM movement was intended. The following art-specific roles are highlighted in the project: (1) disciplinary value as suggested by Clapp and Jimenez (2016) but balanced across all the areas in line with Perignat and Katz-Buonincontro (2019) and not just as a mere benefit for STEM learning; (2) as a tool for curriculum integration, through which the increasing complexity is observed in the approach to the thematic axis addressed and its abstraction, blurring the boundaries between the various subject areas (Marshall, 2014); (3) to promote gender equality (Colucci-Gray et al., 2019); (4) to encourage the students' motivation in accordance with other authors (Henrkisen et al., 2015); (5) to promote creativity from the point of view of both teaching and learning (Harris & de Bruin, 2018).

In keeping with Chalmers et al. (2017), we find that applying *big ideas* to the STEAM movement is appropriate since they allow us to approach knowledge from a multiple, complex and in-depth perspective, which together with the transdisciplinary perspective allows an actual integration of the scientific-technological and artistic-humanistic areas. In this sense, the following benefits could be established for students in the projects:

- (1) Satisfaction with cooperative learning.
- (2) Interest in the disciplines studied.
- (3) Knowledge integration.
- (4) Protagonists of their own learning from various roles.
- (5) Balance of the various areas.
- (6) High level of motivation.
- (7) Enhancement of various skills.
- (8) Positive attitudes towards learning.

We propose, just as Costantino (2018) suggests, a transdisciplinary development of the STEAM movement, addressing the complexity posed by Quigley and Herro (2016), by using a model focused on integration from a multidimensional perspective.

Conclusions and implications for teaching practice

In the face of the educational institution's systemic crisis, framed within an increasingly complex social reality, this study has deepened the analysis of transdisciplinary integration from a STEAM perspective by analysing the role of the arts through a specific proposal as a fundamental contribution. We have corroborated how transdisciplinary integration has occurred in a multidimensional way, through the teaching and learning processes, by choosing a concrete and cross-cutting *big idea*, addressed from all areas and connected to the real world. Contents were articulated through the different subject areas in the first stage but then blurred in the second stage with art. All this has occurred from a metadisciplinary perspective, substantiated in an artistic product that has holistically brought together the addressed contents. The dual perspective of art, both disciplinary and favouring the integration of the various areas, was corroborated.

The learning processes have occurred across the various areas, in a variety of physical and temporal contexts, along with the collaboration of experts on the topics addressed and the field trips that took place. In this way, the study shows a high level of significance in the students' learning, related to the creation of significant experiences and associated with the variety of roles that they assume, centred

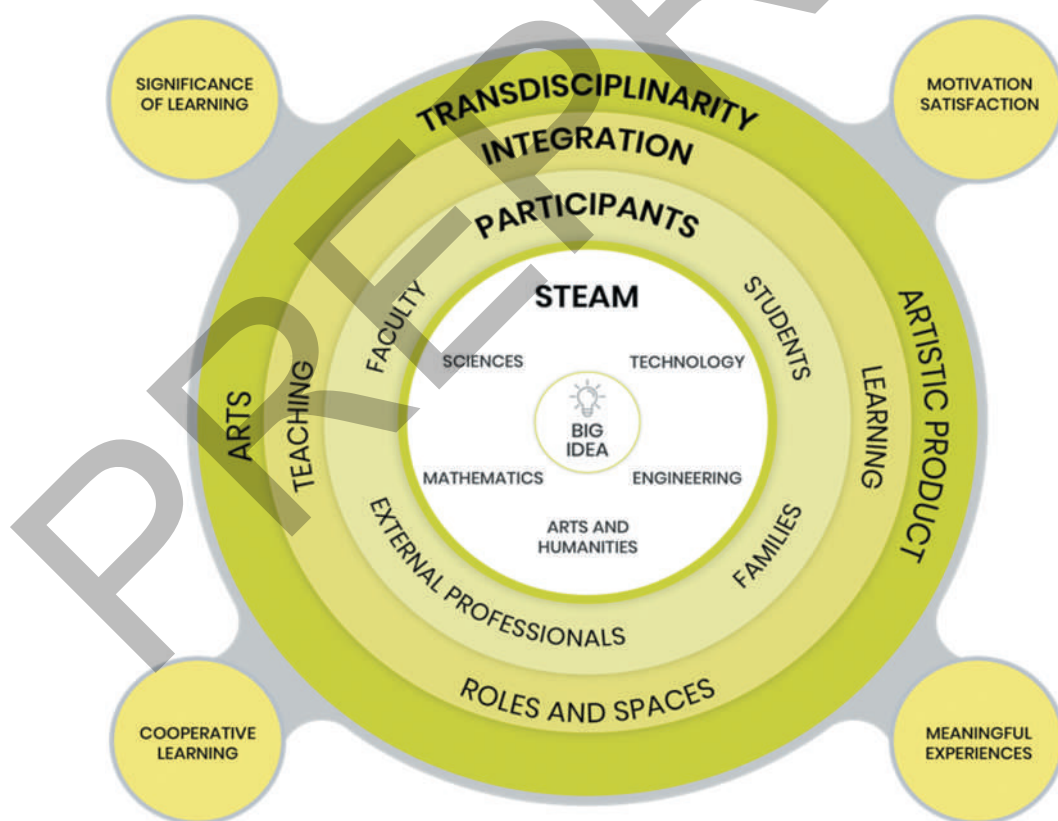


Figure 6. Transdisciplinary STEAM approach.

around the principles of activity and cooperative learning. All of this is closely linked to a high level of motivation and satisfaction. In sum, the teaching and learning processes were determined by the following interconnected factors (Figure 6): (a) the significance of learning through the processes developed; (b) cooperative learning that established the participation of all the actors involved; (c) the motivation and satisfaction developed by the students, teachers and participating experts; (d) the students' formation of significant experiences from their life lessons in the classroom.

The relevance of teacher collaboration and involvement has been corroborated from the teaching perspective, through explicit and implicit negotiation processes, as well as the flexibility in the study design and the support of the school to facilitate the adjustment throughout the entire process. A transdisciplinary integration proposal is established as one of the possible approaches for the development of STEAM projects. The didactic proposal presented here, and the results derived from it, cannot be directly generalized for other educational contexts. Therefore, as possible future research, its application and analysis in other primary and secondary education contexts is proposed. Another aspect worth a closer look in future research projects is to specifically analyse creativity within the framework of the proposal.

La integración transdisciplinar y su aplicación en Educación Primaria a través de dos proyectos STEAM

El movimiento STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) suscita un interés creciente en la literatura científica y en la práctica educativa desde hace más de una década (Khine & Areepattamannil, 2019). Sin embargo, junto con el amplio abanico de posibilidades que representa para el ámbito educativo (Burnard & Colucci-Gray, 2020), se ha subrayado una cierta vaguedad en su concreción didáctica, así como la inconsistencia de una parte de la investigación desarrollada. Todo ello se refleja en una cierta carencia en el análisis de los frutos del aprendizaje en STEAM (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019).

La integración entre las áreas científico-tecnológicas y artísticas en STEAM

El rol de las artes y su integración con las áreas científicas y tecnológicas representa uno de los aspectos que genera discusión en la literatura científica. El rol de las artes en el movimiento STEAM se ha descrito desde diversas perspectivas, entre las que cabría señalar:

- (1) Valor disciplinar, mediante la integración equilibrada de las disciplinas (e.g., Clapp & Jimenez, 2016).
- (2) Aportación a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las áreas STEM, promoviendo pedagogías creativas que permitan humanizar las áreas científico-tecnológicas (Ge et al., 2015).
- (3) Incremento de la motivación del alumnado y mejora de la efectividad de los procesos de enseñanza-aprendizaje en las áreas STEM (Henrkisen et al., 2015).
- (4) Desarrollo de la creatividad, la innovación e invención (Harris & de Bruin, 2018).
- (5) Instrumento para paliar la brecha de género que existe en carreras científico-tecnológicas (Colucci-Gray et al., 2019).

Además, y con el objetivo de promover un conocimiento completo e integrador, se ha promovido hacer una lectura extensiva del acrónimo STEAM (Colucci-Gray et al., 2019), que incluya, por ejemplo, las humanidades (Herro & Quigley, 2016). En este contexto, Perignat y Katz-Buonincontro (2019) sugieren profundizar en la investigación del movimiento STEAM, que permita, entre otras, una mejor comprensión de la integración de las áreas científico-tecnológicas y las artísticas.

Integración curricular y la aproximación STEAM transdisciplinar

La excesiva compartimentalización del conocimiento en asignaturas, muchas veces inconexas entre sí, ha sido subrayada de forma recurrente. En este sentido, el currículum integrado ha recibido una atención creciente en la literatura durante las últimas tres décadas (Bautista et al., 2016), y podría ser concebido como una categoría paraguas que permite integrar un amplio abanico de prácticas educativas, justificadas desde diversas perspectivas ontológicas, epistemológicas, sociológicas o psicológicas (Torres Santomé, 1994). Así, el currículum integrado:

- (1) Establece el eje de los contenidos en ideas más que en disciplinas a partir del concepto de *grandes ideas* (Chalmers et al., 2017) o *centros temáticos* (Etim, 2005). Esta perspectiva permite abordar contenidos centrados en conceptos, estrategias, modelos, o procesos, y se ha demostrado eficaz para conseguir un conocimiento flexible y generalizable, o mejorar la resolución de problemas (Niemi et al., 2006).
- (2) Sitúa al alumnado como centro de los procesos de enseñanza y aprendizaje, atendiendo sus intereses, motivación o autoconocimiento (Bautista et al., 2016).
- (3) Promueve la motivación e implicación del profesorado.

Uno de los marcos conceptuales que permite abordar la integración curricular en el aula es la transdisciplinariedad (Hirsch Hadorn et al., 2007), cuya aplicación se podría caracterizar por una serie de aspectos fundamentales:

- (1) Integración de contenidos en torno a diversas áreas. Se plantea difuminar las fronteras entre las áreas en una integración real de los procesos de enseñanza y aprendizaje desde una perspectiva metadisciplinaria y multidimensional (Marshall, 2014).
- (2) Holismo y unidad del conocimiento como principio epistemológico (Nicolescu, 2012).
- (3) Conectar el aprendizaje con el mundo real, abordando problemas reales y socialmente relevantes (Burger & Kamber, 2003).
- (4) Diversos participantes implicados de distintas áreas y sectores, junto con el alumnado y profesorado (Klein et al., 2001).
- (5) El rol del alumnado es activo, asumiendo una variedad de papeles (Park & Son, 2010).

Costantino (2018) aboga por adoptar una perspectiva transdisciplinar en el movimiento STEAM, que emerge desde la concepción de la colaboración como eje central del movimiento STEAM, y que favorezca la integración real entre áreas científico-tecnológicas y artísticas (Chapell et al., 2019). Esto permitiría aprovechar el conocimiento de cada disciplina para abordar la resolución de problemas complejos a través del pensamiento creativo, fomentando espacios para desarrollar la imaginación e innovación desde la concepción de *grandes ideas*.

Tras corroborar una cierta desconexión de los contenidos curriculares en nuestra experiencia docente, así como la importancia de profundizar sobre la integración

transdisciplinar en el movimiento STEAM, se presenta el informe de un estudio de Investigación-Acción Colaborativa desarrollado con alumnado de 5º y 6º de Educación Primaria en un programa educativo para alumnado con altas capacidades de la Comunidad de Madrid. Se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- (1) ¿Qué aspectos caracterizan el aprendizaje del alumnado a través de los proyectos STEAM centrados en la integración transdisciplinar?
- (2) ¿Cuáles son los beneficios para el alumnado en los proyectos STEAM transdisciplinares implementados en el estudio de investigación?
- (3) ¿Cuál es el rol de las artes en los proyectos STEAM desarrollados?
- (4) ¿Qué elementos caracterizan un proyecto STEAM transdisciplinar desde la perspectiva desarrollada en el estudio de investigación?

Método

Se ha implementado un estudio de Investigación-Acción Colaborativa (Cochran-Smith & Litle, 2009), en dos ciclos a lo largo de dos cursos completos (2017/18 y 2018/19). En el estudio se han desarrollado dos proyectos STEAM transdisciplinares a través de las *grandes ideas* de Fractales y Grafos. Desde el principio epistemológico de profesores que investigan en el contexto de su propia actividad docente, concebida de forma ética, participativa, y de carácter transformador (Kemmis, 2010), alumnado, profesores e investigadores y profesionales expertos se han involucrado en un espacio social compartido como una comunidad de práctica (Wenger, 2002). Por tanto, se ha desarrollado un proceso en espiral de síntesis entre teoría y práctica (Elliott, 2009), orientada a la construcción de aprendizajes y conocimiento convencidos de la importancia de la comprensión de la realidad educativa desde dentro.

Contexto y participantes

El estudio se ha desarrollado en un programa público para alumnado con altas capacidades que se desarrolla de forma extracurricular, voluntaria y gratuita durante 16 sesiones cada curso entre octubre y mayo, dos sábados al mes en dos sesiones de 90 minutos cada una. El programa se organiza en diversas áreas de conocimiento: humanístico-literario, científico-tecnológico, artístico y habilidades sociales. El estudio se ha desarrollado en uno de los seis centros educativos públicos en los que se desarrolla el programa. El alumnado se incorpora al programa tras la valoración psicopedagógica del servicio de orientación de sus centros educativos. Han participado ocho grupos de 5º y 6º de Educación Primaria (11 y 12 años) y un total de 111 alumnos/as (39 alumnos y 14 alumnas en el proyecto fractales y 35 alumnos y 23 alumnas en el proyecto grafos).

El estudio ha sido implementado por un grupo de cinco profesores del programa educativo: uno de Educación Primaria, cuatro de Enseñanza Secundaria y Universidad de las áreas de Historia, Biología y Geología, Didáctica de la expresión Musical y Didáctica de las Ciencias. Además, se ha contado con la colaboración de dos profesionales externos, expertos en los temas abordados, y dos profesionales de la producción audiovisual, que han editado un resumen de cada proyecto. Todo ello

realizado junto con la colaboración de la coordinadora del programa educativo y las familias del alumnado.

El Proyecto STEAM Transdisciplinar a través de una Gran Idea: Fractales y Grafos

El punto de partida de la propuesta didáctica, en las fases de planificación del estudio, consiste en una *gran idea*, consensuada por el equipo docente, a partir de la cual conectar cada disciplina (Figura 1). Las *grandes ideas* elegidas fueron los conceptos de Fractales y de Grafos, ya que (1) son fácilmente relacionables con diversas disciplinas; (2) con un elevado nivel de concreción conceptual; y (3) se trata de conceptos novedosos para el alumnado. Además, la igualdad de género se ha establecido como un eje transversal. Se ha pretendido abordar la escasez de vocaciones de mujeres en carreras científicas a través de la realización de tareas habitualmente estereotipadas por género, mostrar modelos educativos igualitarios por parte de los/as docentes, o visibilizar mujeres profesionales expertas en diversas áreas.

En las fases de acción del estudio, los proyectos comenzaron con una sesión de presentación y contextualización (90 min.), tras la cual se realizó la rotación por las diversas actividades disciplinares en las siguientes sesiones (4 x 90 min.). Se contó con la colaboración de dos profesionales expertos que realizaron conferencias y talleres con el alumnado (180 min.) y se hicieron dos salidas relacionadas con el tema al Museo Nacional de Ciencias Naturales y al Aula Taller del Museo de las Matemáticas de la

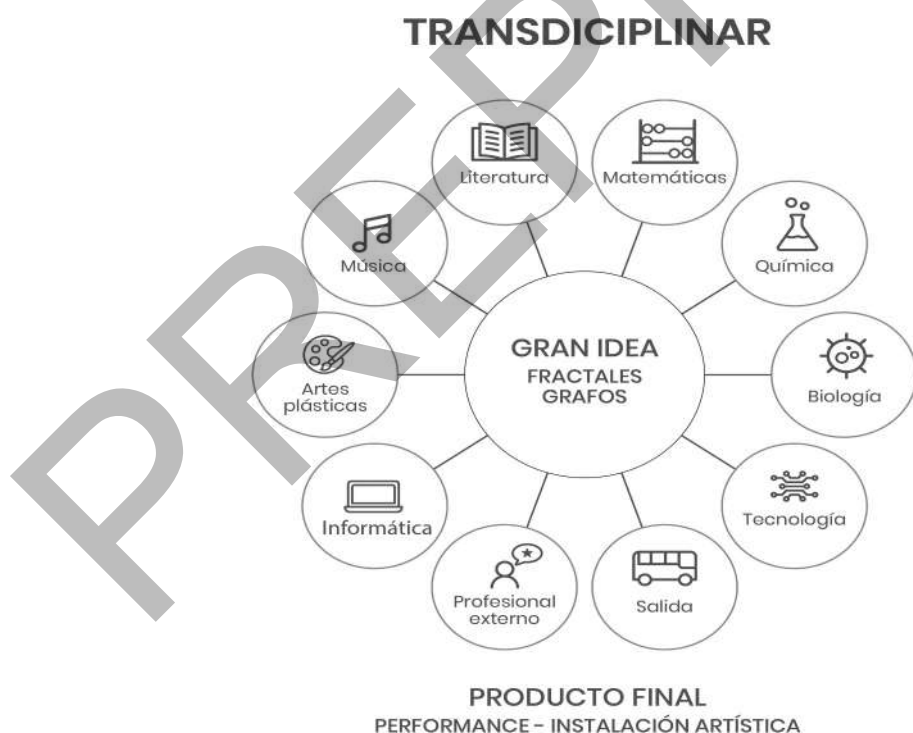


Figura 1. Esquema de propuesta STEAM Transdisciplinar propuesto y su aplicación a dos proyectos (fractales y grafos).

Universidad Politécnica de Madrid (180 min.). Se finalizó con la creación de un producto final cuyo objetivo fue difuminar e integrar las barreras de las disciplinas a través del arte. Se puede visualizar un resumen de los proyectos didácticos en los siguientes enlaces:

- (1) Proyecto Fractales: <https://mediateca.educa.madrid.org/video/jysb7ilq6ru5o2p7>
- (2) Proyecto Grafos: <https://mediateca.educa.madrid.org/video/ibm73smq1cpim63w/fs>

Instrumentos

Para la recogida de datos se han utilizado instrumentos cualitativos y cuantitativos, diseñados en las fases de planificación del estudio entorno a las preguntas de investigación. Los instrumentos cualitativos han sido: (1) observación participante, realizada por los docentes, registrada en video a través de la grabación de las sesiones, y anotada en los diarios de clase. (2) Observación no participante, implementada por la coordinadora del programa y registrada en un diario de observación. (3) Cuatro entrevistas individuales estructuradas realizadas a la observadora no participante, a uno de los profesionales externos y a dos padres del alumnado. (4) Ocho entrevistas grupales semiestructuradas con el alumnado participante, registradas en vídeo.

El instrumento cuantitativo ha sido la encuesta. Para recoger la valoración del alumnado se ha diseñado un cuestionario en escala Likert (1 mínimo — 5 máximo) dividido en dos categorías de cinco ítems cada una. La primera mide la valoración del proyecto en cuanto a su grado de integración curricular, la segunda según el grado de motivación del alumnado. Este cuestionario ha sido validado por un juicio de cinco expertos en el campo de la investigación cuantitativa a nivel educativo. Siguiendo a Escobar Pérez y Cuervo Martínez (2008), los expertos valoraron cada ítem según los criterios de claridad, relevancia y coherencia. Tras la revisión, algunos ítems fueron reformulados. Además, con el objetivo de medir la fiabilidad del cuestionario, se ha realizado la prueba Alpha de Cronbach, con un valor de .70 y .87 respectivamente en las categorías de integración curricular y motivación en el proyecto Fractales y .62 y .86 en el proyecto Grafos. Habitualmente se considera que valores a partir de .7 son adecuados, aunque para menos de 10 ítems, valores de Alpha a partir de .6 serían válidos (Loewenthal & Lewis, 2018).

Procedimiento

La Teoría de la Actividad (Engeström, 1999) permite el análisis y diseño de la práctica educativa desde una perspectiva sociocultural, facilitando diversas formas de explicar el aprendizaje y su representación, a través de sistemas de actividad (Figura 2). De este modo, los sistemas de actividad establecen los componentes y el marco de relaciones que tienen lugar en la actividad humana: en nuestro caso, el sujeto sería el alumnado que se encuentra inmerso en un proyecto didáctico (Fractales y Grafos), definido como el objeto. La relación entre el sujeto y el objeto estaría mediada por una serie de instrumentos o herramientas, en este caso centradas en la integración curricular

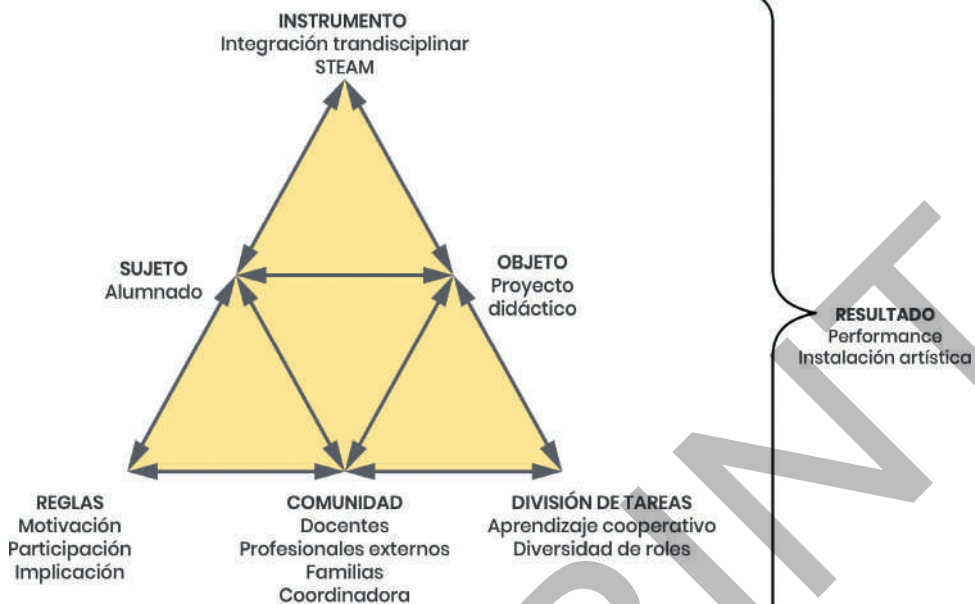


Figura 2. Teoría de la actividad. Adaptada de Engeström (1999).

transdisciplinar, junto con una serie de reglas derivadas de la implicación, participación activa y motivación de los participantes (docentes, profesionales externos, familias, coordinadora del programa y profesionales edición audiovisual), así como la división de trabajo, a través de los diversos roles asumidos por el alumnado y el aprendizaje cooperativo.

El análisis cuantitativo se ha realizado con el software estadístico R (R Core Team, 2018), a través de los siguientes análisis:

- (1) Estadísticos descriptivos para determinar el porcentaje de respuestas.
- (2) Test de Shapiro-Wilk para comprobar si las respuestas siguen una distribución Gaussiana. El resultado ha sido negativo para todas las preguntas.
- (3) Test de la U de Mann-Whitney (válido para distribuciones no gaussianas) para comprobar la existencia de diferencias significativas por edad y género.
- (4) Análisis de correlaciones mediante la rho de Spearman (r), válido para distribuciones no gaussianas y no simétricas, como es el caso.

A partir del marco deductivo de la Teoría de la Actividad, los datos cuantitativos obtenidos del análisis estadístico de los cuestionarios, el análisis narrativo de los discursos obtenidos de las entrevistas y el análisis cualitativo de los procesos de enseñanza y aprendizaje en las sesiones de los proyectos didácticos han sido triangulados y codificados de forma inductiva mediante el software Atlas.ti (Frieze, 2013), a través de un proceso iterativo de lectura y relectura de los datos (Rice & Ezzy, 1999), mediante las siguientes categorías: aprendizaje significativo, experiencia significativa,

aprendizaje cooperativo, transdisciplinariedad, integración desde la perspectiva del aprendizaje y la enseñanza, motivación y producto final.

Cuestiones éticas

Se solicitó el permiso escrito a la coordinadora del programa educativo, que además ha facilitado los recursos necesarios para el estudio. El alumnado y sus familias fueron informadas, otorgando su consentimiento informado para participar en el estudio, así como su grabación, junto con los profesionales externos participantes en el estudio.

Resultados

Se presentan una serie de hallazgos, codificados y triangulados en torno a las preguntas de investigación, y sustentados a nivel conceptual, didáctico y metodológico en el marco teórico, que evidencian las fases de evaluación y reflexión del estudio. Considerando las características de los proyectos, se exponen los resultados de forma conjunta.

La integración transdisciplinar a través de los proyectos didácticos

La integración transdisciplinar ha representado la herramienta en torno a la cual se han articulado el resto de los elementos según la Teoría de la Actividad. La codificación de las entrevistas grupales realizadas con el alumnado pone de manifiesto la significatividad de su aprendizaje en la comprensión de los contenidos eje desarrollados a través de las diversas áreas (Tabla 1).

Hemos corroborado la relación establecida por el alumnado entre las disciplinas, que a su vez ha permitido la profundización en la significatividad del aprendizaje. Este aspecto ha sido señalado por un alumno, entre otros, al considerar que ‘hemos conseguido encontrar una semejanza entre todas las materias, parecía que no había semejanzas, pero las hemos conseguido ver’ (Alumno 9, entrevista grupal 3). Este aspecto también ha sido subrayado por los docentes, indicando que ‘han escrito poemas, los han transformado en música, han construido grafos de conocimiento, que tiene que ver más con la sociología, pero luego estaba apoyado desde la teoría de los grafos o de los seis grados, que es matemática’ (Profesor 2, entrevista grupal). También la coordinadora del programa expresaba que ‘ha quedado bastante claro lo que era un grafo desde el punto de vista tanto científico como humanístico y se ha visualizado su conexión con el artístico en el tipo de actividades y explícitamente unido en la actividad final’ (Coordinadora del programa, entrevista).

Se pone de manifiesto la complejización del conocimiento a través de la integración transdisciplinar, tal y como se desprende de la reflexión de un alumno, para quien ‘todo puede ser representado por un grafo, pero a su vez cada grafo es diferente a los demás, cada grafo es único’ (Alumno 8, entrevista grupal 7).

Se ha corroborado el carácter holístico y unitario del conocimiento, como característica de una aproximación transdisciplinar en el ámbito educativo, difuminando así las fronteras entre las diversas áreas. En esta línea, un alumno refiriéndose a los fractales, indicaba que ‘pueden estar en muchos sitios: en la naturaleza, el romanescu, el broccoli, algunos árboles, las caracolas de mar’, algo que les ha permitido

Tabla 1. Aprendizajes por área.

| Aprendizajes | Evidencias |
|--|--|
| <p>Artes y Humanidades</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Creación de fractales con distintas técnicas: papiroflexia, collage y pintura con burbujas (2) Composición musical desde la fractalización de todos los parámetros (3) Elaboración y musicalización de Haikus (4) Performance artística de conjunto fractal. (5) Creación literaria, estructura de una obra (6) Bordados (7) Creación de una instalación artística (8) Arte fractal en la naturaleza |  |
| <p>Ingeniería</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Aplicaciones de los fractales en la encriptación, compresión de datos (2) Diseño de mapas de ideas (3) Organización de la información con grafos (4) Diseño de redes |  |
| <p>Tecnología</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Uso de aplicaciones web para la creación de arte fractal (2) Programación a nivel básico (3) Estructura de las redes sociales a partir de la teoría de grafos mediante aplicaciones web | <p><i>'La creación de fractales con las tabletas' (Alumno 4, entrevista grupal 3)</i></p>  <p>https://github.com/anvaka/pplay https://ncase.me/crowds/</p> |

(Continúa)

Tabla 1. (Continuación).

| Aprendizajes | Evidencias |
|---|---|
| <p>Ciencias</p> <p>(1) Fractales y serie de Fibonacci en la naturaleza. (2) Concepto y teoría del caos. Caos en sistemas biológicos. (4) Grafos y diagramas de Voronoi en la naturaleza (5) Formación de modelos moleculares (6) Ciclo del Carbono</p> |  |
| <p>Matemáticas</p> <p>(1) Origen y concepto de fractal (2) Geometría Fractal. Ejemplos. (3) Fractales algebraicos (4) Origen y concepto de grafo (5) Relevancia histórica de Leonard Euler (6) Geometría en el plano: mediatriz, distancias, diagramas de Voronoi (7) Teorema de los 4 colores (8) Resolución de juegos de lógica (9) Caminos hamiltonianos</p> |  |

www.experiencingmaths.org

obtener 'una idea más amplia y que no solo están en un sitio, también pueden estar en la literatura, o la música' (Alumno 7, entrevista grupal 2). Todo ello a través de una perspectiva equilibrada entre las diversas disciplinas, subrayada por un padre, al expresar que 'aplicar conocimientos adquiridos de unas áreas en otras y la continuidad de aplicaciones, bajo un mismo paraguas, hace que los alumnos vean la importancia del aprendizaje en todas las áreas del conocimiento' (Padre 1, entrevista). Además, la

reflexión del alumnado a través de las entrevistas grupales nos ha permitido corroborar el carácter tanto procedimental como declarativo del conocimiento alcanzado, junto con el desarrollo de sus habilidades metacognitivas.

La integración transdisciplinar se ha desarrollado, a su vez, a través de los procesos de enseñanza, ya que se ha producido la colaboración entre profesionales educativos de diversas etapas (primaria, secundaria y universidad) y áreas de conocimiento (ciencia, tecnología, humanidades y artes). Para ello se han acordado principios pedagógicos generales reflejados en la programación del proyecto. En este sentido, en las reuniones se planificaron y acordaron aspectos sobre la enseñanza en el proyecto. Este elemento ha sido subrayado por los docentes al expresar que ‘se ha trabajado de una forma muy parecida desde cosas completamente distintas’ (Profesor 2, entrevista grupal 1).

Así, se ponen de manifiesto procesos de negociación implícita y explícita en la planificación y desarrollo del proyecto por parte de los docentes. Como ha señalado un profesor, ‘cada uno de nosotros tenemos que virar un poco determinadas ideas preconcebidas y encajarnos en un proyecto, y al final, la conexión entre áreas es compleja’ (Profesor 3, entrevista grupal 1). En ese sentido, se producen procesos de adaptación metodológica que enriquecen y hace más complejo el proceso, ya que ‘te ves obligado a pasar fronteras, hasta acoplar el lenguaje. Fractales, una palabra que casi nadie había manejado, tenemos que interpretar bien lo que significa todos juntos’ (Profesor 1, entrevista grupal 1). La coordinadora del programa ha subrayado la importancia de la coordinación entre los docentes en la entrevista realizada, ‘que obliga incluso a investigar sobre aspectos puntuales que no se dominan tanto’ (Coordinadora del programa, entrevista). Este aspecto es corroborado por un padre, señalando que ‘los profesores realizan un gran esfuerzo para coordinar las diferentes actividades y poder transmitir el conocimiento evitando el ambiente académico tradicional’ (Padre 2, entrevista).

Todo lo expuesto hasta aquí se corrobora en las respuestas del alumnado en el cuestionario (Tabla 2). Se puede ver que manifiestan haber logrado una mejor comprensión del tema (V1) conectando las diversas áreas (V4). Además, se han sentido expertos y creadores desde cada una de ellas (V2 y V3).

En suma, se ponen de manifiesto aportes tanto en los procesos de enseñanza como de aprendizaje entre las áreas científico-tecnológicas y las áreas humanístico-artísticas que se han enriquecido mutuamente. El aprendizaje se ha caracterizado por el equilibrio

Tabla 2. Valoración de los estudiantes del grado de integración logrado. Se muestran los porcentajes de cada respuesta para ambos proyectos.

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------|-----|-----|------|------|------|
| V1: Trabajar los fractales/grafos desde diferentes materias me ha ayudado a comprender mejor y con mayor profundidad el tema. | Fractales | 0 | 3.8 | 1.9 | 18.9 | 75.5 |
| | Grafos | 1.7 | 0 | 6.9 | 24.1 | 67.2 |
| V2: He actuado como científico, escritor, músico o artista durante las actividades realizadas. | Fractales | 0 | 1.9 | 11.3 | 39.6 | 47.2 |
| | Grafos | 1.7 | 5.2 | 12.1 | 43.1 | 37.9 |
| V3: Hemos creado cosas nuevas desde todas las áreas. | Fractales | 0 | 1.9 | 3.8 | 26.4 | 67.9 |
| | Grafos | 1.7 | 1.7 | 12.1 | 39.7 | 44.8 |
| V4: He relacionado lo que hemos visto desde todas las áreas con los fractales/grafos. | Fractales | 0 | 3.8 | 3.8 | 26.4 | 66.0 |
| | Grafos | 0 | 1.7 | 10.3 | 24.1 | 63.8 |
| V5: En la representación final hemos integrado todas las actividades realizadas. | Fractales | 3.8 | 1.9 | 5.7 | 18.9 | 69.8 |
| | Grafos | 1.7 | 1.7 | 10.3 | 29.3 | 56.9 |

entre disciplinas y la significatividad, junto con una aproximación holística y unitaria que ha permitido del complejización del conocimiento.

Significatividad para el alumnado de la metodología STEAM transdisciplinar

El aprendizaje cooperativo

El aprendizaje cooperativo se corresponde con la división de tareas según la Teoría de la Actividad y es uno de los aspectos que se ha potenciado a lo largo del proyecto (Tabla 3).

En este sentido, se ha comprobado la satisfacción del alumnado en las sesiones conjuntas de carácter colectivo que se realizaban con todos los grupos simultáneamente, ya que, como señalaba un alumno, ‘en las sesiones conjuntas conoces a más gente y, además, nos podemos entender todos mejor’ (Alumno 10, entrevista grupal 6).

La integración de las habilidades sociales en los procesos de aprendizaje relacionados con el aprendizaje cooperativo ha sido un tema subrayado además por los docentes. Así, como señalaba una docente, ‘integrar también las habilidades sociales, que como decías, en este tema de grafos ha sido una interconexión entre ellos, entre los grupos, entre afinidades diferentes, personalidades distintas, ritmos diferentes’ (Profesora 5, entrevista grupal 8).

Motivación y satisfacción del alumnado

Los proyectos (Tabla 4) han sido muy motivadores para el alumnado (M1), la forma de trabajar transdisciplinar muy estimulante (M2) y, además, sienten que les ha permitido

Tabla 3. ¿Te gusta trabajar en equipo? Se muestra el porcentaje de respuestas.

| | No | Sí, pero prefiero solo | Sí, casi tanto como de forma individual | Sí, más que de forma individual |
|--------------------|-----|------------------------|---|---------------------------------|
| Proyecto Fractales | 1.7 | 12.1 | 34.5 | 51.7 |
| Proyecto Grafos | 3.8 | 9.4 | 28.3 | 58.5 |

Tabla 4. Respuestas del alumnado sobre variables motivacionales. Se muestran los porcentajes de cada respuesta para ambos proyectos.

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------|-----|-----|------|------|------|
| M1: ¿Te ha motivado el proyecto? | Fractales | 1.9 | 0 | 7.5 | 39.7 | 50.9 |
| | Grafos | 0 | 0 | 15.5 | 39.7 | 44.8 |
| M2: ¿Te ha resultado estimulante trabajar de este modo? | Fractales | 1.9 | 1.9 | 7.5 | 34.0 | 54.7 |
| | Grafos | 0 | 3.4 | 13.8 | 36.2 | 46.6 |
| M3: ¿Te ha permitido potenciar tus capacidades trabajar de este modo? | Fractales | 1.9 | 0 | 7.5 | 39.6 | 50.9 |
| | Grafos | 0 | 1.7 | 13.8 | 29.3 | 55.2 |
| M4: ¿Se han cubierto las expectativas que tenías al comenzar el proyecto? | Fractales | 3.8 | 1.9 | 11.3 | 35.8 | 47.2 |
| | Grafos | 1.7 | 5.2 | 10.3 | 34.5 | 48.3 |
| M5: ¿Te gustaría seguir trabajando de este modo en próximos cursos? | Fractales | 3.8 | 7.5 | 5.7 | 20.8 | 62.3 |
| | Grafos | 1.7 | 5.2 | 13.8 | 20.7 | 58.6 |

potenciar sus múltiples capacidades (M3). Sus expectativas han sido ampliamente satisfechas (M4) y afirman que les gustaría continuar trabajando de este modo (M5).

Las familias del alumnado han percibido también la motivación que ha supuesto el proyecto para sus hijos/as. En este sentido, un padre señalaba su sorpresa ante 'la predisposición de los chicos a trabajar con tantas ganas/ilusión la mañana de los sábados' (Padre 1, entrevista). Asimismo, se podría establecer una relación entre la perspectiva expresada por el alumnado y el grado de implicación y motivación de los/as docentes, en un proceso de retroalimentación mutua.

Experiencias significativas

El análisis de correlación rho de Spearman muestra correlaciones positivas significativas entre la motivación suscitada por los proyectos (M1) y lo estimulante del mismo (M2; $r = .56, p < .001$) y con el hecho de haber cubierto sus expectativas (M4; $r = .52, p < .001$). Además, lo estimulante que resulta un proyecto (M2) está muy relacionado con el desarrollo de sus capacidades (M4; $r = .46, p < .001$), siendo ambos factores determinantes a la hora de desear realizar más cursos con esta metodología (M5; $r = .53$ y $.54$ respectivamente, en ambos casos $p < .001$).

Además, la comprensión (V1) se ve fuertemente influenciada por la motivación (M1; $r = .52, p < .001$) y lo estimulante que resulta el proyecto (M2; $r = .60, p < .001$). Por otro lado, alcanzar una mejor comprensión (V1) correlaciona especialmente con el hecho de haber creado desde las diversas áreas (V3; $r = .51, p < .001$).

En este sentido, la relación entre la significatividad del aprendizaje del alumnado y su grado elevado de motivación y satisfacción durante los proyectos pone de manifiesto el carácter significativo de las experiencias vividas por el alumnado en el aula, en las que se podrían englobar todos los aspectos que conforman los procesos de aprendizaje.

El rol de las artes en los proyectos STEAM transdisciplinares

La integración entre las diversas áreas se produce a través de una performance e instalación artística. Se planteaba, como señalaba un docente 'dirigirlo a un producto final, un resumen. La idea de integrar todo visualmente ha servido para que ellos lo vieran, que pusieran todas las ideas en claro y en un tablero en el que dijeran sí, es verdad, lo entiendo' (Profesor 3, entrevista grupal 1). De esta forma, como señalaba un alumno sobre la performance, 'al juntarlo todo, se iban repitiendo los cuentos. Luego la música ayudaba a acompañar la historia, y los dibujos ayudaban con la música, y a representar fractales y caos' (Alumno 11, entrevista grupal 3)

En este sentido, el alumnado expresa con nitidez en el cuestionario el alto grado de integración de las actividades realizadas en la representación final (Tabla 2, V5), vertebrada a través del arte, y donde se ha difuminado la perspectiva disciplinar, promoviendo la complejización del conocimiento adquirido. Este aspecto se desprende, además, de la perspectiva aportada por los docentes, ya que, 'adquirió más sentido el proyecto; sin la performance también hubiera sido muy interesante, pero la performance fue una catarsis de ellos (el alumnado) y nuestra, todo nuestro trabajo tenía un hilo conductor' (Profesor 3, entrevista grupal).

El análisis videográfico (Figura 3 y Figura 4) refleja la concepción de la performance e instalación como el desarrollo de un proceso en sí mismo, a través del espacio



Figura 3. Videocapturas. Performance del proyecto Fractales.



Figura 4. Videocapturas. Instalación artística del proyecto Grafos.

simbólico en el que el alumnado asume una serie de roles (músico, narrador, artista, diseñador gráfico, ingeniero informático, matemático). La integración curricular como principio vertebrador se podría aplicar a la variedad de roles asumidos por el alumnado en las diversas materias (véase V2 y V3 en la [Tabla 2](#)) a través de una aproximación procedimental del conocimiento.

Así pues, se ha puesto de manifiesto el rol del arte en los procesos de integración y conexión disciplinar, como elemento vertebrador y conector, más allá de su característica específicamente disciplinar:

Además, en esas sesiones conjuntas, es donde mejor han integrado esos conocimientos que han visto desde cada área, porque en esas creaciones artísticas reflejaban lo que habían

aprendido en las sesiones de matemáticas o en las de biología, y se veía en los bordados que han hecho (Profesor 1, entrevista grupal 2)

Además, se establece desde el área artística el vínculo descrito con la igualdad de género a través del bordado como elemento que ha vertebrado la instalación artística en el proyecto grafos, puesto que, como señalaba la artista colaboradora, 'son prácticas que no están consideradas como prácticas artísticas porque están muy feminizadas, y sí que me gusta trasladarlo a instituciones escolares, una manera muy creativa de poner en marcha proyectos' (Artista colaboradora, entrevista).

Aproximación conceptual a la perspectiva STEAM Transdisciplinar

La triangulación de las perspectivas analíticas desarrolladas nos permite establecer una serie de características que definen la perspectiva STEAM transdisciplinar desarrollada en el estudio para el ámbito de la Educación Primaria:

- (1) La integración transdisciplinar de las áreas STEAM desde la perspectiva del aprendizaje y la enseñanza.
- (2) A través del concepto de *gran idea* y del arte como herramienta integradora, se han difuminado las fronteras entre las áreas para obtener una perspectiva holística del conocimiento.
- (3) La importancia de la implicación y participación activa del alumnado centrado en aprendizajes cooperativos.
- (4) La conexión del aprendizaje con el mundo real a través su carácter experiencial, desarrollado en diversos espacios, y con salidas integradas en el proyecto, a través de los cuales el alumnado ha asumido una variedad de roles.
- (5) Junto con el profesorado y el alumnado participante, han colaborado profesionales expertos en diversas áreas (arte, biología y grabación audiovisual), integrando una comunidad de práctica.
- (6) Se ha fomentado la igualdad de género como tema transversal e implícito. Así, se ha corroborado estadísticamente que no existen diferencias significativas por género ni edad en ninguna de las preguntas realizadas en el cuestionario.

En este sentido, y como refleja análisis del atlas.ti, sintetizado en la [Figura 5](#), se pone de manifiesto la conexión entre una serie de factores en el desarrollo de los proyectos didácticos y englobados a través del resultado final: la integración transdisciplinar, la motivación e implicación del alumnado, el aprendizaje cooperativo, la significatividad e integración del aprendizaje y la experiencia en sí misma, desarrollada en una variedad de espacios y con diversos profesionales implicados.

Discusión

El proyecto surgió como una herramienta para desencadenar un proceso de transformación educativa, tanto desde la perspectiva del aprendizaje como de la enseñanza, centrado en la integración transdisciplinar en el marco STEAM a través de una *gran idea*.

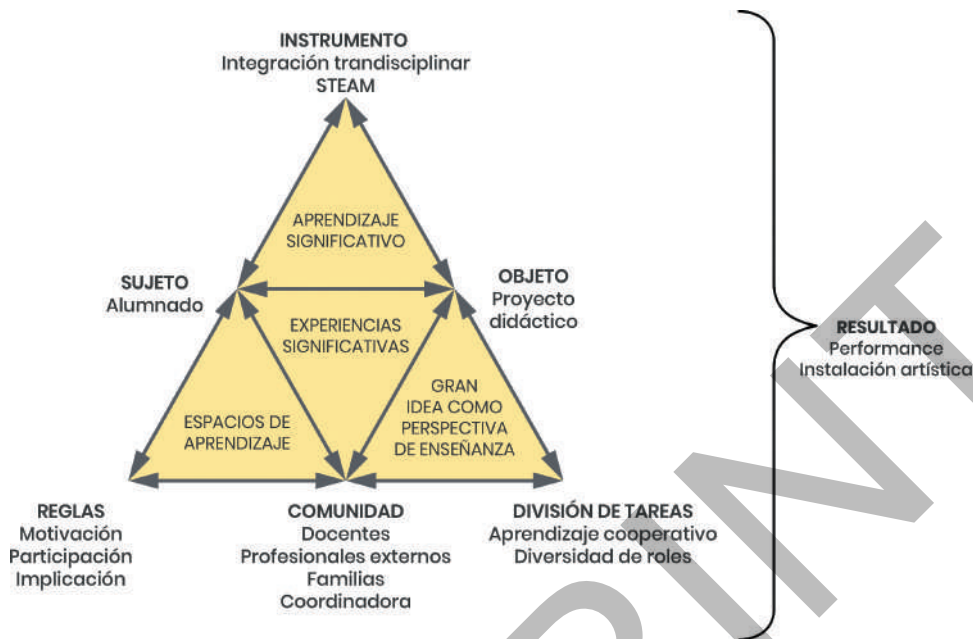


Figura 5. El proyecto didáctico desde la perspectiva de la Teoría de la Actividad.

Desde la perspectiva desarrollada en el proyecto (Burnard & Colucci-Gray, 2020), y en línea Herro y Quigley (2016), nos parece apropiado incluir las humanidades en el movimiento STEAM, tal y como se ha desarrollado en el estudio, a través de una concepción integradora, holística y compleja del conocimiento. En relación con la integración entre las áreas científico-tecnológicas y artístico-humanísticas, y tal y como sugieren Perignat y Katz-Buonincontro (2019), nos parece apropiado subrayar el valor disciplinar y equilibrado de todas ellas, promoviendo su integración transdisciplinar.

En el contexto de declive paulatino y generalizado de la presencia de la educación musical y artística en los currículos educativos (Aróstegui, 2020), se ha pretendido arrojar luz sobre el rol de las artes en el movimiento STEAM. Se ponen de manifiesto los siguientes roles específicos del arte en el proyecto desarrollado: (1) valor disciplinar tal y como sugerían Clapp y Jimenez (2016), pero en un plano de equilibrio con todas las áreas en la línea de Perignat y Katz-Buonincontro (2019), y no como mero beneficio para el aprendizaje STEM; (2) como herramienta de integración curricular, a través de la cual se observa la complejización en la aproximación al eje temático abordado y su abstracción, difuminando las fronteras entre las diversas áreas (Marshall, 2014); (3) promover la igualdad de género (Colucci-Gray et al., 2019); (4) fomentar la motivación del alumnado en acuerdo con otros autores (Henrkisen et al., 2015); (5) promover las creatividades tanto desde el punto de vista de la enseñanza como del aprendizaje (Harris & de Bruin, 2018).

En línea con Chalmers et al. (2017), nos parece apropiado el concepto de *grandes ideas* aplicadas al movimiento STEAM, puesto que permiten abordar el conocimiento desde una perspectiva múltiple, compleja y en profundidad, lo que junto con la

perspectiva transdisciplinar permite una integración real de las áreas científico-tecnológica y artístico-humanística. En este sentido, se podrían establecer los siguientes beneficios para el alumnado en los proyectos desarrollados:

- (1) Satisfacción por el aprendizaje cooperativo.
- (2) Interés en las disciplinas estudiadas.
- (3) Integración del conocimiento.
- (4) Ser protagonistas de su propio aprendizaje desde diversos roles.
- (5) Equilibrio de las diversas áreas.
- (6) Elevado nivel de motivación.
- (7) Se potencian las diversas capacidades.
- (8) Actitudes positivas hacia el aprendizaje.

Planteamos, tal y como sugiere Costantino (2018), un desarrollo transdisciplinar del movimiento STEAM, abordando la complejidad planteada por Quigley y Herro (2016), a través de un modelo centrado en la integración desde una perspectiva multidimensional.

Conclusiones e implicaciones para la práctica docente

Ante la crisis sistémica de la institución educativa, enmarcada en una complejidad creciente de la realidad social, se ha profundizado en el análisis de la integración transdisciplinar desde una perspectiva STEAM, analizando el rol de las artes a través de una propuesta específica como aportación fundamental del presente estudio. Hemos corroborado cómo la integración transdisciplinar se ha producido de forma multidimensional, a través de los procesos de enseñanza y aprendizaje, mediante la elección de una *gran idea*, concreta y transversal, abordada desde todas las áreas y conectada con el mundo real. Los contenidos se han articulado a través de las distintas áreas en una primera fase, pero han sido difuminados en una segunda fase a través del arte. Todo ello desde una perspectiva metadisciplinaria concretada en un producto artístico que ha sintetizado de forma holística los contenidos abordados. Se ha corroborado la perspectiva dual del arte, tanto disciplinar, como para favorecer la integración de las diversas áreas.

Los procesos de aprendizaje se han producido a través de las diversas áreas, en una variedad de contextos físicos y temporales, junto con la colaboración de profesionales expertos en los temas abordados, y la realización de salidas. De este modo, el estudio ha puesto de manifiesto un nivel elevado de significatividad en el aprendizaje del alumnado, relacionado con la construcción por su parte de experiencias significativas, y asociadas a la variedad de roles que han asumido, centrados en los principios de actividad y aprendizaje cooperativo. Todo ello estrechamente vinculado con un nivel elevado de motivación y satisfacción. En suma, los procesos de enseñanza y aprendizaje han quedado determinados por los siguientes factores interconectados entre sí (Figura 6): (a) la significatividad del aprendizaje a través de los procesos desarrollados; (b) el aprendizaje cooperativo que ha determinado la participación de todos los actores implicados; (c) la motivación y satisfacción desarrollada por el alumnado, profesorado y expertos participantes; (d) la construcción por parte del alumnado de experiencias significativas a partir de sus vivencias desarrolladas en el aula.

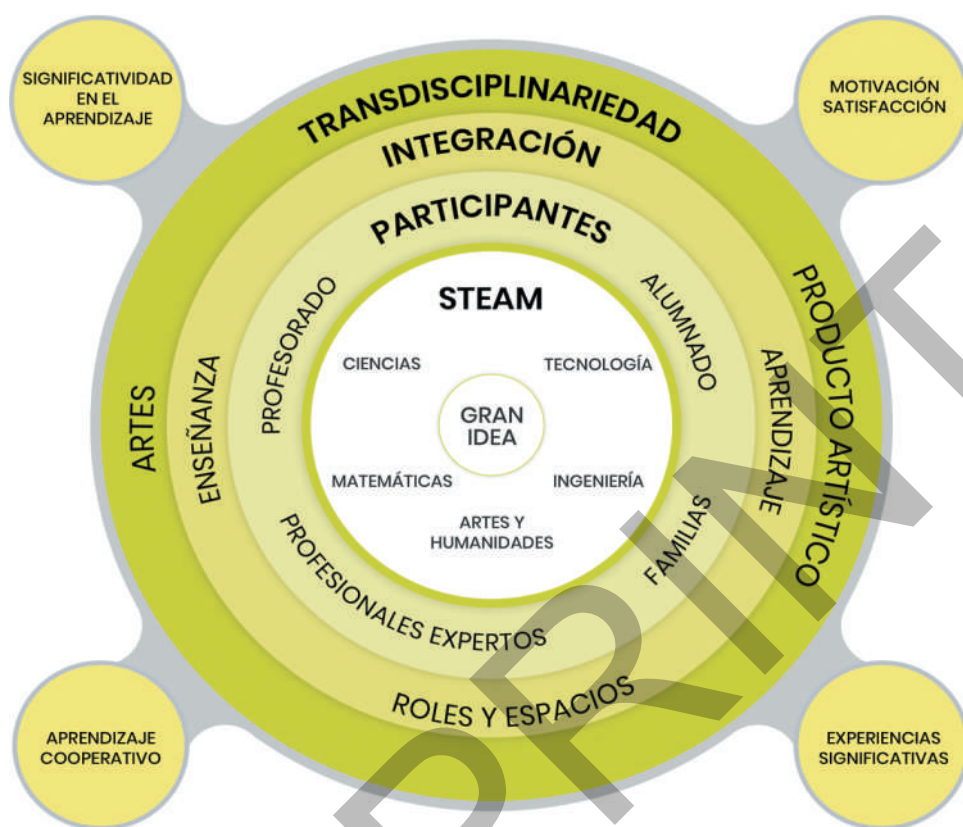


Figura 6. Aproximación STEAM Transdisciplinar.

Se ha corroborado desde la perspectiva de la enseñanza, la relevancia de la colaboración e implicación docente, a través de procesos de negociación explícita e implícita, así como la flexibilidad en el diseño del estudio y el apoyo del centro para facilitar su adaptación a lo largo del proceso. Se establece una propuesta de integración transdisciplinar como uno de los posibles enfoques para el desarrollo de proyectos STEAM. La propuesta didáctica presentada y los resultados derivados de la misma no son directamente generalizables a otros contextos educativos. Por ello, se plantea como posible investigación futura, su aplicación y análisis a otros contextos de la Educación Primaria y Secundaria. Otro aspecto para profundizar en futuros proyectos de investigación sería el análisis específico de la creatividad en el marco de la propuesta.

Acknowledgements / Agradecimientos

The authors wish to express their gratitude to all of the participants in the project: the students and their families; teachers Javier Priego, Marta Lapuente and Loles Fernández; the Coordinator of Sede Este, Rosa M^a Castellanos, together with those responsible for the *Programa de Enriquecimiento Educativo para Alumnos con Altas Capacidades de la Comunidad de Madrid* (Educational Enrichment Program for Gifted Students of the Community of Madrid); the

external professionals, Federico Morán, Patricia Chamorro, Victoria Miñana and especially Ángel Blanco. / Los autores desean expresar su agradecimiento al resto de participantes en el Proyecto: el alumnado y sus familias; los profesores Javier Priego, Marta Lapuente y Loles Fernández; la Coordinadora de la Sede Este, Rosa M^a Castellanos, junto con los responsables del Programa de Enriquecimiento Educativo para Alumnos con Altas Capacidades de la Comunidad de Madrid; los profesionales externos, Federico Morán, Patricia Chamorro, Victoria Miñana y especialmente, a Ángel Blanco.

Disclosure statement / Conflicto de intereses

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.

ORCID

Carlos Lage-Gómez  <http://orcid.org/0000-0001-7264-7725>

Germán Ros  <http://orcid.org/0000-0001-6623-1483>

References / Referencias

- Aróstegui, J. L. (2020). Implications of neoliberalism and knowledge economy for music education. *Music Education Research*, 22(1), 42–53. <https://doi.org/10.1080/14613808.2019.1703923>
- Bautista, A., Tan, L. S., Ponnusamy, L. D., & Yau, X. (2016). Curriculum integration in arts education: Connecting multiple art forms through the idea of ‘space’. *Journal of Curriculum Studies*, 48(5), 610–629. <https://doi.org/10.1080/00220272.2015.1089940>
- Burger, P., & Kamber, R. (2003). Cognitive integration in transdisciplinary science. *Issues in Integrative Studies*, 21, 43–73. <http://edoc.unibas.ch/dok/A6329135>
- Burnard, P., & Colucci-Gray, L. (2020). *Why science and art creativities matter. (Re- configuring STEAM for future-making education)*. Brill/Sense Publishers.
- Chalmers, C., Carter, M. L., Cooper, T., & Nason, R. (2017). Implementing “big ideas” to advance the teaching and learning of science, technology, engineering, and mathematics (STEM). *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(1), 25–43. <http://doi.org/10.1007/s10763-017-9799-1>
- Chapell, K., Hetherington, L., Keene, H. R., Wren, H., Alexopoulos, A., Ben-Horin, O., Nikolopoulos, K., Robberstad, J., Sotiriou, S., & Bogner, F. X. (2019). Dialogue and materiality/embodiment in science|arts creative pedagogy: Their role and manifestation. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 296–322. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.12.008>
- Clapp, E. P., & Jimenez, R. L. (2016). Implementing STEAM in maker-centered learning. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(4), 481. <https://doi.org/10.1037/aca0000066>
- Cochran-Smith, M., & Litle, S. L. (2009). *Inquiry as stance: Practitioner research for the next generation*. Teachers College Press.
- Colucci-Gray, L., Burnard, P., Gray, D., & Cooke, C. (2019, May). A critical review of STEAM (Science, technology, engineering, arts, and mathematics). *Oxford Research Encyclopedia of Education*, 1–26. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.398>
- Costantino, T. (2018). STEAM by another name: Transdisciplinary practice in art and design education. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 100–106. <https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1292973>
- Elliott, J. (2009). Building educational theory through action research. In S. E. Noffke, & B. Somekh (Eds.), *The SAGE handbook of educational action research* (pp. 28–38). SAGE.

- Engeström, Y. (1999). Activity theory and individual and social transformation. In Y. Engeström, R. Miettinen, & R. L. Punamaki (Eds.), *Perspectives on activity theory* (pp. 19–38). Cambridge University Press.
- Escobar Pérez, J., & Cuervo Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6(1), 27–36. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2981181>
- Etim, J. S. (Ed.). (2005). *Curriculum integration K-12: Theory and practice*. University Press of America.
- Friese, S. (2013). *ATLAS.ti 7: User guide and reference*. ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH.
- Ge, X., Ifenthaler, D., & Spector, J. (2015). *Emerging technologies for STEAM education: Full STEAM ahead*. Springer.
- Harris, A., & de Bruin, L. R. (2018). Secondary school creativity, teacher practice and STEAM education: An international study. *Journal of Educational Change*, 19(2), 153–179. <https://doi.org/10.1007/s10833-017-9311-2>
- Henkisen, D., DeSchryver, M., & Mishra, P. (2015). Rethinking technology & creativity in the 21st century transform and transcend: Synthesis as a trans-disciplinary approach to thinking and learning. *TechTrends*, 59(4), 5. <https://doi.org/10.1007/s11528-015-0863-9>
- Herro, D., & Quigley, C. (2016). STEAM enacted: A case study of a middle school teacher implementing STEAM instructional practices. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 35(4), 319–342. <http://dx.doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>
- Hirsch Hadorn, G., Hoffmann-Riem, H., Biber-Klemm, S., Grossenbacher-Mansuy, W., Joye, D., Pohl, C., Wiesmann, U., & Zemp, E. (Eds.). (2007). *Handbook of transdisciplinary research*. Springer.
- Kemmis, S. (2010). Research for praxis: Knowing doing. *Pedagogy Culture & Society*, 18(1), 9–27. <http://dx.doi.org/10.1080/14681360903556756>
- Khine, M. S., & Areepattamannil, S. (2019). *STEAM education: Theory and practice*. Springer.
- Klein, J. T., Grossenbacher-Mansuy, W., Häberli, R., Bill, A., Scholz, R. W., & Welti, M. (2001). *Transdisciplinarity: Joint problem solving among science. An effective way for managing complexity*. Birkhäuser Verlag.
- Loewenthal, K. M., & Lewis, C. A. (2018). *An introduction to psychological tests and scales*. Psychology press.
- Marshall, J. (2014). Transdisciplinarity and art integration: Toward a new understanding of art-based learning across the curriculum. *Studies in Art Education*, 55(2), 104–127. <http://dx.doi.org/10.1080/00393541.2014.11518922>
- Nicolescu, B. (2012). Transdisciplinarity: The hidden third, between the subject and the object. *Human and Social Studies*, 1(2), 13–28. <https://doi.org/10.2478/v10317-012-0002-5>
- Niemi, D., Vallone, J., & Vendlinski, T. (2006). *The power of big ideas in mathematics education: Development and pilot testing of POWERSOURCE assessments (CSE Report 697)*. National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST).
- Park, J., & Son, J. (2010). Transitioning toward transdisciplinary learning in a multidisciplinary environment. *International Journal of Pedagogies and Learning*, 6(1), 82–93. <https://doi.org/10.5172/ijpl.6.1.82>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rice, P., & Ezzy, D. (1999). *Qualitative research methods: A health focus*. Oxford University Press.
- Torres Santomé, J. (1994). *Globalización e interdisciplinariedad: el currículum integrado*. Ediciones Morata.
- Wenger, E. (2002). *Comunidades de práctica*. Ediciones Paidós Ibérica.