



Creatividad científica: análisis desde una perspectiva sociocultural y sistémica en el marco de la educación STEAM

Jhon Daniel Pabón Rúa

Tesis doctoral presentada para optar al título de Doctor en Educación

Asesora:

Sonia Yaneth López Ríos, Doctora (PhD) en Enseñanza de las Ciencias

Universidad de Antioquia
Facultad de Educación
Doctorado en Educación
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Pabón Rúa, J.D., 2024)
Referencia	Pabón Rúa, J. D. (2024). <i>Creatividad Científica: análisis desde una perspectiva sociocultural y sistémica en el marco de la educación STEAM</i> [Tesis doctoral]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Doctorado en Educación, Cohorte XVII.

Grupo de Investigación Perspectivas de Investigación en Educación en Ciencias (PiEnCias).

Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas (CIEP).



Centro de Documentación Educación

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Wilson Bolívar Buriticá.

Jefe departamento: Ruth Elena Quiroz Posada.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

A Dios, a la vida y a la madre tierra, por el don de la existencia y por permitirme reflexionar sobre la compleja naturaleza del entendimiento humano.

A mi esposa, quien con amor me acompañó en los momentos más felices y también en los más complejos de este caminar.

A mi familia, invaluable red de apoyo en este proceso.

A Sonia López, directora de tesis que con su sabiduría y humanidad allanó los caminos para llevar a buen término este acto creativo.

Al profesor Mario Quintanilla Gatica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por su calidez humana y generosidad con el conocimiento.

A los estudiantes del grado 11 del Colegio Gimnasio Cantabria, por su buena disposición para participar de esta investigación.

Tabla de contenido

Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
1. Planteamiento del problema.....	18
2. Objetivos de investigación.....	30
2.1 General	30
2.2 Específicos	30
3. Aproximaciones teóricas.....	31
3.1 Revisión de literatura	31
3.1.1 La creatividad en la educación STEAM	32
3.1.1.1 Aspectos Bibliométricos	33
3.1.1.2 Aspectos Teóricos	35
3.1.1.3 Aspectos Metodológicos	37
3.1.2 La enseñanza de la física en la educación STEAM	42
3.1.3 La creatividad en ciencias desde la perspectiva sociocultural	44
3.2 Fundamentos teóricos.....	47
3.2.1 Perspectivas teóricas de la creatividad.....	47
3.2.1.1 La creatividad como fenómeno psicológico	49
3.2.1.2 La creatividad como fenómeno sociocultural	51
3.2.1.3 La creatividad como fenómeno sistémico.....	55
3.2.1.4 La escuela como sistema cultural para el desarrollo de la creatividad	60
3.2.1.5 Evaluación y creatividad desde el modelo sociosistémico	63
3.2.2 Creatividad en la educación en ciencias.....	65
3.2.3 De STEM a STEAM	68

3.2.4	Tecnologías en la Educación Científica	78
4.	Metodología	81
4.1	Paradigma y Enfoque	81
4.2	Tipo de Estudio	81
4.3	Contexto y Participantes.....	83
4.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	83
4.4.1	Observación participante.....	84
4.4.2	Entrevista Semiestructurada.....	84
4.4.3	Grupos de discusión	84
4.4.4	Taller	85
4.5	Técnicas y procedimientos para el análisis de la información.....	85
4.5.1	Análisis de contenido, codificación y categorización	86
4.5.2	Categorías para el análisis de la información.....	87
4.6	Propuesta Pedagógico- Didáctica.....	88
4.6.1	Etapa de contextualización.....	90
4.6.2	Etapa de diseño creativo.....	91
4.6.3	Toque emocional	98
4.7	Línea temporal de la propuesta de intervención.....	102
4.8	Consideraciones éticas	104
5.	Resultados	105
5.1	Categorías de análisis	105
5.1.1	Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual	105
5.1.2	Características creativas de los artefactos diseñados por los participantes en el marco de la propuesta STEAM.....	106

5.1.3	La interacción social y las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad.....	107
5.1.4	Articulaciones teóricas entre las perspectivas sociocultural y sistémica de la creatividad.....	108
5.1.5	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y el desarrollo de la creatividad científica.....	108
5.2	Análisis de los casos a la luz de las categorías.....	109
5.2.1	Caso Participante P1.....	109
5.2.1.1	Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa.....	109
5.2.1.2	Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad.....	114
5.2.1.3	Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica.....	117
5.2.1.4	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica.....	119
5.2.2	Caso Participante 2.....	120
5.2.2.1	Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa.....	121
5.2.2.2	Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad.....	127
5.2.2.3	Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica.....	129
5.2.2.4	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica.....	132
5.2.3	Caso Participante P3.....	134
5.2.3.2	Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica.....	143
5.2.3.3	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica.....	148
5.2.4	Caso Participantes 4 y 5.....	152

5.2.4.1	Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa	152
5.2.4.2	Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad	160
5.2.4.3	Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica	163
5.2.4.4	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica	168
5.2.5	Caso Participante 6.....	171
5.2.5.1	Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa	171
5.2.5.2	Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad	178
5.2.5.3	Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica	181
5.2.5.4	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica	183
6.	Discusión.....	186
7.	Conclusiones	197
7.1	Limitaciones	200
7.2	Recomendaciones	201
7.3	Perspectivas abiertas de investigación	201
8.	Referencias.....	203

Lista de tablas

Tabla 1. Definiciones de la creatividad	35
Tabla 2. Estrategias o enfoques pedagógico-didácticos	37
Tabla 3. Estrategias e instrumentos utilizados para evaluar la creatividad	38
Tabla 4. Estrategia, población y concepto/tema/fenómeno abordado	43
Tabla 5. Enfoque metodológico, estrategias y conceptos de la teoría sociocultural	45
Tabla 6. Estrategias didácticas, concepto abordado y nivel de escolaridad de la población.....	46
Tabla 7. Lugar de la persona, el dominio y el ámbito en la creatividad desde una perspectiva sistémica	57
Tabla 8. Evaluación de la creatividad desde una perspectiva sociosistémica	63
Tabla 9 Diferencias tradicionales entre las disciplinas STEAM y las artes	70
Tabla 10 Disciplinas que integran la educación STEAM	73
Tabla 11 Diferentes formas de integrar las disciplinas de la educación STEAM.....	74
Tabla 12 Modelos teóricos para el desarrollo de propuestas STEAM	76
Tabla 13 Categorías y subcategorías de análisis a partir de los objetivos de investigación.....	86
Tabla 14 Diagnóstico concepciones alternativas sobre el tema de ondas sonoras	89
Tabla 15 Etapa de contextualización en el marco de una propuesta STEAM	90
Tabla 16 Actividad sobre las características del sonido.....	92
Tabla 17 Actividad de caracterización de las propiedades del sonido a partir de la interacción con una simulación.....	93
Tabla 18 Actividad relacionada con la construcción de un mapa mental sobre ondas sonoras	94
Tabla 19 Actividad relacionada con la construcción de la historia de una partícula de aire.....	95
Tabla 20 Actividad sobre composición musical con la herramienta digital Chrome Music Lab .	96
Tabla 21 Actividad alusiva a la construcción de un producto que posibilite observar algunas de las propiedades del sonido.....	97

Tabla 22 Descripción de la etapa alusiva al toque emocional en la educación STEAM	100
Tabla 23 Fases de la propuesta con su respectiva duración	102
Tabla 24 Categorías, subcategorías, actividades y técnicas e instrumentos de recolección de la información	103
Tabla 25 Etapas de dominio conceptual desde la perspectiva sociocultural de la creatividad ...	105
Tabla 26 Atributos de la creatividad desde un marco transcultural	107
Tabla 27 Subcategorías y descriptores para analizar el papel de la interacción social y de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica	108
Tabla 28 Etapas de dominio conceptual I P1	109
Tabla 29 Etapas de dominio conceptual II P1	110
Tabla 30 Etapas de dominio conceptual III P1.....	110
Tabla 31 Etapas de dominio conceptual IV P1	110
Tabla 32 Etapas de dominio conceptual V P1.....	111
Tabla 33 Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire.....	113
Tabla 34 Proceso de construcción del artefacto de P1	115
Tabla 35 Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto	116
Tabla 36 Evaluación del producto de la participante P1	116
Tabla 37 Etapas de dominio conceptual I P2	121
Tabla 38 Etapas de dominio conceptual II P2.....	121
Tabla 39 Etapas de dominio conceptual III P2.....	122
Tabla 40 Etapas de dominio conceptual IV P2	122
Tabla 41 Etapas de dominio conceptual V P2.....	123
Tabla 42 Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire.....	125
Tabla 43 Proceso de construcción del artefacto de P2	127
Tabla 44 Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto	128

Tabla 45 Evaluación del producto del participante P2.....	128
Tabla 46 Etapas de dominio conceptual I P3	134
Tabla 47 Etapas de dominio conceptual II P3.....	135
Tabla 48 Etapas de dominio conceptual III P3.....	135
Tabla 49 Etapas de dominio conceptual IV P3	135
Tabla 50 Etapas de dominio conceptual V P3.....	136
Tabla 51 Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire.....	138
Tabla 52 Proceso de construcción del artefacto de P3	141
Tabla 53 Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto	142
Tabla 54 Evaluación del producto del participante P3.....	142
Tabla 55 Etapas de dominio conceptual I P4	153
Tabla 56 Etapas de dominio conceptual II P4.....	153
Tabla 57 Etapas de dominio conceptual IV P4	154
Tabla 58 Etapas de dominio conceptual I P5	154
Tabla 59 Etapas de dominio conceptual II P5.....	154
Tabla 60 Etapas de dominio conceptual III P5.....	155
Tabla 61 Etapas de dominio conceptual IV P4 y P5	155
Tabla 62 Etapas de dominio conceptual V P4 y P5	156
Tabla 63 Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire.....	158
Tabla 64 Proceso de construcción del artefacto de P4 y P5.....	160
Tabla 65 Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto	162
Tabla 66 Evaluación del producto de los participantes P4 y P5	162
Tabla 67 Etapas de dominio conceptual I P6	172
Tabla 68 Etapas de dominio conceptual II P6.....	172

Tabla 69 Etapas de dominio conceptual III P6.....	173
Tabla 70 Etapas de dominio conceptual IV P6	173
Tabla 71 Etapas de dominio conceptual V P6.....	174
Tabla 72 Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire.....	175
Tabla 73 Proceso de construcción del artefacto de P6	179
Tabla 74 Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto	179
Tabla 75 Evaluación del producto del participante P6.....	180

Lista de figuras

Figura 1. Número de investigaciones y países en los cuales se desarrollaron	34
Figura 2. Publicaciones en el área en la escala temporal establecida	34
Figura 3 Creatividad en la evolución biológica	58
Figura 4 Creatividad en la evolución cultural	59
Figura 5 Modelo Sociosistémico de la Creatividad en la Escuela (MSCE).....	62
Figura 6 Posibilidades de la incorporación del arte en la educación STEAM.....	70
Figura 7 Esquema sobre ondas sonoras construido por P1	112
Figura 8 Interfaz de la aplicación desarrollada por P1	114
Figura 9 P1 presentando la aplicación desarrollada.....	117
Figura 10 P1 y su compañera presentando el producto final	117
Figura 11 Pantallazo tomado por P2 (zonas de mayor y menor presión)	123
Figura 12 P2 y su compañero interactuando con la simulación.....	124
Figura 13 Esquema sobre ondas sonoras construido por P2	124
Figura 14 P2 y su compañero elaborando el organizador gráfico sobre ondas sonoras	125
Figura 15 Escena del videojuego elaborado por P2.....	127
Figura 16 Escena de uno de los mundos	129
Figura 17 Estudiantes de otros grupos interactuando con el videojuego	129
Figura 18 Esquema sobre ondas sonoras construido por P3	137
Figura 19 P3 y sus compañeras en el proceso de construcción del organizador gráfico	137
Figura 20 P3 en el proceso de construcción de la representación audiovisual de la historia de la partícula.....	139
Figura 21 Movimiento del agua en una frecuencia de 15 Hz	140
Figura 22 Estudiantes observando con sus cámaras el producto elaborado por P3	143
Figura 23 Esquema sobre ondas sonoras construido por P4 y P5.....	157

Figura 24 Interfaz del producto elaborado por P4 y P5	160
Figura 25 P4 y P5 presentando el producto construido frente a la clase.....	163
Figura 26 Esquema sobre ondas sonoras construido por P6	174
Figura 27 P6 en el proceso de construcción del producto audiovisual	177
Figura 28 Interfaz del videojuego elaborado por P6.....	178
Figura 29 P6 presentando el videojuego a estudiantes de otros grados	181

Anexos

1 Actividad: Diagnóstico.....	21715
2 Actividad: interactuando con una simulación sobre ondas sonoras.....	21917
3 Consentimiento informado.....	21918
4 Asentimiento informado.....	219

Resumen

La complejidad de las actuales dinámicas culturales, así como su carácter cambiante requiere de una ciudadanía creativa que pueda enfrentar los retos que atravesamos como humanidad. Este trabajo tuvo como objetivo analizar el desarrollo de la creatividad científica en el aprendizaje de las ondas sonoras desde una perspectiva sociocultural y sistémica a partir de una propuesta de enseñanza enmarcada en la educación STEAM. Se realizó un estudio de caso colectivo en el que participaron seis estudiantes de grado once del Colegio Gimnasio Cantabria. Se encontró que los casos transitaban desde explicaciones que se enmarcaban en el plano de lo descriptivo, hasta otras en las que transformaban los significados de la ciencia a través de productos que daban cuenta de auténticos actos creativos. La interacción social y las herramientas tecnológicas se posicionaron como elementos de mediación a partir de los cuales los participantes se apropiaron y resignificaron el capital cultural a nivel escolar. Finalmente, la valoración que hacen los casos de STEAM da cuenta de que este se posiciona como un enfoque educativo con importantes posibilidades para aprender física y desarrollar la creatividad. Se propone además un modelo teórico para la promoción e investigación de la creatividad en la escuela desde una perspectiva sociosistémica que contempla factores tanto de naturaleza individual como social. Al final se discuten algunas cuestiones que dan cuenta de la importancia de las escuelas como espacios para expresar la creatividad y quedan plasmadas posibles rutas de indagación para seguir investigando en este campo.

Palabras clave: creatividad, educación STEAM, enseñanza de la física, tecnología educativa, ondas sonoras.

Abstract

The complexity of the current cultural dynamics, as well as its changing character, requires a creative citizenship that can face the challenges we are going through as humanity. The objective of this work was to analyse the development of scientific creativity in the learning the concept of sound waves from a sociocultural and systemic perspective based on a teaching proposal framed in STEAM education. A collective case study was carried out with the participation of six eleventh grade students from Gimnasio Cantabria School. It was found that the cases went from explanations that were framed at the descriptive level, to others in which they transformed the meanings of science through products that showed authentic creative acts. Social interaction and technological tools were positioned as elements of mediation through which participants appropriated and re-signified cultural capital at the school level. Finally, the assessment made by the cases of STEAM shows that it is positioned as an educational approach with important possibilities for learning physics and developing creativity. A theoretical model for the promotion and research of creativity at school is also proposed from a socio-systemic perspective that considers factors of both individual and social nature. At the end, some issues are discussed that show the importance of schools as spaces for expressing creativity, as well as possible routes for further research in this field are outlined.

Keywords: creativity, STEAM education, physics education, educational technology, sound waves.

Introducción

El conocimiento científico, tecnológico y artístico hace parte importante del acervo cultural de la humanidad y su apropiación por parte de las distintas esferas de la sociedad se constituye en uno de los principales retos educativos del siglo XXI. Teniendo en cuenta que como humanidad es imperativa la generación de proyectos políticos bien fundamentados que permitan afrontar desafíos en temas de equidad, ética, manejo de la información, salud, medio ambiente y energía; en la actualidad la educación tiene como reto explicar y comprender desde una perspectiva hermenéutica las nuevas complejidades de la realidad, aún más, cuando se evidencia que, por lo general, algunas áreas del conocimiento tienen mayor influencia sobre el deber ser del acto educativo que las mismas reflexiones pedagógicas. Es importante que los escenarios educativos estén articulados a las dinámicas sociales y concebir la escuela como el lugar común en el que se otorga la posibilidad de experimentar con artefactos simbólicos y técnicos de la cultura sin asumir mayores riesgos; un espacio en el que la equivocación se constituya en oportunidad de aprendizaje y enriquecimiento de la experiencia.

En esta investigación se analiza el desarrollo de la creatividad científica y el proceso de aprendizaje de la física desde una perspectiva sociocultural y sistémica, a partir de una propuesta de enseñanza enmarcada en la educación STEAM, que fue llevada a cabo con estudiantes de grado once del Colegio Gimnasio Cantabria de la Estrella, Antioquia. Inicialmente se abordan aquellos factores por los cuales se hace necesario indagar acerca de la pertinencia de la educación STEAM en el siglo XXI, así como las dificultades en el aprendizaje de la física y en el desarrollo de la creatividad científica por parte de los estudiantes, concluyendo en este apartado con la pregunta y los objetivos de este estudio. Posteriormente se ofrece un panorama del estado actual de la investigación en este campo y se establecen los referentes teóricos de esta investigación, los cuales hacen referencia a las Perspectivas Teóricas de la Creatividad, la Creatividad Científica, la educación STEAM y las Tecnologías Creativas. Seguidamente se expone la perspectiva metodológica desde la que se abordó el objeto de estudio, así como la descripción del contexto, las características de los participantes y la manera en que fue recolectada y analizada la información. Al final se presentan los resultados y las conclusiones derivadas de los mismos, así como algunas recomendaciones para investigaciones futuras.

1. Planteamiento del problema

Actualmente la forma de relacionarnos con la tecnología, incluso las interacciones entre la tecnología misma se están transformando por fenómenos como la Industria 4.0 que trae consigo retos que demandan nuevas competencias por parte de la ciudadanía a nivel global. Nos encontramos ante un nuevo paradigma en torno a las tecnologías, que ha modificado de manera sustancial nuestras maneras de vivir, comunicarnos, relacionarnos y aprender (Resnick, 2001; Coll, 2004). Al respecto, Resnick (2001) señala que en el futuro no será tan importante cuánto sabemos, sino la capacidad que tengamos para pensar y actuar creativamente con ayuda de la tecnología; considera la creatividad como una destreza esencial de aprendizaje para enfrentar los retos de la sociedad del siglo XXI. Lo anterior requiere de significativos cambios a nivel curricular, dado que normalmente el conocimiento es presentado en la escuela de manera fragmentada y los objetivos educativos distan de la realidad. Manrique et al. (2020) indican al respecto que el panorama es crítico por la “diferencia entre las competencias definidas en los currículos de las instituciones, la formación rígida, fragmentada y orientada a corto plazo y los desafíos que los estudiantes deben asumir para el mundo competitivo, interconectado y globalizado” (p. 7). Se requieren epistemologías que hagan frente a la fragmentación de los saberes y que permitan comprender la complejidad del mundo actual. Houtart (2006) plantea en este sentido que es imperativo

reconstruir una epistemología compleja, que reconoce los límites de la elementariedad, la importancia de la temporalidad, la multidimensionalidad y lo transdisciplinario. Tal visión de la realidad conduce al crecimiento de la conciencia de la ambivalencia de lo real, de la aleatoriedad, de la incertidumbre, así como de la pluralidad de las instancias epistemológicas. (p. 17)

Diversos autores (Stoelinga, et al., 2015; Gross y Gross, 2016; Taylor, 2016) coinciden en la necesidad de proyectos educativos que permitan la integración disciplinar y el desarrollo de habilidades propias del siglo XXI, tales como pensamiento crítico, resolución de problemas, creatividad, innovación, colaboración y comunicación; con el fin de construir una sociedad científica y tecnológicamente alfabetizada, creativa y ética. Sin embargo, específicamente en el

contexto latinoamericano, se ha encontrado que desde los organismos gubernamentales se hace poco énfasis en políticas de ciencia y tecnología, lo cual redundaría en que haya más usuarios del conocimiento y la tecnología que transformadores y creadores de estos (Cáceres y Sapuyes, 2019). Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se hace explícita la necesidad de adoptar enfoques educativos que permitan comprender y adaptarse activamente a las complejidades del mundo actual.

La educación STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) se posiciona como una perspectiva con gran potencial para abordar los objetivos educativos mencionados anteriormente, en la medida que se caracteriza por favorecer la integración disciplinar y el desarrollo de habilidades para el siglo XXI como pensar de forma inteligente y creativa, resolver problemas, perseverar y asumir riesgos, tener sólidas habilidades digitales y saber cómo colaborar con eficacia (Taylor, 2016). El enfoque STEM es considerado como un triángulo que reúne educación, investigación e innovación y emerge en el marco de un contexto social globalizado, desarrollista y expuesto a informaciones de distinta índole. El término STEM fue acuñado en la década de los 90 por la *National Science Foundation* y desde sus orígenes esta perspectiva ha estado inspirada en las siguientes cuatro líneas maestras: formación científica continua y al alcance de todos; formación interdisciplinar; eliminación de barreras estructurales y metodológicas; y construcción de una sociedad global a partir de la gestión comunicativa (Napal y Zudaire, 2019).

Uno de los principales objetivos de la educación STEM es la construcción de una sociedad científica y tecnológicamente alfabetizada. No obstante, dados los fundamentos epistémicos de las disciplinas que hacen parte de este enfoque, solo se ofrece una visión parcial de la complejidad de los fenómenos en los que estamos inmersos como sociedad. Napal y Zudaire (2019) señalan al respecto que “el pensamiento abstracto y cuantitativo no siempre es apropiado para describir el mundo, impreciso y cualitativo” (p. 51). Por su parte, Hawkins et al. (2018) indican que para algunos investigadores el enfoque STEM oscurece la importancia de otras disciplinas como las humanidades y las ciencias sociales; y en este sentido, invita a aunar esfuerzos que favorezcan una integración interdisciplinar más amplia. En este contexto y hacia finales de la primera década del siglo XXI se reconoce la necesidad de integrar la “A” de artes al acrónimo STEM, emergiendo de esta manera el enfoque STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics).

La educación STEAM (Science, Technology, Engineering, Mathematics and Arts) se torna como un modelo pertinente para afrontar los retos del presente siglo (Cilleruelo y Zubiaga, 2014;

Stoelinga, et al., 2015; Gross y Gross, 2016; Taylor, 2016), por considerar que la combinación de las disciplinas STEM y las artes es esencial para formar una ciudadanía creativa, científicamente alfabetizada y ética (Stoelinga et al., 2015). Según Hammer (2014) y Tan et al. (2021), en la educación científica y tecnológica es innegable el valor estético del arte como herramienta para el razonamiento abstracto y la indagación científica; en ello radica la importancia de la incorporación de la experiencia estética en la educación científica. Cabe aclarar que las artes no simplemente se unen como una disciplina más al enfoque STEM; la educación STEAM se está consolidando como un nuevo enfoque educativo con características particulares (Stroud y Baines, 2019). El acrónimo del modelo STEAM ha presentado variantes como STEM+A o STEM+H, dadas las diferentes formas de concebir el lugar que ocupan las artes dentro de este enfoque educativo. Según Perignat y Buonincontro (2019), este hecho ha llevado a confusiones en torno a la forma de interpretar la “A” o la “H” en esta perspectiva educativa, dado que para algunos representa solo la educación artística (pintura, dibujo, fotografía, escultura, artes de los medios y diseño), para otros hace referencia a las artes en plural (visuales, escénicas, medios digitales, estética y manualidades); y en otros casos se tienen en cuenta las disciplinas de humanidades “H” y artes liberales. Sin embargo, estos autores señalan que la educación STEAM debería contemplar las diferentes vertientes del arte, bajo el argumento de que su fragmentación daría cuenta del desconocimiento de su carácter histórico y diverso.

La educación STEAM como enfoque educativo guarda una estrecha relación con el desarrollo de la creatividad. Al respecto, Perignat y Buonincontro (2019), señalan que en diversas investigaciones relacionadas con el enfoque STEAM se hace alusión a la creatividad a través de expresiones como pensamiento creativo, resolución creativa de problemas y desarrollo de habilidades creativas; concluyen que la creatividad está relacionada con la incorporación de las artes y se caracteriza por ser uno de los beneficios o resultados de aprendizaje de la educación STEAM. Por su parte Cheng et al. (2022), añaden que varios estudios han examinado la relación entre la educación STEAM y la creatividad y han encontrado una asociación positiva entre ambas en diferentes niveles de escolaridad. Con respecto a lo anterior, Eisner (2008) indica que las artes desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la creatividad, en vista de que estas se interesan por la expresividad, evocan emociones, estimulan la imaginación y fomentan la búsqueda de soluciones a un problema desde múltiples perspectivas. Además, las artes presentan una

ineluctable naturaleza estética, la cual está relacionada con ejercicios de observación contemplativa e inmersión profunda en experiencias que promueven la emergencia de actos creativos.

La creatividad se constituye en un concepto que ha dado lugar a amplias discusiones en el ámbito académico y que ha sido abordado desde diferentes campos de investigación. Por ejemplo, para Guilford (1950), uno de los principales teóricos de la creatividad, en la inteligencia humana coexisten dos tipos de pensamiento: el convergente y el divergente. Este último está relacionado con el pensamiento creativo, el cual para Torrance (1962), puede ser concebido como el “proceso de descubrir problemas o lagunas de información, formar ideas o hipótesis, probarlas, modificarlas y comunicar los resultados” (p. 16). Desde esta perspectiva se asume que el pensamiento creativo está compuesto principalmente por cuatro dimensiones: la fluidez relacionada con la capacidad para producir un número elevado de ideas; la flexibilidad como la habilidad para cambiar un proceso o bien, transformar, reinterpretar y replantear un problema; la originalidad entendida como la habilidad para generar respuestas poco convencionales; y por último, la elaboración que se caracteriza en función del nivel de detalle, desarrollo, belleza o complejidad de las ideas (Jiménez et al., 2007).

Las habilidades anteriormente descritas dan cuenta de la creatividad como un fenómeno intrapsíquico; no obstante, algunos autores como Defermos (2018), ponen de manifiesto la necesidad de trascender hacia una creatividad desde una perspectiva sociocultural teniendo en cuenta que el sujeto lleva a cabo actos creativos en el marco de un entorno social, cultural e histórico. En este mismo orden de ideas, Vygotsky (1987) indica que la creatividad está condicionada por los materiales disponibles en el medio y las características del contexto.

Desde la perspectiva sociocultural se concibe el desarrollo cognitivo como un proceso de internalización y transformación de los símbolos y signos de la cultura; en esta medida, se posiciona como una teoría que permite ahondar en la naturaleza de la creatividad, particularmente en el ámbito de la educación en ciencias; dado que, en el acto creativo, se ponen en juego la episteme, los conceptos, las representaciones y demás elementos de un campo disciplinar específico. Barbosa y Baptista (2018) manifiestan al respecto que en los contextos educativos los estudiantes se ven implicados en procesos semánticos y de comunicación que van desde la reproducción hasta la reinención de signos y significados como expresión del acto creativo. Además, señalan que

en el ámbito escolar y disciplinario, la creatividad del alumno cuando es necesario también depende de la forma de ver y pensar la ciencia, así como de su lenguaje. En el campo de la física, por ejemplo, la creatividad, cuando se expresa por el estudiante debe estar vinculada a los fundamentos de esta área de conocimiento. (Barbosa y Baptista, 2018, p. 55)

En la teoría sociocultural algunos conceptos cobran relevancia por su relación con el desarrollo de la creatividad; entre ellos destacan el andamiaje, la interacción social y los significados (Nurulsari y Suyatna, 2017; Halim et al., 2020; Isrokatun et al., 2021; Prahani et al., 2021; Sarnita et al., 2021). El andamiaje es una metáfora que hace referencia a los “andamios” de una construcción. En el contexto educativo se refiere a los elementos de naturaleza física y simbólica que los profesores proporcionan en el aula para que los estudiantes alcancen altos niveles de comprensión y adquieran habilidades que por sí solos no lograrían. Teniendo en cuenta lo anterior, Isrokatun et al. (2021) manifiestan que “la aplicación del andamiaje tiene varias ventajas para mejorar la creatividad de los alumnos, entre ellas fomentar su sentido de responsabilidad y desarrollar su pensamiento de alto nivel (p. 6). En este mismo orden de ideas, Nurulsari y Suyatna (2017), después de implementar una propuesta relacionada con fenómenos ópticos, ponen de relieve la necesidad de aplicar la estrategia del andamiaje debido a que podría mejorar el pensamiento creativo en física, ayudarle a los estudiantes que presentan dificultades en el aprendizaje de esta área y promover habilidades de pensamiento de orden superior. Otro de los conceptos que adquiere relevancia es el de interacción social, teniendo en cuenta que es a través de ella que el sujeto se apropia de los elementos de la cultura, los cuales pasan de un plano exterior (ambiente) a uno interior (intelectual). Respecto a su papel en el desarrollo de la creatividad, Halim et al. (2020) indican que la interacción social estimula la generación de nuevas ideas y mejora el desarrollo intelectual de los sujetos, que son insumos importantes para encontrar diferentes alternativas en el abordaje de situaciones de aprendizaje, ello favorece la activación de los conocimientos previos de los sujetos y la construcción de nuevos significados (Sarnita, 2021).

Además de la perspectiva sociocultural, la sistémica se posiciona como otra mirada que considera igualmente la necesidad de abordar la creatividad desde un marco más amplio que el psicológico. Uno de los principales representantes de esta perspectiva es Csikszentmihalyi, quien desarrolla un modelo sistémico de la creatividad con el que, según Pascale (2005), desafía la tendencia de estudiar este constructo teórico desde una perspectiva meramente intrapsíquica. En

este modelo la creatividad comienza a ser concebida como un constructo que presenta un atributo adaptativo en un sistema cultural constituido por: un dominio que hace referencia al conjunto de objetos, reglas, representaciones y notaciones de la cultura; un campo encargado de tomar las decisiones referentes a la validez de los objetos, actos o ideas creativas; y una persona que genera una nueva idea utilizando los signos, símbolos y significados de un dominio específico.

Respecto a la necesidad de trascender una mirada únicamente psicológica de la creatividad, De la Torre (2010) manifiesta en figura metafórica que “es preciso salir de los estrechos cauces psicométricos si queremos tener una visión oceánica de lo que representa la creatividad en el mundo actual” (p. 3). Steiner y Morán (2003) añaden que es precisamente esto lo que ha hecho que la investigación en creatividad sea de una larga historia pero que los avances teóricos y metodológicos sean pocos; el énfasis ha estado en los elementos estables y no en las relaciones dinámicas. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de tener en cuenta las perspectivas sociocultural y sistémica en el análisis de los actos creativos de los sujetos.

Los elementos previamente presentados dan cuenta de aspectos generales de la creatividad; no obstante, esta adquiere matices cuando se sitúa en un campo disciplinar específico y en ese orden de ideas, se puede decir que el desarrollo de la creatividad y sus particularidades están determinadas por las epistemologías subyacentes a los diferentes saberes y, por tanto, al acervo intelectual de los sujetos (Weisberg, 2006). Según Hadzigeorgiou (2012), esto hace por ejemplo que se realice una distinción entre creatividad artística y creatividad científica, que, si bien presentan múltiples relaciones, se pueden diferenciar por ejemplo en el hecho de que en la artística hay una predominancia emocional y en la científica una racional o conceptual. Además, este autor plantea que el quehacer científico da cuenta de un constante flujo creativo en la construcción del conocimiento:

La invención (...) de conceptos y teorías, la mayoría de las veces, requiere saltos imaginativos extraordinarios, pero también es cierto que incluso el trabajo científico cotidiano, como, por ejemplo, la búsqueda y resolución de problemas, la formación de hipótesis y la elaboración de modelos, requiere un pensamiento imaginativo/creativo. (p. 603)

Si bien en este trabajo se hace énfasis en la creatividad científica, se tienen en cuenta diferentes elementos en común que tiene con el arte a fin de establecer diálogos transdisciplinarios, un elemento característico de la educación STEAM.

Pese al reconocimiento de la importancia del desarrollo de la creatividad en ciencias, los estudiantes en la escuela aún se limitan y esfuerzan por reproducir fielmente los datos o definiciones del contenido científico, y no a resignificar a través de la imaginación, los signos y símbolos de la ciencia en función de construir marcos lingüísticos personalizados de interpretación. Específicamente en la enseñanza de la física, luego de analizar la creatividad científica desde una propuesta relacionada con las Leyes de Newton, Barbosa y Baptista (2018) manifiestan que la gran mayoría de los estudiantes no hicieron una reinención de los significados y, por tanto, permanecieron en un nivel de reproducción del contenido en lugar de crearlo y recrearlo.

Por lo anterior, es necesario que los contextos de educación científica se caractericen por tener un nivel de apertura en términos pedagógicos y didácticos, para que los estudiantes puedan desarrollar su potencial creativo en el marco de los campos conceptuales de la ciencia. Pulgar y Spina (2019) plantean en este sentido que, en el siglo XXI, en la enseñanza de la física se debe trascender la idea de aprendizaje como el dominio de un concepto y pasar a la posibilidad de que los estudiantes puedan pensar de manera creativa con este; de manera que el sujeto no solo sea capaz de imitar o reproducir conceptos y principios físicos, sino también de darles una nueva significación en contextos diversos.

Diferentes estudios han identificado una baja creatividad científica en los estudiantes (Nurulsari y Suyatna, 2017; Astutik y Prahani, 2018; Barbosa y Baptista, 2018). De igual manera, algunas pruebas internacionales estandarizadas como *Programme for International Student Assessment* (PISA) y *Trends in International Mathematics and Science Study* (TIMMS) dan cuenta de la baja capacidad de pensamiento creativo de los estudiantes en los últimos años (Nurulsari y Suyatna, 2017). Concretamente Barbosa y Baptista (2018), encontraron que la mayoría de los estudiantes permanecieron en un estado de inconsciencia en el que los fenómenos fueron analizados desde una perspectiva limitada al conocimiento espontáneo, lo que no permitía una resignificación de los conceptos de la física en contextos y situaciones diferentes a las planteadas por el profesor. En términos de Vygotsky (1987), los estudiantes plantearon sus explicaciones a partir de complejos, los cuales están relacionados con la conexión directa entre objetos concretos y fácticos, y no mediante entidades abstractas y lógicas como los conceptos. Las posibles causas

de la baja creatividad científica de los estudiantes pueden explicarse a partir de diferentes factores. Nurulsari y Suyatna (2017) se lo atribuyen a la falta de momentos y espacios en los que los estudiantes pueden plantear soluciones alternativas frente a los problemas que presenta el profesor. Barbosa y Baptista (2018) plantean que es debido al poco reconocimiento por parte de los profesores de la compleja estructura del conocimiento científico, que articula diferentes conceptos en un mismo fenómeno, a la insistencia en las definiciones declarativas y a la poca o escasa generación de Zonas de Desarrollo Próximo en el proceso de enseñanza. Por su parte Halim et al. (2020), Pulgar y Spina, (2019) y Astutik y Prahani (2018), se refieren a la falta de diseño de herramientas y estrategias para atraer el interés y favorecer la comprensión de los conceptos; además del énfasis por parte de los profesores en la memorización y en la búsqueda de respuestas correctas. También se hace referencia a las características a veces limitadas de los conocimientos y habilidades de los estudiantes y a las clases recurrentes a modo de cátedra (Sarnita, 2021), como factores que impiden el desarrollo de la creatividad científica de los estudiantes.

Las consideraciones anteriores ponen de manifiesto la necesidad de profundizar en lo que se entiende por creatividad científica y en la identificación de estrategias y herramientas pedagógicas para su desarrollo y fortalecimiento. De igual manera, adquieren especial interés las perspectivas sociocultural y sistémica en tanto confieren importancia a las características de los ambientes de aprendizaje que permiten la emergencia de actos creativos en los estudiantes, dado que el entorno desempeña un papel fundamental en los procesos de validación, apropiación y transformación de los conceptos por parte del sujeto. Es importante entonces apostar por enfoques educativos bajo los cuales los estudiantes tengan la oportunidad de abordar situaciones en las que se requiera de la apropiación y transformación de los signos y símbolos de áreas como la física; la educación STEAM se sitúa como una posibilidad para este propósito. Específicamente en este trabajo la propuesta de intervención diseñada y ejecutada giró en torno al concepto de ondas sonoras, dado que diversas investigaciones (Bravo, Pesa y Caballero, 2009; Pérez y Esper, 2005; Welti, 2002; Wittmann, et al., 2003), exponen los problemas de conceptualización que presentan los estudiantes en torno a este tema. Estos estudios resaltan la dificultad para comprender el mecanismo de propagación de la onda y el papel que desempeña el medio a través del cual se da dicha propagación. Puntualmente, Bravo et al. (2009) señalan que estos problemas están relacionados con “la ausencia en sus esquemas de los conceptos de propagación, medio de propagación y propiedades elásticas del medio” (p. 416).

Por otra parte, la pertinencia del enfoque STEAM en la educación científica, específicamente en la enseñanza de la física es actualmente objeto de discusión en la comunidad académica (Gross y Gross, 2016; Karabey et al. 2018; Andreotti y Frans, 2019; Domínguez et al., 2019; Sierra et al. 2019; Bustamante Y Balanzátegui, 2019; Jesionkowska et al. 2020; Amin et al. 2021; Rahmawati et al. 2021; Tan et al. 2021); teniendo en cuenta que la educación STEAM propone la integración de disciplinas como la ciencia y el arte que históricamente han sido concebidas como epistémicamente distantes. Esta concepción ha permeado profundamente los contextos educativos en los que la ciencia y el arte se presentan como áreas desarticuladas con visiones distintas del mundo. Jesionkowska et al. (2020) señalan en este sentido que en la escuela se están generando fronteras disciplinares artificiales que circunscriben en una sola dirección el desarrollo de habilidades y la construcción de conocimientos; ello conlleva a que los estudiantes no tengan la oportunidad de tener una visión más compleja y enriquecida de los fenómenos que los rodean.

Por su parte, Gross y Gross (2016) y Bertrand y Namukasa (2020) hacen explícitas algunas dificultades en la enseñanza de las ciencias relacionadas con la insatisfacción de los educadores por la poca motivación de los estudiantes y la incapacidad de estos para relacionar los conocimientos abordados en las clases con problemas reales. Según Gross y Gross (2016) esto puede deberse a la ineficacia de los métodos tradicionales de enseñanza y a que las experiencias cotidianas proporcionan pruebas que refuerzan aprendizajes basados en supuestos y no en fundamentos científicos. En esta medida, resulta oportuno adoptar el enfoque STEAM que, según Andreotti y Renaat (2019), favorece ambientes motivantes de aprendizaje y posibilita de tal manera la integración de diferentes campos, que la naturaleza de estos y sus relaciones se hacen más explícitas para los estudiantes en contextos de la vida real. Estos autores, luego de implementar una propuesta STEAM concluyen que esta

no integra los diferentes campos de manera que ya no se distingan, sino todo lo contrario: hace más explícita la naturaleza de esos campos y los conecta a través de un contexto relevante y más amplio (...). Esto tiene el potencial de beneficiar la comprensión y la motivación de los estudiantes por la física, ya que ven cómo funciona y cómo se relaciona con otras disciplinas en contextos reales. (p. 6)

Los estudiantes consideran que el nivel de abstracción de los conceptos físicos hace que sean difíciles de comprender y por tanto de utilizar en el marco de la resolución de un problema real (Bustamante y Balanzátegui, 2019; Sierra et al., 2019; Tan et al., 2020; Amin et al., 2021). Al respecto, Anderman et al. (2012) afirman que, al no disponerse de métodos u orientaciones claras para la enseñanza de la física, los conceptos abstractos de la ciencia dificultan los procesos de aprendizaje de esta, no obstante, la educación STEAM parece ofrecer una alternativa. Por ejemplo, Tan et al. (2020) luego de implementar una propuesta en la que los estudiantes debían diseñar videojuegos e historias animadas relacionadas con la electricidad haciendo uso del programa Scratch, encontraron que a medida que los estudiantes observaban, inspeccionaban, reflexionaban, jugaban y visualizaban, le daban sentido a conceptos abstractos como circuito, resistencia, voltaje y corriente eléctrica, adquiriendo de esa manera una comprensión profunda de la electricidad a través de esta herramienta digital y desarrollando su pensamiento crítico.

A manera de conclusión, Tan et al., (2021) advierten que se conoce relativamente poco sobre el enfoque integrado STEAM y sus posibilidades para la enseñanza de diversos temas científicos. Lo anterior pone de manifiesto la importancia de generar ambientes contextualizados de aprendizaje, a partir de los cuales los estudiantes tengan la oportunidad de hacer explícitas sus concepciones relacionadas con temas de física, a fin de enriquecerlas a través de propuestas de enseñanza que favorezcan un aprendizaje significativo. Por su parte, Gross y Gross (2016) resaltan la necesidad de indagar por la pertinencia de la educación STEAM en la enseñanza de la física, específicamente por las formas en que podría favorecer la comprensión de los conceptos, el desarrollo de habilidades para las aplicaciones de la física en el mundo real y la estimulación tanto desde el punto de vista cognitivo como afectivo.

Son crecientes los estudios que abordan la viabilidad del enfoque STEAM en la educación científica, artística y tecnológica y en el desarrollo de habilidades del siglo XXI como la creatividad. Además, la comunidad académica abre una agenda investigativa al sugerir orientar los esfuerzos en torno a la incorporación de las artes en la educación científica (Conradty y Bogner, 2019; Alexopoulos et al., 2021); el abordaje del desarrollo de la creatividad desde metodologías cualitativas que permitan llevar a cabo estudios contextualizados y a profundidad mediados por el análisis y la interpretación de las formas en que los sujetos significan, transforman y le dan sentido a su realidad (Alexopoulos et al., 2021); la caracterización de los contextos socioculturales que favorecen la emergencia de la creatividad (Conradty y Bogner, 2019); el abordaje de diferentes

conceptos de física desde la educación STEAM que permitan dar cuenta de la pertinencia de este enfoque educativo (Karabey et al., 2018); y el análisis de la manera en la que las tecnologías, desde el enfoque STEAM, pueden contribuir a la construcción de significados y al establecimiento de conexiones entre conceptos del área de la física (Tan et al. 2021).

En el imaginario colectivo se concibe la educación STEAM como una perspectiva educativa que favorece el aprendizaje, el desarrollo de la creatividad y otras necesarias para afrontar los desafíos del siglo XXI. Sin embargo, hace falta evidencia empírica que apoye esta noción (Perignat y Buonincontro, 2019; Aguilera y Ortiz, 2021; Tran et al., 2021b). Específicamente, Perignat y Buonincontro (2019) indican que la mayoría de las investigaciones que

discuten el propósito de STEAM como una forma de mejorar la creatividad, la resolución de problemas, y desarrollar nuevas perspectivas y puntos de vista, los resultados de aprendizaje reportados rara vez incluyen estas habilidades. Además, los pocos artículos que mencionan la creatividad como un resultado directo del aprendizaje, no proporcionan mediciones, evaluaciones u otras pruebas del desarrollo de la creatividad u otras habilidades de pensamiento de los estudiantes. (p. 40)

Los autores concluyen que la pertinencia del aprendizaje en la educación STEAM se pone en duda por falta de evidencia empírica, esto hace que se perpetúe la confusión sobre los métodos adecuados para implementar programas STEAM de calidad que favorezcan el desarrollo de la creatividad (Perignat y Buonincontro, 2019). Lo anterior sugiere, que es importante desarrollar mayor investigación en este campo para comprender las implicaciones de STEAM en la práctica, de manera que pueda evolucionar como una pedagogía eficaz con su propio marco de referencia.

En virtud de lo anterior, se pretende responder a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se desarrollan los procesos de creatividad científica en el aprendizaje de las ondas sonoras a partir de una propuesta de enseñanza en el marco de la educación STEAM?

La investigación se llevó a cabo en el Colegio Gimnasio Cantabria; una institución de carácter privado y de enseñanza temprana, en la que los estudiantes desde etapas iniciales (dos años) se encuentran inmersos en ambientes de aprendizaje que estimulan el desarrollo de habilidades científicas, lógico-matemáticas, lecto-escritoras, motrices y artísticas. Las directivas del colegio manifiestan tener un marcado interés por gestionar escenarios de aprendizaje para el

desarrollo de competencias que les permitan a los estudiantes hacer frente a las cambiantes dinámicas culturales del siglo XXI. Pese a ello, al revisar el Proyecto Educativo Institucional, no es claro el enfoque pedagógico y didáctico con el que se cuenta y es difusa la manera en que se gestiona a lo largo del ciclo escolar. En básica secundaria y media, se identifican algunas iniciativas por parte del profesorado para la generación de propuestas que articulen diferentes disciplinas; sin embargo, al no tener un modelo pedagógico definido, muchas de estas iniciativas quedan como actividades ocasionales y aisladas.

Se observó que aún en condiciones favorables a nivel tecnológico y de infraestructura, el Colegio Gimnasio Cantabria requiere trabajar en la construcción de un marco pedagógico que favorezca el desarrollo de habilidades como la creatividad, el trabajo colaborativo, la comunicación y el pensamiento crítico. En este mismo sentido, es necesario que dicho marco pedagógico permita una enseñanza transdisciplinar en la que los diferentes saberes estén articulados de tal manera que, desde un enfoque holístico de comprensión, se vea favorecido el aprendizaje de fenómenos científicos de distinta índole; específicamente aquellos relacionados con la física. Ante esto algunos estudiantes han generado cierta resistencia hacia el área, al parecer por el nivel elevado de abstracción de los contenidos, la complejidad del lenguaje y por su poca aplicabilidad en contextos reales. Esto ha traído como consecuencia que la motivación para el aprendizaje de esta área en ocasiones sea baja y que en pruebas nacionales estandarizadas obtengan puntuaciones poco alentadoras.

Teniendo en cuenta las características y necesidades del contexto educativo, el enfoque STEAM se tornó como una posibilidad para que la institución avance en la consolidación de un modelo pedagógico y gestione ambientes de aprendizaje que posibiliten a los estudiantes adaptarse a la complejidad de las dinámicas de una sociedad caracterizada por el uso masivo y colectivo de la tecnología, acelerados desarrollos científicos e ineluctables cambios culturales.

2. Objetivos de investigación

2.1 General

Analizar el desarrollo de la creatividad científica en el aprendizaje de las ondas sonoras desde una perspectiva sociocultural y sistémica a partir de una propuesta de enseñanza enmarcada en la educación STEAM.

2.2 Específicos

- Describir el proceso de internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa.
- Identificar el papel de la interacción social y de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica de los participantes.
- Evaluar los artefactos construidos por los participantes en la propuesta STEAM a partir del marco transcultural de la creatividad.
- Establecer articulaciones teóricas entre las perspectivas sociocultural y sistémica de la creatividad que deriven en un modelo teórico para la promoción y el estudio de esta.
- Valorar la pertinencia del enfoque STEAM en el desarrollo de la creatividad científica y el aprendizaje de la física.

3. Aproximaciones teóricas

En este apartado se presenta la revisión de literatura llevada a cabo para identificar el estado actual de la cuestión. Asimismo, se exponen los referentes teóricos sobre los cuales se sustenta este trabajo, resaltando sus principales características y pertinencia en términos de los objetivos previamente expuestos.

3.1 Revisión de literatura

Para esta revisión de literatura se tuvieron en cuenta aspectos metodológicos de la investigación documental (Hoyos, 2000), a través de la cual se pretende construir sentido a partir del diagnóstico y análisis del material documental encontrado, con el fin de conocer el estado actual del conocimiento en un campo específico de saber. Para ello, se establecen núcleos temáticos relacionados con los subtemas que delimitan el campo que se está estudiando.

En el presente estudio, dichos núcleos hacen referencia a: *la creatividad en la educación STEAM, la enseñanza de la física en la educación STEAM, y la creatividad en ciencias desde la perspectiva sociocultural*. Además, para la sistematización de la información se establecieron factores de análisis e indicadores. Los primeros, según Hoyos (2000), tienen que ver con “aspectos que destacan elementos de relevancia a señalar o a distinguir en una unidad de análisis” (p. 62), y los segundos, son aquellos ítems en los cuales se pueden desglosar los factores. En la presente investigación los factores considerados fueron: para el primer núcleo temático los aspectos bibliométricos, contextuales, teóricos y metodológicos; para el segundo los aspectos contextuales, metodológicos y campos conceptuales de la física abordados; y para el tercero las perspectivas teóricas de la creatividad, el enfoque metodológico y los aspectos teóricos de la creatividad desde el marco sociocultural.

La búsqueda de la información se realizó en las bases de datos SCOPUS, WEB OF SCIENCE, SCIENCE DIRECT y ERIC en un rango temporal de 13 años, entre 2010 y 2023, utilizando las siguientes combinaciones de palabras clave con su respectiva traducción al inglés y portugués: STEAM AND Enseñanza de la Física; STEAM AND Creatividad Científica OR Pensamiento Creativo; Teoría Sociocultural AND Física AND Creatividad OR Pensamiento Creativo. Se seleccionaron como unidades de análisis solo aquellos documentos que cumplieran con los siguientes criterios: presentar las características de un artículo de investigación, contemplar

los núcleos temáticos previamente definidos, situarse en el campo de la investigación educativa y estar en el rango temporal de búsqueda establecido. Inicialmente la búsqueda arrojó 849 resultados; no obstante, luego de aplicar los criterios de inclusión previamente mencionados, se seleccionaron 74 unidades de análisis que fueron identificadas y contabilizadas por núcleos temáticos de la siguiente manera: *La creatividad en la educación STEAM* (43), *La enseñanza de la física en la educación STEAM* (18) y *la creatividad en ciencias desde la perspectiva sociocultural* (13).

También fueron de interés en la revisión los países en los que se llevaron a cabo las investigaciones relacionadas con cada uno de los núcleos temáticos. Los que más registran investigaciones en los campos temáticos en cuestión son Indonesia y Estados Unidos. Probablemente por las disposiciones gubernamentales que, en términos educativos, se han establecido principalmente en Norteamérica en donde se propone el enfoque STEM y en el continente asiático en el que se incluyen las artes y se amplía a STEAM. Ambos enfoques con una clara apuesta por brindarle a los sujetos herramientas de distinta índole para adaptarse a las dinámicas culturales del siglo XXI.

De igual manera se identificaron las revistas que han priorizado en sus publicaciones los temas de los núcleos temáticos; las más relevantes, según el número de unidades de análisis encontradas fueron *Journal of Physics* (9); *Education Sciences* (4); *Frontiers In: Education and Psychology* (4); *Thinking Skills and Creativity* (4); *International Journal of Technology and Design Education* (3); *Sustainability* (3); *Creativity Research Journal* (2); *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* (2); *Physics Education* (2) y *Smart Learning Environments* (2).

A continuación, se presentan los principales resultados de la revisión de literatura, teniendo en cuenta los ejes temáticos en los cuales se estructura y fundamenta este trabajo.

3.1.1 *La creatividad en la educación STEAM*

Es creciente el número de investigaciones que valoran la educación STEAM como un enfoque con gran potencial para generar ambientes de aprendizaje que favorezcan el desarrollo de la creatividad de los estudiantes (Engelman et al., 2017; Lou et al., 2017; McKlin et al., 2018; Wandari et al., 2018; Conradty y Bogner, 2018, 2019, 2020; Fernández y Romero, 2020, 2023; Wannapiroon y Petsangsri, 2020; Conradty et al., 2020; Aguilera y Ortiz, 2021; Alexopoulos et al., 2021; Leroy y Romero., 2021; Rahmawati et al., 2021; Tran et al., 2021a, 2021b; Wilson et al., 2021; Cheng et al., 2022).

En relación con los aspectos que potencian la creatividad científica en el marco de la educación STEAM, juegan un papel importante la orientación, el apoyo de los profesores y el trabajo colaborativo entre pares en términos del intercambio de ideas y la comunicación para un aprendizaje más profundo (Cheng et al., 2022); la autoeficacia en experiencias anteriores (Conradty y Bogner, 2020); la capacidad del maestro para plantear situaciones cercanas a la cotidianidad de los estudiantes (Tran et al., 2021a); la naturaleza del plan de estudios STEAM, la actitud de los estudiantes y su nivel de apropiación de los elementos culturales (Tran et al., 2021b).

Respecto a las dificultades encontradas para el desarrollo de algunos componentes de la creatividad científica, Tran et al. (2021b) plantean que “el plan de estudios basado en STEAM tiene un gran impacto en la fluidez y la flexibilidad, pero no cambia significativamente el componente de originalidad” (p. 6); explican que el bagaje cultural en términos de la apropiación conceptual de los estudiantes desempeña un papel fundamental en la autenticidad del acto creativo. Lo anterior da cuenta de las relaciones que pueden establecerse entre la creatividad y el aprendizaje, al considerar que este último podría tener mayor dependencia de la creatividad que del mismo rendimiento académico (Cheng et al., 2022). Por esta razón, Conradty et al. (2020) indican que es necesario fomentar una cultura de aprendizaje abierta y estimulante a través de la incubación y manipulación de ideas, las imágenes, el pensamiento analógico y la imaginación. Por lo anterior para este núcleo fueron de interés los aspectos teóricos y metodológicos abordados y desarrollados en las diferentes investigaciones.

3.1.1.1 Aspectos Bibliométricos

A continuación, se presenta el número correspondiente a las investigaciones desarrolladas por país (Figura 1) y la variación del número de publicaciones en función del intervalo de tiempo definido (Figura 2).

Figura 1

Número de investigaciones y países en los cuales se desarrollaron



Es importante mencionar que la implementación de algunas investigaciones se llevó a cabo de manera simultánea en varios países, este es el caso de Alemania y Países Bajos; Australia, Estados Unidos, Canadá y Singapur; Estados Unidos y China y Australia y Corea.

Figura 2

Publicaciones en el área en la escala temporal establecida



Pese a que el rango de búsqueda establecido abarcaba una escala temporal de 13 años, entre 2010 y 2014 no se identificaron unidades de análisis; es solo a partir del 2015 en que se evidencia una proliferación significativa de estudios que articulan STEAM y creatividad.

3.1.1.2 Aspectos Teóricos

La concepción de creatividad es variada; no obstante, puede agruparse en dos o más categorías; como puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1

Definiciones de la creatividad

Definición de creatividad	Autores
La creatividad como actividad que da lugar a algo novedoso y original	Zaqiah et al. (2024), Lage y Ros (2023), Chang et al. (2022, 2023), Tran et al. (2021b), Sanabria y Arámburo (2017), Wandari et al. (2018), Casado y Checa (2020), Leroy y Romero (2021), Lu et al. (2022b), Weng et al. (2022), Oner et al. (2016), Fernández et al. (2022), Hsiao et al. (2022), Erol et al. (2022), Park et al. (2021), Shen et al. (2021), Timotheou y Loannou (2021), Ozkan y Umdu (2021), Saorín et al. (2017).
La creatividad como manera inédita y eficaz de resolver problemas	Casado y Checa (2023), Conradty y Bogner (2018, 2019, 2020), Tran et al. (2021a), Tran et al. (2021b), Alexopoulos et al. (2021), Casado y Checa (2020), Conradty et al. (2020), Lu et al. (2022b), Weng et al. (2022), Oner et al. (2016), Gallagher y Grimm (2018), Timotheou y Loannou (2021), Ozkan y Umdu (2021), Pifarre (2019), Saorín et al. (2017).
La creatividad como construcción social y colectiva	Guyotte et al. (2015), Lee et al. (2016), Harris y De Bruin (2017), Pifarre (2019), Kim et al. (2023), Lage y Ros (2024).
La creatividad como proceso	York et al. (2022), Timotheou y Loannou (2021).
Capacidad de pensar con fluidez	Wannapiroon y Petsangsri (2020), Wilson et al. (2021)

El 55.5% de los estudios considera la creatividad como una actividad que da lugar a la creación de algo de naturaleza material, como un objeto; o inmaterial, como una idea, pero que en cualquier caso es novedoso y original. Asimismo, un número significativo de estudios (46%), concibe la creatividad como una manera inédita y eficaz de resolver problemas actuales y específicos del mundo real. Algunos trabajos (Conradty y Bogner, 2019; Tran et al., 2021b; Weng

et al., 2022; Oner et al., 2016; Timotheou y Loannou, 2021; Ozkan y Umdu, 2021; Saorín et al., 2017), coinciden en ambas definiciones; como es el caso de Weng et al. (2022), quienes explícitamente toman de Saorín et al. (2017), una definición que sintetiza estas dos primeras categorías, refiriéndose a la creatividad como producción de cosas nuevas y valiosas y la capacidad de proponer diferentes soluciones a un problema.

En menor proporción, la creatividad es concebida como una construcción social y colectiva, visión en la que coinciden cuatro de los estudios (10.2%), donde se asume la colaboración como un factor necesario y de apoyo a la creatividad. Del mismo modo, se hace referencia a la creatividad como proceso (5.1%); y aquí es importante mencionar que autores como Timotheou y Loannou (2021), sitúan la creatividad en tres de las categorías propuestas, refiriéndose a ella como un proceso y/o un producto que generalmente está vinculado a soluciones útiles a problemas. Finalmente, se hace referencia a la creatividad como capacidad de pensar con fluidez (5.1%), que se acompaña de otras habilidades como la flexibilidad, originalidad y elaboración. En nueve de los trabajos (22%) no se aporta una concepción explícita sobre la creatividad (Thuneberg et al., 2018; Hunter-Doniger, 2021; ElSayary et al., 2022; Salmi et al., 2021; Mierdel y Bogner, 2020; Chien y Chu, 2018; Zhan et al., 2022; Lu et al., 2022a; Lage y Ros, 2023).

En el intento de encontrar una definición para comprender la creatividad, autores que han abordado ampliamente este tema son citados en los diferentes trabajos. Entre ellos sobresalen Guilford (1950), Torrance (1962), Csikszentmihalyi (1999) y Sternberg (2009), seguidos de Sternberg y Lubart (1993), Baughman y Mumford (1995), Lubart (1999) y Kaufman y Beghetto (2009).

Análogamente a la creatividad, STEAM cuenta con múltiples definiciones. No obstante, la revisión de literatura permite identificar cierto consenso, pues en el 53% de las investigaciones se considera STEAM como un enfoque educativo interdisciplinario que favorece el desarrollo de habilidades como la creatividad (Chang et al., 2022, 2023; Casado y Checa., 2020, 2023; Wannapiroon y Petsangsri, 2020; Leroy y Romero, 2021; Wilson et al., 2021; Zhan et al., 2022; Lu et al., 2022a, 2022b; York, 2022; Weng et al., 2022; Harris y De Bruin, 2017; Thuneberg et al., 2018; Fernández et al., 2022; Hsiao et al., 2022; Hunter-Doniger, 2021; Erol et al., 2022; ElSayary et al., 2022; Shen et al., 2021; Timotheou y Loannou, 2021; Ozkan y Umdu, 2021; Pifarre, 2019), donde la inclusión del Arte contempla distintas competencias que mejoran la motivación de los

alumnos, aumentan su interés por las ciencias, desarrollan su pensamiento crítico y favorecen los procesos de innovación (Conradty et al., 2020).

3.1.1.3 Aspectos Metodológicos

En cuanto al paradigma de investigación adoptado por los diferentes trabajos, se encontró que la mayor parte de los estudios (63%) son cuantitativos, los cuales, por su naturaleza, tienden a generalizar y a utilizar un mismo instrumento para medir una variable (en este caso la creatividad) en diferentes sujetos. Solo nueve estudios (21%) fueron cualitativos; predominando métodos como estudio de caso, investigación basada en diseño, teoría fundamentada e investigación biográfico-narrativa. Además, seis de las investigaciones (17.3%) se posicionaron desde un enfoque mixto.

En relación con el contexto de implementación, surgen de propuestas desarrolladas en su mayoría en educación secundaria (46.3%) y básica primaria (29.3%). Con menor frecuencia se identificaron estudios en contextos de educación superior (14.6%), programas de ingeniería, artes y diseño y en otros contextos (7.3%) como campamentos Maker, ferias STEAM.

También fueron identificadas las principales estrategias o enfoques pedagógico-didácticos utilizados en el marco de la educación STEAM, los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Estrategias o enfoques pedagógico-didácticos

Estrategias didácticas	n	Autores
Aprendizaje Basado en Proyectos	11	Chang et al. (2023); Cheng et al. (2022); Tran et al. (2021b); Zhan et al. (2022); Lu et al. (2022a); Lu et al. (2022b); Oner et al. (2016); Fernández et al. (2022); Hsiao et al. (2022); Park et al. (2021); Salmi et al. (2021)
Aprendizaje Basado en Indagación (Inquiry-based learning)	7	Conradty y Bogner (2019); Conradty y Bogner (2020); Alexopoulos et al. (2021); Wilson et al. (2021); Conradty et al. (2020); Thuneberg et al. (2018); Mierdel y Bogner (2020)
Aprendizaje Basado en Diseño (Design Thinking)	3	Tran et al. (2021a); York et al. (2022); Erol et al. (2022)
Aprendizaje basado en el juego (Game-based learning)	3	Wannapiroon y Petsangsri (2020); Gallagher y Grimm (2018); Hunter-Doniger (2021)
Aprendizaje Basado en Problemas	3	Conradty y Bogner (2018); Leroy y Romero (2021); Weng et al. (2022)
Modelos de instrucción basados en STEAM	5	Wandari et al. (2018); Timotheou y Loannou (2021); Ozkan y Umdu (2021); Casado y Checa (2023); Lage y Ros (2023)
Impresión 3D	2	Chien y Chu (2018); Saorín et al. (2017)
Aprendizaje basado en retos	1	Guyotte et al. (2015)
Educación autodirigida	1	Hong, Jung y Lee (2016)

Gradual Immersion Method (GIM)	1	Sanabria y Arámburo (2017)
Robótica Educativa	1	Casado y Checa (2020)
Pedagogía dialógica	1	Pifarre (2019)
No específica	4	Lee et al. (2016); Harris y De Bruin (2017); ElSayary et al. (2022); Shen et al. (2021)

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPy) y el Aprendizaje por Indagación cobran especial relevancia en el marco de la educación STEAM. Según Cheng et al. (2022), el ABPy permite que los profesores animen a los estudiantes a expresarse más y usar su pensamiento divergente en el marco del desarrollo de proyectos. Conradty y Bogner (2019) por su parte, consideran que el Aprendizaje por Indagación plantea escenarios en los que los estudiantes tienen la oportunidad de imaginar, explorar, experimentar, manipular, arriesgarse, especular y cometer errores; elementos fundamentales en el desarrollo de la creatividad y característicos de la educación STEAM. Finalmente, en la Tabla 3 se describen las estrategias e instrumentos utilizados en las investigaciones para evaluar la creatividad.

Tabla 3

Estrategias e instrumentos utilizados para evaluar la creatividad

Estrategia o instrumento	n	Autores
The CPAC questionnaire (Cognitive Processes Associated with Creativity)	8	Conradty y Bogner (2020); Alexopoulos et al. (2021); Salmi et al. (2021); Thuneberg et al. (2018); Conradty y Bogner (2018); Conradty y Bogner (2019); Mierdel y Bogner (2020); Conradty et al. (2020)
Entrevistas cualitativas	3	York et al. (2022); Oner et al. (2016); ElSayary et al. (2022); Casado y Checa (2023)
Creative Product Semantic Scale (CPSS)	2	Wandari et al. (2018); Chien y Chu (2018)
TTCT (Torrance Tests of Creative Thinking)	2	Ozkan y Umdu (2021); Lu et al. (2022a); Chang et al. (2023)
Abreaction Test of Creativity	1	Saorín et al. (2017)
Scientific Creativity test	1	Tran et al. (2021a)
Creative Thinking Skill	1	Wannapiroon y Petsangsri (2020)
Creative thinking test (CTT). Williams creativity aptitude test (WCAT)	1	Zhan et al. (2022)
Creativity Assessment Packet	1	Lu et al. (2022b)
Cuestionario ad hoc	1	Fernández et al. (2022); Lage y Ros (2023)
Alternative Uses Test (AUT)	1	Leroy y Romero (2021)
Early childhood creativity scale (ECCS)	1	Erol et al. (2022)

Marco cuatridimensional de la creatividad	1	Weng et al. (2022)
Encuesta abierta	1	Wilson et al. (2021)
Encuesta para la medición de la creatividad	1	Harris y De Bruin (2017)
Escala de creatividad de Eugene que fue compilada por Princeton Innovation Talent Research Company	1	Shen et al. (2021)
Escala de Diagnóstico de Solución Creativa (CSDS)	1	Timotheou y Loannou (2021)
Modelo CAP (Creatividad, autonomía y juego)	1	Hunter-Doniger (2021)
GIM (Gradual Immersion Model)	1	Sanabria y Arámburo (2017)
Escala de creatividad tipo Likert	1	Lee et al. (2016)
Prueba de usos alternativos de Guilford para medir el pensamiento divergente y prueba de asociados remotos para medir el pensamiento convergente	1	Gallagher y Grimm (2018)
Scientific creativity test	1	Tran et al. (2021b)
Análisis visual-verbal, a través de narrativas de los estudiantes	1	Guyotte et al. (2015)
Modelo de creatividad de Sawyer	1	Pifarre (2019)
Medida de investigación y razonamiento científico	1	Park et al. (2021)
Enfoque multimétodo: prueba de pensamiento divergente, Técnica de Evaluación de Consenso (CAT), medida de autoeficacia creativa (CSE)	1	Cheng et al. (2022)
TestCrea	1	Casado y Checa (2020)
Creative product analysis matrix (CPAM)	1	Hsiao et al. (2022)

Como se observa en la Tabla 3, la mayoría de los estudios (73.1%) hacen explícito el uso de test/cuestionarios; siendo el Cognitive Processes Associated with Creativity (CPAC), desarrollado por Miller y Dumford (2016), el más implementado (20.5%). De acuerdo con Alexopoulos et al. (2021), quien retoma los planteamientos de Csikszentmihalyi (2010), la evaluación de la capacidad creativa depende de factores que se ven influenciados tanto por el contexto de aprendizaje como por el intelecto y las emociones de los sujetos; por lo tanto, el CPAC propone dos factores denominados ACT y FLOW, que pueden considerarse adecuados para medir el potencial creativo de los estudiantes. Asimismo, se encontró que, en la mayoría de los cuestionarios aplicados, adaptados del CPAC y el TTCT en educación primaria y secundaria, se valoran factores similares como la flexibilidad, la originalidad y la fluidez; mientras que en

educación superior se contemplaron otras características como en el caso del CPAM; en el que se valora la novedad, que hace hincapié en el uso de materiales, procesos, conceptos y métodos novedosos en la producción de productos, la resolución, que se refiere a la calidad, viabilidad y funcionalidad de los productos y la elaboración y síntesis, que enfatiza el nivel de detalle y la actividad práctica de los productos (Hsiao et al., 2022).

Respecto a las estrategias para valorar la creatividad, se identificaron tres (7.6%) modelos propuestos por los autores, en los que se valoró la creatividad de los estudiantes a partir de la resolución de problemas o el diseño de artefactos mediados por el uso de tecnologías, como es el caso del modelo CAP (Creatividad, autonomía y juego) (Hunter-Doniger, 2021), el GIM (Gradual Immersion Model) (Sanabria y Arámburo, 2017) y el modelo de creatividad de Sawyer (Pifarre, 2019). En esta misma línea, teniendo en cuenta que la creatividad está condicionada por el campo de conocimiento, tres (7.6%) de los trabajos revisados (Tran et al., 2021a, 2021b; Park et al., 2021), miden específicamente la creatividad científica. Vale la pena resaltar que, igualmente, en solo tres (7.6%) de los trabajos se utilizó un instrumento de naturaleza cualitativa.

Después de revisar las diferentes perspectivas teóricas que permiten definir la creatividad, coincidimos con Timotheou y Loannou (2021), quienes afirman que la creatividad es un concepto de naturaleza compleja y multifacética. Sin embargo, en la convergencia de diferentes perspectivas puede entenderse como una actividad productiva que da lugar a la creación de algo novedoso y original, lo que podría ser la creación de la solución a un problema del mundo real (Huang et al., 2017).

Al hacer referencia a la perspectiva STEAM desde la concepción que se tiene de ella en los estudios revisados, es indiscutible el papel fundamental del arte, que da lugar al desarrollo de habilidades, principalmente, la creatividad. En este sentido, es posible dar cuenta del creciente número de investigaciones que valoran la educación STEAM como un enfoque con gran potencial para generar ambientes de aprendizaje que favorezcan el desarrollo de la creatividad de los estudiantes (Engelman et al., 2017; McKlin et al., 2018; Wandari et al., 2018; Conradty y Bogner, 2018, 2019, 2020; Casado y Checa, 2020; Wannapiroon y Petsangsri, 2020; Conradty et al., 2020; Alexopoulos et al., 2021; Leroy y Romero., 2021; Rahmawati et al., 2021; Tran et al., 2021a, 2021b; Wilson et al., 2021; Cheng et al., 2022; Lu et al., 2022a, 2022b; York et al., 2022; Chang et al., 2023).

Un elemento que vale la pena resaltar es el papel del construccionismo de Papert (1980), como fundamento teórico de la educación STEAM; concepción defendida por algunos de los estudios revisados (Casado y Checa, 2020, 2023; Timotheou y Loannou, 2021). Desde esta perspectiva el aprendizaje se concibe como un proceso continuo y variable que ocurre cuando una persona interactúa dinámicamente con su entorno físico, social y cultural y, mediante procesos de investigación y diseño, se implica en la construcción de objetos que permiten resolver un problema (Zamorano et al., 2018). Se considera un referente importante en miras a generar consenso en torno a los objetivos de la educación STEAM y los principales elementos que la constituyen.

En relación con los asuntos metodológicos, se pone de manifiesto la necesidad de realizar más estudios de tipo cualitativo, de manera que se pueda estudiar a profundidad el desarrollo de la creatividad desde la particularidad; asimismo, es preciso ampliar el contexto de implementación a diversos programas de formación en educación superior, de tal manera que sea posible identificar el papel de las diferentes disciplinas en el desarrollo de la creatividad; no solo en programas de arte, diseño e ingeniería, sino también en programas de formación de profesores de áreas afines a las disciplinas STEAM, por su interés en el desarrollo de estrategias enmarcadas en este enfoque. Tanto el ABPy como el Aprendizaje por Indagación comparten características como la importancia de las disciplinas, el trabajo colaborativo y el énfasis en problemas específicos de conocimiento. Estos enfoques están ganando relevancia en la comunidad académica y forman parte de distintos contextos educativos. Además, el Aprendizaje Basado en Problemas y en Diseño también destacan en la educación STEAM por su potencial para establecer conexiones interdisciplinarias.

Respecto a los instrumentos diseñados para evaluar la creatividad, se proponen diversas teorías para explorar la naturaleza y factores que contribuyen a la creatividad a través de enfoques de carácter psicométrico, cognitivo, de desarrollo y sociales. La mayoría de los autores adoptaron enfoques en los que la creatividad se ve como una capacidad que es influenciada por múltiples factores como la flexibilidad, originalidad y fluidez (Gallagher y Grimm, 2018; Leroy y Romero, 2021; Lu et al., 2022b; Alexopoulos et al., 2021; Salmi et al., 2021; Thuneberg et al., 2018; Conradty y Bogner, 2018, 2019, 2020; Mierdel y Bogner, 2020; Conradty et al., 2020), argumentando que dichos factores permiten dar cuenta de las capacidades de una persona para pensar de manera flexible y abierta, generar ideas únicas y novedosas, y producir un gran número de ideas.

En relación con la forma de evaluar la creatividad, en la mayoría de los trabajos se encontró que esta es valorada como una capacidad, competencia o habilidad intrapsíquica; es decir, desde una perspectiva psicológica. Por lo anterior, es necesario transitar hacia enfoques socioculturales como el planteado por Steiner y Moran (2003), en el que la creatividad se entiende como un fenómeno localizado y los actos creativos son valorados a partir de procesos de internalización en los que los sujetos se apropian y transforman los significados de la cultura, en ellos la interacción social y la manipulación de materiales desempeñan un papel fundamental. Otra opción para el estudio de la creatividad es el modelo sistémico como el planteado por Csikszentmihalyi y Wolfe (2014) que permite entender la creatividad como un fenómeno complejo en el que interactúan tres componentes: el dominio, el ámbito/campo y la persona.

Lo anterior requiere explorar metodologías cualitativas y mixtas que permitan una comprensión holística y a profundidad del desarrollo de la creatividad en el marco de la educación STEAM, en el cual la interacción dinámica con el mundo físico, social y cultural es fundamental en el proceso de aprendizaje de los sujetos (Zamorano et al., 2018).

3.1.2 *La enseñanza de la física en la educación STEAM*

La educación STEAM trae consigo el sueño de pensadores progresistas como Dewey y Freire quienes consideraban que el estudiante debía estar en el centro del proceso educativo, lo cual es una de las principales pretensiones de este enfoque educativo (Gross y Gross, 2016). Desde esta perspectiva, la educación científica se desarrolla en el marco de la resolución de problemas mediante centros de redes integradas en los que la información es ponderada, explorada y moldeada a nuevas formas de ver y ser a través del trabajo colaborativo y la creatividad. La naturaleza de los problemas a los que se enfrentan los estudiantes desde STEAM suelen ser bastante cercanos a su cotidianidad, de manera que puedan aplicar los conceptos desde una perspectiva interdisciplinar en el marco de estas situaciones contextualizadas (Domínguez et al., 2019; Karabey et al., 2018).

La educación STEAM posibilita espacios de aprendizaje impulsados por procesos de experimentación que promueven la ruptura entre disciplinas, generando múltiples posibilidades educativas en la encrucijada entre la ciencia, el arte y la tecnología (Domínguez et al., 2019), preparando los estudiantes de esa manera para enfrentar los retos que trae consigo el siglo XXI en el que las habilidades asociadas a las disciplinas STEAM cobran cada vez más importancia en el contexto de la cuarta revolución industrial, donde los mundos digital, biológico y físico se fusionan

y son alterados continuamente por la generación de tecnologías disruptivas (Jesionkowska et al., 2020).

Los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física adquieren mayor relevancia cuando los estudiantes pueden aplicar los conocimientos adquiridos en contextos reales, los cuales pueden ser proporcionados por estrategias de enseñanza en el marco de la educación STEAM (Gross y Gross, 2016; Corbi y Burgos, 2017; Ozkan y Topsakal, 2017; Karabey et al., 2018; Andreotti y Frans, 2019; Bustamante Y Balanzátegui, 2019; Domínguez et al., 2019; Sierra et al., 2019; Bassachs, 2020; Jesionkowska et al., 2020; Torrecilla y Ligorred, 2020; Tan, 2020, 2021; Amin et al., 2021; Boyle, 2021; Rahmawati et al., 2021). En la Tabla 4 se presentan las estrategias identificadas en la búsqueda, así como el concepto, tema o fenómeno abordado y la población con la cual se llevó a cabo la intervención.

Tabla 4

Estrategia, población y concepto/tema/fenómeno abordado

Población	Concepto/tema/fenómeno	Estrategias Didácticas	Autores
Estudiantes entre 14 y 18 años (no especifica nivel educativo)	Sonido	iMuSciCA STEAM pedagogy	Andreotti y Frans (2019)
Estudiantes Primaria	Circuitos eléctricos	Aprendizaje Basado en Diseño	Gross y Gross (2016)
Maestros de Ciencias en formación	Luz y fenómenos relacionados	Aprendizaje Basado en Proyectos	Torrecilla y Ligorred (2020)
Estudiantes de básica, media superior y superior	Equilibrio, estabilidad, resistencia y propiedades de materiales	Retos de ingeniería	Domínguez et al. (2019)
Estudiantes primaria y secundaria	Teoría del color	Aprendizaje por Indagación y Basado en Proyectos	Karabey et al. (2018)
Estudiantes y profesores	No especifica	Aprendizaje Basado en el juego/ Gamificación	Jesionkowska et al. (2020)
Estudiantes Primaria	Transformación de la energía	Aprendizaje Basado en Proyectos	Rahmawati et al. (2021)
Estudiantes egresados de educación media	Electromagnetismo	Enfoque AR-STEAM	Amin et al. (2021)
Estudiantes universitarios	No especifica	Aprendizaje Basado en Proyectos	Sierra et al. (2019)
Estudiantes universitarios	Principio de Pascal	Aprendizaje Activo	Bustamante y Balanzátegui (2019)
Estudiantes secundaria	Electricidad	Juego y diseño de historias animadas	Tan et al. (2020)
Estudiantes secundaria	Electricidad	Enfoque integrado STEAM	Tan et al. (2021)

Estudiantes secundaria	Densidad, convección, transferencia de temperatura y calor, electromagnetismo, presión y comportamiento de la luz	Aprendizaje Basado en Proyectos	Boyle (2021)
Estudiantes secundaria	Fuerza y Energía	Actividades STEAM	Ozkan y Topsakal (2017)
Estudiantes universitarios	Física Médica, Física Partículas, Física Cuántica y Circuitos	Resolución de problemas	Corbi y Burgos (2017)
Estudiantes primaria	Cinemática, dinámica, gravitación y ondas	Actividades STEAM	Bassachs (2020)
Estudiantes high school	Movimiento circular uniforme Reflexión de la luz	Gamificación	Katanosaka et al. (2023)
Estudiantes secundaria	Momentum y Colisiones	Propuesta STEAM	Polmart y Nuangchalerm (2023)

La mayor parte de los estudios se llevaron a cabo con estudiantes de secundaria y universitarios; además, el electromagnetismo aparece como tema recurrente en los trabajos revisados y, al igual que en el núcleo temático anterior, el ABPy se posiciona como estrategia de especial relevancia para desarrollar actividades desde un enfoque STEAM; en este caso, específicamente para la enseñanza de la física. Vale la pena resaltar que cinco trabajos (Ozkan y Topsakal, 2017; Andreotti y Frans, 2019; Bassachs, 2020; Tan, 2021; Amin et al., 2021) no hacen referencia a alguna estrategia didáctica en especial, pues conciben la perspectiva STEAM como enfoque educativo y estrategia a la vez, lo cual pudiera considerarse un indicio del proceso de consolidación de STEAM como marco pedagógico.

3.1.3 *La creatividad en ciencias desde la perspectiva sociocultural*

La Teoría Sociocultural se constituye en un marco de interpretación para fenómenos como la creatividad en la educación en ciencias y los procesos de aprendizaje y enseñanza de la física (Kao et al., 2017; Nurulsari y Suyatna, 2017; Astutik y Prahani, 2018; Barbosa y Baptista, 2018; Madeali y Prahani, 2018; Astutik et al., 2019; Pulgar y Spina, 2019; Halim, 2020; Isrokatun, 2021; Prahani et al., 2021; Rufaida y Nurfadilah, 2021; Sarnita, 2021). Para este núcleo temático, el enfoque metodológico, las estrategias y los conceptos de la teoría sociocultural fueron objeto de interés en las unidades de análisis revisadas; la Tabla 5 da cuenta de estos elementos.

Tabla 5*Enfoque metodológico, estrategias y conceptos de la teoría sociocultural*

Metodología	Estrategias/instrumentos evaluación creatividad	Concepto Sociocultural	Teoría	Autores
Cuantitativa	<i>Test of creative thinking skills</i>	Andamiaje		Kao et al. (2017)
Cualitativa	No especifica	Andamiaje		Isrokatun (2021)
Cualitativa-Cuantitativa	Test de habilidades de pensamiento creativo	Andamiaje		Nurulsari y Suyatna (2017)
Cualitativa	Categorías según niveles de conciencia planteados por Vygotsky	Internalización y transformación de signos y significados		Barbosa y Baptista (2018)
Cuantitativa	Test de habilidades de pensamiento creativo	Interacción social		Halim (2020)
Cuantitativa	Cuestionario (escala Likert)	No especifica		Pulgar y Spina (2019)
Cuantitativa	Test de habilidades de pensamiento creativo	Imaginación		Rufaida y Nurfadilah (2021)
Cuantitativa	Test de habilidades de pensamiento creativo	Instrumentos materiales		Widia (2021)
Cuantitativa	<i>Scientific Creativity Assessment Sheet (SCAS)</i>	Interacción social Instrumentos materiales		Astutik y Prahani (2018)
Cuantitativa	No especifica	Interacción social Instrumentos materiales		Astutik et al. (2019)
Cuantitativa	No especifica	Interacción social Zona de Desarrollo Próximo		Madeali y Prahani (2018)
Cuantitativa	Test de creatividad científica	Andamiaje		Prahani et al. (2021)
Cualitativa	Cuestionario Ad hoc	Imaginación		Haim y Aschauer (2022)

En los trabajos analizados, la creatividad es relacionada con los conceptos de la teoría sociocultural, tales como: interacción social, andamiaje, instrumentos, internalización, imaginación y Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). Específicamente se explica que la interacción social permite hacer conscientes las funciones mentales básicas, estimula la generación de ideas novedosas y mejora el desarrollo intelectual de los estudiantes (Madeali y Prahani, 2018; Halim, 2020) y, además, el maestro puede proporcionar instrumentos materiales y generar estrategias que actúan como andamios para que los estudiantes desarrollen su potencial creativo de manera gradual (Kao et al., 2017; Nurulsari y Suyatna, 2017; Prahani et al., 2021). Barbosa y Baptista (2018) indican que hay una importante relación entre el aprendizaje y la creatividad en el marco de la educación en ciencias. Los autores señalan que el nivel de apropiación conceptual de un sujeto está determinado por su capacidad para transformar, a través de la imaginación, los signos y símbolos

de un campo de conocimiento específico. Para analizar la creatividad de los estudiantes, en la mayoría de los trabajos se utilizaron cuestionarios y/o test desde un enfoque metodológico cuantitativo; lo anterior pone de manifiesto la necesidad de realizar trabajos desde perspectivas metodológicas distintas. También se consideró pertinente identificar las estrategias utilizadas en el marco de la educación STEAM, así como el concepto abordado y el nivel de escolaridad de la población. En la Tabla 6 se presenta de manera detallada esta información.

Tabla 6

Estrategias didácticas, concepto abordado y nivel de escolaridad de la población

Población	Concepto/tema/fenómeno	Estrategias Didácticas	Autores
Estudiantes School	High Física Mecánica	Gamificación, mapas conceptuales	Kao, et al. (2017)
Estudiantes Primaria	Fuerza	Situation-Based Learning.	Isrokatun (2021)
Estudiantes School	High Óptica	6E Soft Scaffolding Strategy	Nurulsari y Suyatna (2017)
Estudiantes Media	Educación Leyes de Newton	Analogías Situaciones problema	Barbosa y Baptista (2018)
Estudiantes High School	Senior Óptica	Inquiry learning methods	Halim (2020)
Estudiantes Secundaria	Leyes de Newton	Aprendizaje basado en problemas, experimentación y demostración	Pulgar y Spina (2019)
Educación Superior	No especifica	Modulo Tecnológico de Hipercontenido	Rufaida y Nurfadilah (2021)
No especifica	No especifica	Aprendizaje por indagación	Widia (2021)
Estudiantes secundaria	de Movimiento y Máquinas Simples	The CCL-based teaching materials for Physics	Astutik y Prahani (2018)
Estudiantes secundaria	de Dinámica	Collaborative creativity learning (CCL)	Astutik et al. (2019)
Estudiantes secundaria	de Vibración y ondas	Aprendizaje por indagación	Madeali y Prahani (2018)
Estudiantes educación superior	de Circuitos eléctricos	Creativity Responsibility Based Learning (CRBL)	Prahani et al. (2021)
Estudiantes secundaria	de No especifica	Flex-Based Learning	Haim y Aschauer (2022)

Puede observarse que en las investigaciones se han priorizado campos conceptuales como la dinámica y los fenómenos ondulatorios de comportamiento longitudinal y transversal. Además, llama la atención que solo uno de los estudios (Isrokatun et al., 2021) se llevó a cabo con estudiantes de primaria. Esto podría explicarse a partir de la idea de que la creatividad en edades tempranas no presenta necesariamente articulaciones con campos conceptuales de la ciencia, sino con elementos de la fantasía (Egan, 1994; Steiner y Moran, 2003).

3.2 Fundamentos teóricos

A continuación, se describen y articulan los principales fundamentos teóricos que sustentan este trabajo, referentes a las perspectivas teóricas de la creatividad, la Creatividad Científica, la educación STEAM y las Tecnologías Creativas.

3.2.1 *Perspectivas teóricas de la creatividad*

La creatividad se constituye en una facultad humana que ha moldeado la historia y ha impulsado cambios importantes en nuestro capital cultural colectivo. En la actualidad, la sociedad demanda una ciudadanía creativa capaz de abordar los desafíos contemporáneos y la escuela desempeña un papel central en este proceso. No obstante, promover y estudiar la creatividad representa un desafío multifacético debido a la complejidad inherente a este concepto. En el presente apartado se hará un análisis de tres perspectivas teóricas clave (psicológica, sociocultural y sistémica) que han guiado la investigación sobre la creatividad en las últimas décadas. Se destaca una transición desde un enfoque predominantemente psicológico hacia uno más orientado a lo sociocultural y sistémico que consideran factores más allá de lo intrapsíquico.

La capacidad de imaginar y crear es una característica propia de la especie humana que ha posibilitado el avance de las civilizaciones a lo largo de la historia y, además, se constituye en un mecanismo evolutivo que le ha permitido al *homo sapiens* resolver problemas, experimentando soluciones en medio de un balance entre la atención y el riesgo (Conradty y Bogner, 2020). La creatividad hace parte de nuestro legado biológico y cultural y su complejidad hace que múltiples factores intervengan en su desarrollo, pues tanto la personalidad del sujeto como el ambiente presentan una importante influencia sobre ella, esto ha hecho que se constituya en objeto de múltiples discusiones y que sea abordada desde diferentes perspectivas disciplinares. En este sentido son varios los autores que han teorizado en torno a la creatividad (Guilford, 1950; Sternberg y Lubart, 1995; Torrance, 1966; Csikszentmihalyi, 1998, 2010; Lubart, 1999; Miller y Dumford, 2016) y sus aportes han permitido consolidar un campo de investigación con fuertes bases en términos teóricos.

Desde las neurociencias también se han desarrollado investigaciones que indagan por la naturaleza de la creatividad en términos de su origen filogenético, su localización a nivel cerebral y los cambios fisiológicos que se desencadenan durante un acto creativo (Rendón, 2009; Abraham,

2013; Aberg et al., 2017). En relación con la filogenia de la creatividad, Rendón (2009) explica que la capacidad de elaborar herramientas, la organización social y las posibilidades de aprender y desarrollar destrezas, dan cuenta de que los primates fueron quienes lograron tener un cerebro más desarrollado en la historia evolutiva. Sin embargo, advierte que dejar atrás la naturaleza cuadrúpeda fue lo que en realidad desencadenó profundos cambios anatómicos que le permitieron sobrevivir al ser humano en condiciones adversas de diferente índole y le otorgaron la capacidad de imaginar y crear:

Sólo a partir de la bipedación se producen extraordinarios cambios anatómicos, que en el *Homo sapiens*, dan origen a dos ramas de la función psíquica: la racional o verbal y la creadora. A este respecto se puede decir que, mucho antes de la aparición de la capacidad lingüística, fueron la percepción y la memoria (aspectos que se hallaban en los demás mamíferos o animales de su rango) junto con las capacidades inventivas y creadoras del *Homo sapiens* las que permitieron su supervivencia. (p. 123)

Por otra parte, Beghetto y Kaufman (2013) afirman que la creatividad puede ser interpretada en términos de los niveles de expresión y proponen en este sentido el *Four C Model* que describe cuatro tipos de creatividad: creatividad *mini-c* o interpretativa (p. ej. encontrar una nueva manera de resolver un problema matemático a la ya planteada por el profesor); *little-c* o cotidiana (p. ej. desarrollar un proyecto escolar para solucionar una problemática local o relacionar un acontecimiento histórico relevante con las historias de los ancianos de la comunidad); *Pro-C* o creatividad experta (p. ej. la idea del aula invertida que han adelantado los profesores Aaron Sams y Jonathan Bergmann); y *Big-C* o creatividad legendaria (p. ej. el nuevo enfoque de María Montessori para la educación infantil).

A pesar de que existen diversos enfoques mediante los cuales puede ser estudiada la creatividad, Tran et al. (2021b) afirman que cada uno de ellos da cuenta de cuatro elementos: la sensibilidad ante un problema, el desequilibrio, la acción y la producción. Además, es posible identificar tres perspectivas teóricas amplias que han abordado este objetivo de estudio y que dan cuenta de transformaciones paradigmáticas en función del tiempo. A continuación, se analizan dichas perspectivas con el fin de hacer explícitas las tensiones y transiciones epistémicas que tienen lugar en las reflexiones sobre la creatividad. Finalmente, se propone y discute un modelo para el

estudio, la evaluación y la promoción de la creatividad, específicamente en el ámbito escolar, concebido como un sistema cultural en el que circula y se transforma el conocimiento.

El estudio de la creatividad, como sucede también en otros campos, se ha visto influenciado por paradigmas que condicionan las características del conocimiento que se produce en tiempos y lugares específicos. Para este caso dichos paradigmas hacen referencia al psicológico, sociocultural y sistémico. A continuación, se harán explícitas las tensiones y transiciones epistémicas de la creatividad y su impacto en los enfoques investigativos.

3.2.1.1 La creatividad como fenómeno psicológico

El origen de la tradición psicológica podría situarse en la segunda mitad de siglo XIX, donde prevalecía una corriente de pensamiento que concebía la creatividad desde una perspectiva hereditaria. Uno de los principales representantes de dicha corriente fue Francis Galton, quien en su obra *Hereditary Genius* (Galton, 1869) daba cuenta de estudios en los que concluía que la creatividad presenta una relación directa con la genialidad, concebida como cualidad de la persona que además de innata tenía el carácter de hereditaria y no modificable. Seguidamente, Poincaré (1912) propondría que la creatividad presenta una fase consciente y otra inconsciente, planteamiento que Wallas (1926) tomaría como base para formular su teoría de las cuatro etapas del pensamiento creativo: preparación; incubación; iluminación y verificación. Como puede notarse dichas etapas dan cuenta de un fenómeno intrapsíquico, es decir psicológico. Esto adquiere especial importancia, pues la teoría de Wallas tuvo gran influencia en los abordajes metodológicos que se hicieron a posteriori en el estudio de la creatividad (Pascale, 2005). Respecto a lo anterior, Sawyer (2003a) señala que

la primera ola de investigación sobre la creatividad, desde la década de 1950 hasta la de 1970, estuvo fuertemente influenciada por la psicología de la personalidad y se centró en el desarrollo de instrumentos psicométricos y en la identificación de los rasgos componentes de la creatividad en diferentes dominios. (p. 5)

Sin duda uno de los autores que está en la base del proceso de consolidación de este constructo teórico es Guilford (1950); sus planteamientos posibilitaron la realización de un sinnúmero de investigaciones en este campo que permitieron un importante avance en la

comprensión de este concepto. Este autor concebía la creatividad como uno de los muchos aspectos de la inteligencia y creía que incluía dos procesos de pensamiento: el pensamiento divergente y el convergente; el primero estimula la generación de nuevas ideas y productos, y el segundo le permite al sujeto reconocer el entorno, adaptarse e incrementar la posibilidad de aplicación de sus creaciones. Además, entendía la creatividad como una habilidad constituida por cuatro sub-habilidades, a saber: la fluidez, la flexibilidad, la originalidad y la elaboración.

Si bien Guilford (1950), siguió estudiando la creatividad como un fenómeno intrapsíquico, generó un cambio paradigmático importante en la medida que propuso una transición del modelo explicativo místico-mágico-intuitivo-imaginativo a uno científico y racional que consideraba que todas las personas poseían la creatividad en cierto grado, era específica de un determinado campo del conocimiento, estaba vinculada al pensamiento divergente y tenía como principales rasgos la fluidez, flexibilidad, originalidad y sensibilidad a los problemas (Romo, 1987). Estos postulados fueron fundamentales para concebir la creatividad como una habilidad que no era heredada y que, además, podía ser enseñable.

La línea teórica de Guilford (1950) sería desarrollada más tarde por Torrance (1966), quien plantea que la fluidez, la flexibilidad y la originalidad están asociadas respectivamente a la capacidad de generar un número importante de ideas originales en un intervalo específico de tiempo, cambiar de rumbo si el enfoque considerado no funciona de manera eficaz y producir respuestas fuera de lo establecido. Además, define la creatividad como un proceso de concienciación de los problemas, de colmar lagunas de conocimiento, de emprender la búsqueda de posibles soluciones y de realizar un ejercicio de comunicación de los resultados obtenidos.

La transición de un paradigma psicológico a uno sociocultural en el estudio de la creatividad se produjo gradualmente a lo largo del siglo XX, especialmente a partir de la década de 1960. Antes de esto la investigación sobre la creatividad estaba más centrada en enfoques psicológicos individuales y procesos cognitivos. Este cambio estuvo marcado por pensadores como Jean Piaget, Sigmund Freud y Lev Vygotsky, quienes, al incorporar respectivamente los conceptos de desarrollo cognitivo, desarrollo afectivo y desarrollo de las funciones mentales superiores, permitieron pensar la creatividad como un proceso más que como el producto derivado de la actividad mental; la creatividad como proceso se vería entonces afectada por las condiciones culturales bajo las cuales tenía lugar. Además, figuras como Alfred North Whitehead y John Dewey

destacaron la importancia de considerar el entorno social y cultural en el desarrollo de la creatividad.

En lugar de centrarse únicamente en las características individuales y procesos mentales, los enfoques socioculturales comenzaron a considerar cómo factores sociales, culturales e históricos influyen en la creatividad. Se reconoce que la creatividad no se limita al individuo, sino que es moldeada y facilitada por la interacción con el entorno cultural y social. Dafermos (2018) explica que hasta ese momento podía evidenciarse un:

primer cambio en la investigación de la creatividad desde la investigación del individuo creativo al estudio de la creatividad social. Existe una conciencia cada vez mayor de que los individuos creativos se desarrollan dentro de un entorno social, cultural e histórico. (Dafermos, 2018, p. 216)

Otros autores como Amabile (1983), indican al respecto que entender la creatividad solo como una habilidad mental no hace justicia al fenómeno de la creatividad, teniendo en cuenta que están involucrados rasgos de la personalidad, habilidades cognitivas e influencias del ambiente. En este mismo orden de ideas, Pascale (2005) menciona que Csikszentmihalyi (1988a, 1998) considera la creatividad, no como un producto a nivel intrapsíquico, sino como el resultado de un proceso de interacción entre los pensamientos de una persona y el contexto sociocultural en el cual se encuentra inmerso.

A continuación, se presenta la perspectiva sociocultural de la creatividad, en la que se trasciende la mirada intrapsíquica en el estudio de los actos creativos y se comienzan a identificar factores culturales que influyen en su desarrollo.

3.2.1.2 La creatividad como fenómeno sociocultural

Uno de los pioneros del estudio de la creatividad desde una perspectiva sociocultural y al parecer el principal protagonista es Lev Vygotsky, el cual desarrolló la teoría sociocultural que enfatizaba la importancia del entorno social y cultural en la formación de la mente y el desarrollo cognitivo; su trabajo tuvo implicaciones significativas para el estudio de la creatividad.

Entre los diferentes aportes que hizo Vygotsky a los procesos educativos, uno de ellos estuvo relacionado con la imaginación y la creatividad, el cual incorporó en su teoría desarrollista,

generando de esta manera un cambio de enfoque de una investigación centrada en los productos creativos a una orientada al análisis de los procesos creativos.

Desde la perspectiva Vygotskiana cualquier actividad de orden antrópico que genere algo nuevo puede considerarse un acto creativo, considerando que lo creado puede tener una naturaleza física, mental o emocional; habita en el sujeto que lo crea y es reconocido por este (Vygotsky, 1987). Desde la Teoría Sociocultural de Vygotsky se abordan las relaciones entre la imaginación y la apropiación de conceptos, especialmente en la adolescencia y en la edad adulta dado que en estas etapas se elaboran abstracciones del mundo y se interactúa con ellas. Un proceso diferente ocurre en las primeras edades, puesto que el proceso mental priorizado es la fantasía y en consecuencia la relación con los conceptos es difusa o simplemente no existe. Además de eso, Vygotsky tuvo gran interés por establecer articulaciones entre la internalización de los elementos de la cultura, el desarrollo de los sujetos en función de su experiencia y la creatividad. Steiner y Moran (2003) manifiestan que para él

el tiempo es un ingrediente clave para ambos, desarrollo y creatividad: ninguno es a priori ni universal, y ambos vinculan el pasado, el presente y el futuro. Siguen un camino que es a la vez común a todos y único para cada uno, basado en los materiales particulares disponibles en la cultura y las experiencias sociales y emocionales del individuo dentro de esa cultura. (p. 21)

Desde esta perspectiva, se concibe que los sujetos se desarrollan cognitivamente cuando se apropian de los elementos de la cultura como los artefactos, símbolos y signos. La internalización es considerada como “un proceso que toma a través de al menos dos operaciones semióticas, la interiorización de códigos culturales y la resignificación de lo ya culturalmente significado (Barbosa y Baptista, 2018, p. 62). En este orden de ideas, Vygotsky (2004) indica que la calidad de las experiencias previas de los sujetos determina la autenticidad, características y complejidad de sus creaciones. El concepto de internalización no se limita a la adquisición de un conocimiento que transita de lo externo a lo interno del sujeto, sino a la resignificación que hace el sujeto de dicho conocimiento alterando los sentidos del mismo, lo cual le permite alcanzar niveles cada vez más elevados de consciencia. En palabras de Steiner y Moran (2003), las personas creativas amplían los sentidos de una palabra o símbolo, aportan un nuevo sentido al significado social del

fenómeno o crean nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno. Estos nuevos sentidos hacen que el conocimiento sea un conjunto de signos, símbolos y significados fluctuantes y en constante movimiento.

Por otra parte, es importante resaltar que la perspectiva sociocultural de Vygotsky se rige por principios dialécticos y a partir de ella se puede entender la manera en que el capital cultural transita y da lugar a actos creativos:

La persona, a través de productos como herramientas, signos y artefactos, interioriza los materiales y las ideas de su lugar histórico y cultural y, a su vez, se apropia de ellos, creando nuevos productos que propagan la cultura históricamente. Este proceso incorpora varios subprocesos dialécticos: interiorización y exteriorización, transformación personal/autodominio e interacción social, transformación personal y cultural a través de la experiencia subjetiva, expansión y concentración del significado y el sentido. (Steiner y Moran, 2003, p. 41)

Como puede observarse, desde esta perspectiva sociocultural el análisis de la creatividad empieza a situarse en el marco de una interacción entre el sujeto y la variedad de elementos que a la cultura corresponden. Este se constituye en un cambio epistémico importante teniendo en cuenta que anteriormente se hacía mayor énfasis en asuntos de carácter intrapsíquicos, específicamente desde la psicología. Steiner y Moran (2003) plantean en este sentido que es precisamente esto lo que ha hecho que la investigación en creatividad sea de una larga historia pero que los avances teóricos y metodológicos sean pocos; el énfasis ha estado en los elementos estables y no en las relaciones dinámicas. En consonancia con lo anterior, De la Torre (2010) manifiesta en figura metafórica que “es preciso salir de los estrechos cauces psicométricos si queremos tener una visión oceánica de lo que representa la creatividad en el mundo actual” (p. 3).

Desde la perspectiva sociocultural de la creatividad los sujetos y el entorno sufren modificaciones de manera bidireccional en el proceso de significación y resignificación del conocimiento que circula como capital cultural. Steiner y Moran (2003) indican que este nuevo enfoque permite “ir más allá del estudio de los procesos y productos cristalizados, fosilizados o culturalmente estandarizados, para centrarse en lo que realmente ocurre a medida que la creatividad se desarrolla” (p. 41).

Vygotsky (2004) entiende la creatividad como una forma de unificar el pasado, el presente y el futuro; pues el sujeto parte del legado cultural del pasado para realizar transformaciones en el mundo presente que tendrá un impacto en el futuro:

Todo inventor, incluso un genio, es también producto de su tiempo y de su entorno. Sus creaciones surgen de necesidades que fueron creadas antes que él y descansan en capacidades que también existen fuera de él. Por eso enfatizamos que existe una secuencia estricta en el desarrollo histórico de la ciencia y la tecnología. Ninguna invención o descubrimiento científico puede ocurrir antes de que hayan aparecido las condiciones materiales y psicológicas necesarias para que ocurra. La creación es un proceso histórico y acumulativo en el que cada manifestación sucesiva fue determinada por la anterior. (Vygotsky, 2004, p. 30)

Hasta ahora se ha descrito de manera sucinta la perspectiva sociocultural de la creatividad que permite concebirla como un fenómeno culturalmente situado. Este enfoque ha cobrado cada vez más fuerza al estudiar las relaciones entre los elementos que dan cuenta de la creatividad y a partir de este, conceptos como sistema y dinámica se han incorporado de forma paulatina al campo investigativo.

Desde la teoría de sistemas dinámicos o teoría de la complejidad autores como Csikszentmihalyi analizan la creatividad precisamente como la interacción de varios sistemas, retomando algunos aspectos desarrollados por la corriente de pensamiento vygotskiana. Steiner y Moran (2003) señalan al respecto que

El paradigma de los sistemas adaptativos complejos, paralelo a muchas de las ideas de Vygotsky, sostiene que el todo es más que la suma de sus partes y es irreductible. Enfatiza el devenir sobre el ser, la interacción con el entorno y la emergencia o autoorganización. (p. 39)

Csikszentmihalyi desarrolla un modelo sistémico de la creatividad con el que, según Pascale (2005), desafía la tendencia de estudiar este constructo teórico desde una perspectiva

meramente psicológica. A continuación, se presenta la creatividad desde una perspectiva sistémica que permite hacer un análisis holístico e integrado de este objeto de estudio.

3.2.1.3 La creatividad como fenómeno sistémico

El modelo de sistemas de la creatividad de Csikszentmihalyi sienta sus bases en dos teorías: la epistemología evolutiva y la teoría de sistemas. Para hablar de la primera es necesario situarse en 1859, cuando se publica la *Evolución de las Especies* de Charles Darwin, dado que esta obra va a tener gran impacto en la manera de abordar los objetos de estudio desde diferentes campos disciplinares; la creatividad fue uno de los constructos teóricos que no escapó a la influencia de dicha teoría. Inicialmente Karl Popper, toma como base la teoría de la evolución para comprender la naturaleza del conocimiento humano y su desarrollo a lo largo del tiempo, acuñando el término de epistemología evolutiva, el cual sería desarrollado posteriormente por W. W. Bartley III, K. Lorenz, y D. T. Campbell (Pascale, 2005).

La obra de Csikszentmihalyi se ve especialmente influenciada por los planteamientos de Campbell, específicamente de un artículo publicado en 1974 llamado *Evolutionary Epistemology*. La principal idea de la epistemología evolucionista de Campbell (1960) radica en que la evolución no es simplemente un proceso biológico, sino que puede extenderse a otras actividades epistémicas, como el aprendizaje, el pensamiento y la ciencia. García (1998) añade al respecto que, con la aparición del sexo en la historia evolutiva, la reproducción se convierte en sinónimo de diversificación y por tanto de actos creativos de la naturaleza mediante un proceso de recombinación “por medio del cual se intercambia información genética y se obtiene un nuevo ser con un genotipo diferente al de aquellos seres que le habían dado lugar, ocurriendo en síntesis un acto de creación biológica de carácter irrepetible” (p. 167).

Se desarrolla entonces una teoría seleccionista de la creatividad humana desde una perspectiva Darwiniana, por considerar sus principios como una analogía pertinente para explicar la manera en la que algunas ideas se instauran en la cultura: para que se dé un cambio evolutivo es necesario que primero se presenten múltiples y diversos cambios genéticos, de los cuales, aquellos que resulten favorables serán seleccionados por el ambiente. De manera análoga, las ideas creativas se ponen en juego en un ambiente con características específicas que hacen que estas sean aceptadas o desechadas en función del valor que la comunidad les atribuya. Según Pascale (2004), Campbell (1960)

extiende su visión a la comprensión de la creatividad, sosteniendo que existen dos mecanismos para la generación y propagación de ideas creativas: (1) la variación ciega, en el cual el creador genera una idea sin tener claro si la misma habrá de ser exitosa y seleccionada por el mundo de las ideas; (2) la retención selectiva, en el cual el dominio en el que el creador genera la idea la retiene para el futuro o la deja perecer. (p. 78)

La creatividad comienza a ser concebida como un constructo que presenta un atributo adaptativo, para este caso, en un sistema cultural. No obstante, es importante considerar que las evoluciones biológica y cultural son comparables, pero no idénticas, por ejemplo, en la biológica la aleatoriedad de los cambios genéticos es al azar mientras que en la cultural no lo es, pese a que en esta última sea complejo identificar las causas de dichos cambios (Piríz, 2021).

Csikszentmihalyi desarrolla aún más estos planteamientos, al considerar la importancia de la selección crítica y el valor otorgado al producto creativo dentro de un dominio específico y, aunque no se centra explícitamente en la variación ciega, su enfoque resalta la importancia de generar una amplia gama de ideas para que al menos alguna de ellas sea buena y por tanto tenida en cuenta (Pascale, 2005).

La teoría de sistemas es otra de las teorías influyentes en el modelo de creatividad de Csikszentmihalyi. Según Bertalanffy (1969) citado en (Pascale, 2005), esta teoría surge de una crisis de la biología en la que se presentaban álgidas tensiones entre los paradigmas del mecanicismo y el vitalismo. Pascale (2005) indica que la visión sistémica de Bertalanffy surge como una alternativa a este problema paradigmático y que su influencia se extiende a diferentes campos de estudio: “el efecto que se crea en las disciplinas comienza a ser el de trascendencia de las barreras disciplinarias y el surgimiento de propuestas interdisciplinarias, evidentemente favorecidas por el terreno común del sistema como esquema analizador de la realidad” (p. 80).

Por otra parte, la teoría de sistemas presenta una base epistémica que difiere del positivismo lógico o del empirismo, teniendo en cuenta que las cosas no son tal y como las observamos ni el conocimiento una aproximación a la verdad. La teoría de sistemas desde una postura más perspectivista concibe que el conocimiento es multidimensional y emerge en la interacción entre lo que conoce y lo que es conocido (Pascale, 2005). Basado en los planteamientos anteriores, el estudio de la creatividad desde la perspectiva de Csikszentmihalyi logra

integrar distintos enfoques que rescatan mayor cantidad de dimensiones de un objeto que es de por sí multifacético, dimensiones que van de lo espacial a lo temporal, y de lo colectivo a lo individual, en un abordaje total, coherente, y elegante. (Pascale, 2005, p. 81)

Csikszentmihalyi marca un hito investigativo respecto a este objeto de estudio al cambiar la pregunta ¿qué es la creatividad? por ¿dónde está la creatividad?, haciendo que las metodologías bajo las cuales se aborda el objeto de estudio comiencen a diversificarse, complejizarse y adquirir cierta independencia respecto a la perspectiva puramente psicológica. Para entender mejor el modelo de Csikszentmihalyi (2014) se hace necesario identificar primero aquello que entiende por Persona, Dominio y Campo, así como la manera en la que estos interactúan, con el fin de explicar el fenómeno de la creatividad desde la perspectiva sistémica que propone el autor. En la Tabla 7 puede identificarse el lugar que ocupa cada uno de estos componentes en la creatividad.

Tabla 7

Lugar de la persona, el dominio y el ámbito en la creatividad desde una perspectiva sistémica

Criterios	Sistemas		
	Persona	Dominio/Contexto cultural	Ámbito/Campo
Relación con la creatividad	Sujeto que genera una nueva idea utilizando los signos, símbolos y significados de un dominio específico.	La creatividad ocurre cuando una persona realiza un cambio en el dominio, esto es, en el conjunto de objetos, reglas, representaciones y notaciones de la cultura.	Grupo encargado de tomar las decisiones referentes a la validez de los objetos, actos o ideas creativas, seleccionando aquellas que merecen ser reconocidas e incluidas en el dominio.
Características	A) Antes que una persona pueda realizar una variación creativa, debe tener acceso al dominio, y debe desear aprender sus reglas. B) Son de gran importancia los factores individuales que contribuyen al proceso creativo. C) Un aspecto esencial de la creatividad personal se corresponde con la capacidad de convencer al ámbito de las virtudes de la novedad producida por uno.	Los dominios pueden favorecer u obstaculizar la creatividad. Para ello se propone centrar la atención en tres de sus dimensiones de más influencia: 1) Claridad de su estructura. 2) Centralidad dentro de la cultura. (3) Accesibilidad.	Los ámbitos pueden afectar la creatividad, en al menos tres maneras: 1) Siendo reactivo o positivamente activo. 2) Eligiendo un filtro estrecho o amplio en la selección de la novedad. 3) Estando bien conectados con el resto del sistema social, o no.
Ejemplo	Galileo para la física experimental, o de Freud para el psicoanálisis	Álgebra, teoría numérica, artes plásticas...	Profesores de arte, críticos, galeristas, artistas plásticos, directores de museos...

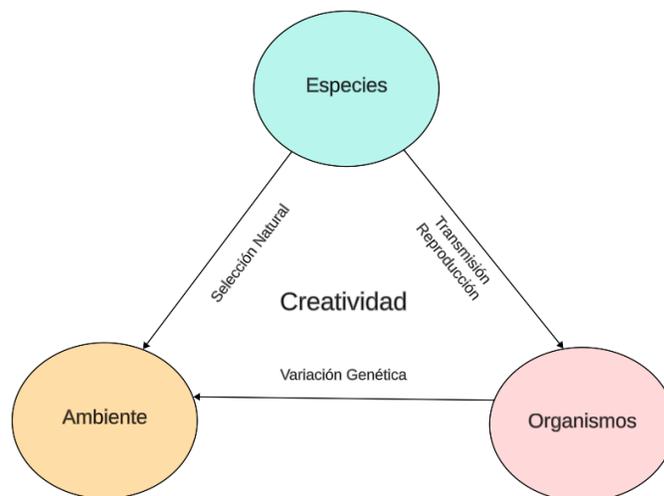
Fuente: elaboración propia basada en Pascal (2005).

Desde una visión evolutiva, el autor plantea un paralelismo entre la creatividad y lo biológico, asumiendo la creatividad como el equivalente cultural del proceso de cambios genéticos que dan como resultado la evolución biológica. Basado en el concepto de meme aportado por Richard Dawkins, como análogo en el plano cultural al gen en el plano biológico, Csikszentmihalyi indica que la creatividad es el cambio de los memes en la cultura, que son unidades de información aprendidos por los individuos, si el cambio sobre estos es considerado pertinente pasará a formar parte del capital cultural de una sociedad (Pascale, 2004, Piríz, 2021).

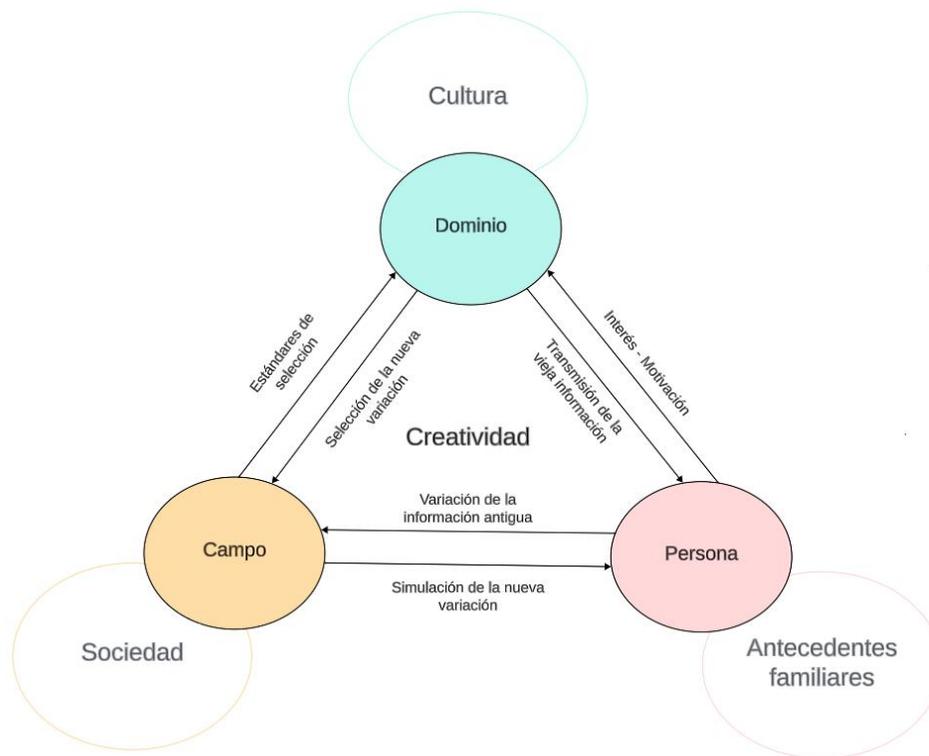
Csikszentmihalyi propone que la creatividad es un sistema que resulta de la interacción del dominio, el ámbito y la persona, y que constituye una evolución cultural, dado que cada aporte puede considerarse como un cambio sobre los memes existentes en la cultura, pasando a integrarse a ésta nuevos memes. Pero el cambio en los memes de una cultura supone la producción de ideas, productos o descubrimientos reconocidos como tales, esto es, que excedan el espacio individual. El paralelismo entre la evolución biológica y cultural puede evidenciarse a través de las Figuras 3 y 4.

Figura 3

Creatividad en la evolución biológica



Fuente: elaboración propia basada en Csikszentmihalyi (2014).

Figura 4*Creatividad en la evolución cultural*

Fuente: elaboración propia basada en Csikszentmihalyi (2014).

Como puede observarse se establece un paralelismo entre la evolución biológica y la evolución cultural y en este sentido aquello que consideramos creativo no depende únicamente de la persona; se deben tener en cuenta las condiciones ambientales que hacen que la variación en el entramado cultural de una sociedad sea desechada o permanezca y se transmita a través del tiempo. Csikszentmihalyi (1997) indica al respecto que:

La creatividad es a la evolución cultural lo que la mutación, selección y transmisión de la variación genética es a la evolución biológica. En creatividad, no tiene sentido decir que un paso beneficioso fue el resultado de una sola persona en particular, sin tener en cuenta las condiciones ambientales. Para ser creativa, una variación debe adaptarse a su entorno social y debe poder transmitirse a través del tiempo. (p. 167)

En síntesis, Aguilera y Ortiz (2021) señalan que el enfoque sistémico contempla tres elementos que interactúan entre sí: el sociocultural que contiene las reglas simbólicas, el personal que aporta el elemento novedoso en sentido simbólico y el sistema que configura la comunidad de expertos en el área en la que se enmarca el proceso creativo, pues es quien reconoce, evalúa y valida el producto. Mediante un proceso de transposición es posible identificar estos elementos en la escuela al ser entendida como un sistema cultural en el que circula el conocimiento.

3.2.1.4 La escuela como sistema cultural para el desarrollo de la creatividad

Para hablar de creatividad en la escuela desde una perspectiva que trascienda la mirada psicológica, es necesario entender el entorno escolar como un sistema cultural. Al respecto Baeza (2008) indica que la escuela puede considerarse como

un sistema abierto que cambia mediante la interacción con el entorno, del cual depende para obtener sus recursos materiales y humanos, pero también es en sí misma un sistema complejo, con actores y pautas culturales comunes y diferenciadas en su interior. (p. 194)

La escuela se entiende entonces como un sistema cultural en el que diferentes actores como estudiantes, profesores e instrumentos desempeñan el papel de mediadores culturales entre el individuo que crea y un entorno constituido por un campo de conocimiento y una comunidad que avala los actos creativos. Por tanto, es necesario orientar la investigación sobre la creatividad al estudio de la interacción entre dichos actores de manera que se puedan desarrollar análisis que tengan en cuenta elementos de las perspectivas sociocultural y sistémica, que bien podríamos denominar sociosistémica. En otras palabras, la escuela se constituye en un complejo sociocultural en el cual el sujeto se apropia de los significados culturales y los transforma en el marco de las situaciones didácticas que los profesores plantean desde sus respectivas disciplinas.

Análogamente al proceso creativo en la ciencia, pueden identificarse en la escuela y específicamente el aula de clase, los diferentes componentes que hacen parte el fenómeno de la creatividad desde la perspectiva de Csikszentmihalyi:

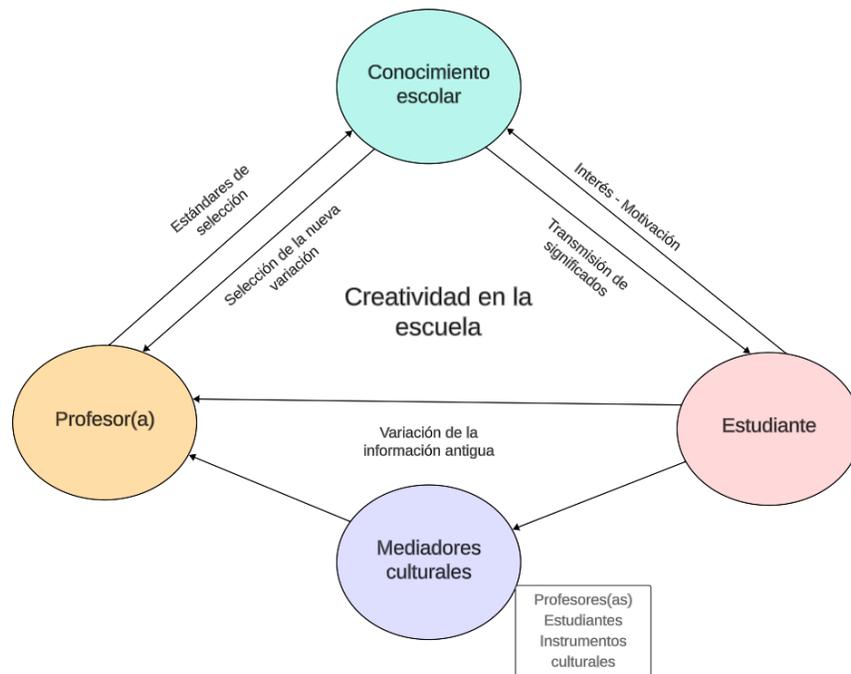
Dominio: en términos formales hace referencia al conjunto de objetos, reglas, representaciones y notaciones de la cultura. En el ámbito escolar está asociado a los contenidos que hacen parte de una disciplina escolar específica; es decir, al conocimiento escolar.

Campo: es el grupo encargado de tomar las decisiones referentes a la validez de los objetos, actos o ideas creativas, seleccionando aquellas que merecen ser reconocidas e incluidas en el dominio. En el caso de la escuela este grupo hace referencia principalmente a los profesores que validan el acto creativo por medio de criterios construidos para el contexto específico. En el ámbito formal los actos creativos se validan e instauran en la cultura y posibilitan observar un fenómeno nunca antes visto, o bien, analizarlo desde una perspectiva diferente. Por ejemplo, la relatividad de Einstein permitió un cambio en la manera de concebir el espacio y el tiempo, pasando de una visión determinista a una relativista de ambos conceptos.

Persona: hace referencia al sujeto que genera una nueva idea utilizando los signos, símbolos y significados de un dominio específico. Es claro que, en el ámbito escolar, hace referencia a los estudiantes quienes a través de procesos de internalización se apropian y transforman los significados del conocimiento escolar.

Es importante mencionar que en la escuela el acto creativo no implica necesariamente un cambio estructural en los campos conceptuales de la ciencia, pero sí, un cambio de perspectiva en la forma en que, quien materializa el acto creativo, interactúa con el fenómeno en cuestión. Esto a través de la asignación de nuevos sentidos al significado social del fenómeno o bien estableciendo nuevas relaciones entre el significado y el sentido social de dicho fenómeno. En cuanto a la asignación de nuevos sentidos al significado social del fenómeno los estudiantes generan formas alternativas para interpretar y relacionarse con el significado social del fenómeno, aportando nuevas perspectivas a los conceptos científicos establecidos a partir, por ejemplo, de recursos como metáforas y/o personificaciones. En cuanto a las nuevas relaciones entre el significado y el sentido social del fenómeno los estudiantes aportan nuevas formas de entender, analizar y percibir un fenómeno, por ejemplo, estableciendo conexiones innovadoras y significativas entre conceptos y contextos aparentemente dispares o lejanos.

En la Figura 5 se presenta el Modelo Sociosistémico de la Creatividad en la Escuela (MSCE) mediante un esquema que representa los componentes involucrados en la creatividad en el aula, así como la interacción entre estos desde una perspectiva sociosistémica.

Figura 5*Modelo Sociosistémico de la Creatividad en la Escuela (MSCE)*

Fuente: elaboración propia.

El conocimiento escolar se entiende como el conjunto de saberes, habilidades, conceptos y valores que se enseñan y aprenden en el entorno educativo formal, desde la educación inicial hasta la universitaria. De este conocimiento provienen los diferentes significados de las disciplinas escolares y este puede ser o no llamativo para el estudiante, lo cual depende de múltiples factores que van desde intereses personales hasta las tendencias identificadas en la cultura. El estudiante con la ayuda de mediadores culturales como los profesores, sus pares y los instrumentos de los que dispone, hace una variación de la información antigua mediante actos creativos, ya sea dándole nuevos sentidos al significado social del fenómeno o bien estableciendo nuevas relaciones entre el significado y el sentido social del fenómeno. Los actos creativos son valorados y avalados por el profesor a partir de criterios consensuados y definidos en función de las características del contexto y de su comprensión del conocimiento escolar.

Estos actos creativos pueden transformar el conocimiento escolar de diferentes maneras: le otorgan nuevas perspectivas y enfoques, teniendo en cuenta que ofrecen nuevas formas de comprender y abordar los conceptos; lo enriquecen pues ponen de manifiesto nuevas dimensiones de este mediante conexiones inesperadas entre contextos y/o significados; lo desafían y ponen en tensión mediante el planteamiento de nuevas situaciones problémicas; influyen en la forma en que se enseña, llevando a una mayor adaptabilidad y enriquecimiento del currículo educativo.

Una vez el conocimiento escolar ha sido transformado por los actos creativos de los estudiantes, el ciclo reinicia y esta vez otros tendrán acceso a un capital cultural enriquecido que será puesto nuevamente en circulación por el profesor.

3.2.1.5 Evaluación y creatividad desde el modelo sociosistémico

La creatividad y la evaluación presentan un vínculo bastante estrecho, tanto que la forma de evaluar puede obstaculizar o promover los actos creativos. García (1998) menciona al respecto que la evaluación se puede constituir en una condición que bloquea la creatividad:

Quando los sujetos esperan ser evaluados, medidos y controlados frecuentemente en sus realizaciones, propenden por no salirse de los esquemas y parámetros que estén prefijados por los evaluadores con el fin de obtener aprobación y reconocimiento, así sus procesos de producción creativa son coartados desde la obediencia ciega a la regla o norma establecida para hacer o ejecutar. (p. 180)

Desde el modelo sociosistémico de la creatividad en la escuela, se acogen las sugerencias de De la Torre (2010) para evaluar y estudiar la creatividad puesto que está en consonancia con los principios que sustentan dicho modelo. En la Tabla 8 se presentan diferentes parámetros que el profesor/investigador debe tener en cuenta a la hora de evaluar los actos creativos de los estudiantes y una descripción de dichos parámetros desde una perspectiva sociosistémica.

Tabla 8

Evaluación de la creatividad desde una perspectiva sociosistémica

Evaluar la creatividad implica:	Papel del profesor/investigador desde el modelo sociosistémico
--	---

Recoger información ponderadamente	El profesor/investigador reúne los datos de manera reflexiva y cuidadosa relacionada con la manera en que los sujetos se apropian y transforman los significados de un determinado dominio, teniendo en cuenta los elementos de la cultura que afectan el proceso creativo tales como la interacción social y los instrumentos. Todo ello con el fin de adquirir información suficiente que le permita obtener una comprensión holística del fenómeno de la creatividad.
Valorar	Situándose como un actor del ámbito o campo, el profesor/investigador evalúa la validez y relevancia de los actos creativos en función de los criterios establecidos para un contexto sociocultural situado.
Estimular y ayudar	El profesor/investigador asume un papel activo y mediador entre la persona y el dominio, fomentando ambientes propicios para la generación de ideas novedosas e impulsando el proceso creativo mediante herramientas culturales tanto materiales (instrumentos) como inmateriales (ideas).
Buscar la mejora	El profesor/investigador incentiva el proceso creativo apoyando en la solución de dificultades que se presenten en la materialización de los actos creativos, actuando como un mediador que ha internalizado los significados de la cultura.
Comparar, contrastar, sopesar	Teniendo en cuenta que los actos creativos dependen de la experiencia de cada persona y de los instrumentos tanto simbólicos como materiales que dispone el medio, el profesor/investigador no se esfuerza por medir qué tan creativo es un sujeto respecto a otro. En vez de eso compara los actos creativos, estableciendo similitudes y diferencias, identificando patrones, aspectos a resaltar a mejorar y elementos comunes entre ellos; los contrasta a partir de la identificación de diferencias significativas, resaltando las peculiaridades, enfoques y demás aspectos distintivos; y los sopesa; es decir, evalúa su valor relativo teniendo en cuenta los criterios establecidos por el ámbito en cuestión para el dominio específico.
Informar al sujeto o audiencia	Al final el profesor/investigador, a modo de devolución, comunica detalles, resultados o cualquier información relevante relacionada con las obras generadas a través de la creatividad, de manera que las personas puedan conocer la manera en que el ámbito valoró sus actos creativos.

Fuente: elaboración propia basada en De la Torre (2010).

La evaluación y la creatividad presentan entonces una relación indisoluble y fructífera que permite potenciar la actividad creativa del sujeto en circunstancias determinadas. Siguiendo estas orientaciones es posible estudiar y promover la creatividad en la escuela teniendo en cuenta los múltiples factores implicados en el desarrollo de esta y el papel de los actores involucrados en el proceso.

Entender la creatividad desde una perspectiva sociosistémica implica reconocer que no es simplemente un rasgo individual, sino un proceso complejo influenciado por diversos factores sociales, culturales y contextuales. El modelo sociosistémico de la creatividad se presenta como un marco de interpretación de los procesos creativos que se llevan a cabo en la escuela, entendiéndola como un complejo cultural en el que los sujetos interactúan entre sí, con instrumentos y con campos de conocimientos específicos, alusivos para este caso al conocimiento escolar.

3.2.2 *Creatividad en la educación en ciencias*

Vale la pena mencionar que, si bien la creatividad es una característica propia de la especie humana y presenta características similares a nivel cognitivo, la manera de concebirse difiere también según el dominio específico en el que se desarrolle (Csikszentmihalyi, 1996; Sternberg y Lubart, 1995; Hu y Adey, 2002; Tran et al., 2021b). Cada disciplina provee los insumos ontológicos, epistémicos y metodológicos para desarrollar un producto creativo de naturaleza material o inmaterial. Pese a ello, en ocasiones suele pensarse que la creatividad es un componente específico del arte (Miller y Dumford, 2016), lo cual es erróneo teniendo en cuenta que, por ejemplo, en ciencias naturales la creatividad está asociada a los elementos implicados en los procesos de indagación científica, a través de los cuales se construyen nuevas maneras de interactuar y entender el mundo desde perspectivas teóricas específicas del campo de conocimiento. Hadzigeorgiou et al. (2012), señalan al respecto que

la invención, por supuesto, de conceptos y teorías, la mayoría de las veces requiere saltos imaginativos extraordinarios, pero también es cierto que incluso el trabajo científico cotidiano, como, por ejemplo, la búsqueda y resolución de problemas, la formación de hipótesis y la elaboración de modelos, requiere un pensamiento imaginativo/creativo. (p. 603-604)

En consonancia con lo anterior, Hu y Adey (2002) señalan que, “casi por definición, la investigación científica requiere creatividad en el sentido de ir más allá de los conocimientos y las técnicas existentes, de crear nuevos conocimientos” (p. 389). Si se tienen en cuenta los puentes que existen entre la creatividad y el quehacer científico, la escuela se puede constituir en un escenario óptimo para el desarrollo de la creatividad científica, desde las primeras etapas hasta contextos de educación superior en donde los estudiantes tengan la oportunidad de “explorar su repertorio intelectual, imaginar una variedad de rutas hacia una solución y, a menudo, crear nuevas combinaciones de conocimientos o nuevas técnicas para una solución” (p. 389).

A partir de las consideraciones anteriores, es conveniente entonces asumir una posición teórica frente a lo que se concibe como creatividad científica. Tran et al. (2021b) la definen como “un proceso de resolución de problemas que implica tres etapas diferentes que (...) incluyen la interacción de la generación de hipótesis, el diseño y la realización de experimentos, y la evaluación

de pruebas (p. 2). Otra definición de creatividad científica que ha sido valorada positivamente (Tran et al., 2021a, 2021b), es la elaborada por Hu y Adey (2002), quienes la consideran como “un tipo de rasgo o capacidad intelectual que produce o puede producir un determinado producto que es original y tiene un valor social o personal, diseñado con un propósito determinado, utilizando una información dada” (p. 392); los autores fundamentan dicha definición bajo los supuestos de que la creatividad científica: difiere de otros tipos de creatividad en tanto hace referencia a experimentos científicos creativos, a la búsqueda y resolución de problemas científicos de manera creativa y a la actividad científica creativa; es una habilidad cuya estructura es independiente de factores no intelectuales, pese a que pueden tener una influencia sobre ella; depende de los conocimientos y habilidades científicas; debe ser una combinación de una estructura estática y en desarrollo, por considerar que, teniendo la misma estructura mental básica de creatividad científica, la del científico está más desarrollada que la del adolescente; y por último, se considera que la inteligencia y la creatividad son dos factores distintos de una función particular que tiene su origen en la capacidad mental. Vale la pena mencionar que, si bien las definiciones previamente presentadas permiten hacerse una idea de las características de la creatividad científica, se sigue abordando de manera intrapsíquica y por tanto desconoce el carácter sociocultural y sistémico de la misma. Por lo anterior, se propone en este trabajo la siguiente definición de creatividad científica: proceso colaborativo y dinámico que surge de la interacción entre individuos, su entorno social y las herramientas disponibles. Esta interacción implica la manipulación ingeniosa y significativa de herramientas y recursos culturales, así como la colaboración activa con otros actores en el contexto de la educación en ciencias. La creatividad emerge cuando estas interacciones conducen a la generación de ideas, soluciones innovadoras y articulaciones novedosas mediante las cuales los sujetos transforman las significaciones establecidas, las cuales deben ser percibidas como valiosas y pertinentes dentro del sistema cultural, asociado en este caso al aula de ciencias en la que circula el conocimiento científico escolar, promoviendo así su evolución y desarrollo.

Teniendo en cuenta esta definición cobran relevancia aquellos enfoques y/o estrategias que han sido propuestas para ser implementadas en la escuela con el fin de favorecer la creatividad científica de los estudiantes. Kind y Kind (2007) plantean que, después de revisar diferentes estudios, aquellos enfoques y/o estrategias que cobran mayor relevancia son la enseñanza creativa, las relaciones entre el arte y la ciencia, los procesos de indagación científica y la naturaleza de la ciencia. En relación con la enseñanza creativa, plantean que ésta está determinada por la manera

en que el profesor gestiona y organiza el aprendizaje y por las características de las actividades que propone en términos del nivel de interacción entre pares, de apertura y de la diversidad e interacción con los materiales de los cuales se disponen. Por su parte, el establecimiento de relaciones entre la ciencia y el arte también se constituye en otra estrategia que puede ser usada para generar espacios que favorezcan el desarrollo de la creatividad científica. Al respecto mencionan que en la comunidad académica se pueden identificar dos líneas de pensamiento referente a la relación entre estas dos áreas. Una de ellas plantea que el arte es solo una herramienta para que la educación científica sea más creativa y la otra define la ciencia como una actividad estética y creativa. En este trabajo se asume la segunda postura, por considerar, en común acuerdo con otros autores (Root-Bernstein, 1996; Hadzigeorgiou et al., 2012; Hammer, 2014; Tan et al., 2021) que la ciencia y el arte presentan una conexión en un sentido ontológico, teniendo en cuenta que el valor estético actúa como mediador en la manera de contemplar, representar y transformar el mundo:

Tanto en las artes como en las ciencias, el “producto acabado” ya sea un cuadro, una pieza musical, una fórmula o un diagrama, representa un quantum de interpretación que da sentido a las señales abstractas externas. El conjunto de decisiones, actividades y procesos que conforman una estética puede considerarse como el puente que une el mundo abstracto que percibimos con el mundo ordenado que articulamos. (Hammer, 2014, p. 72)

En este sentido Watts (2001), como una materialización de la idea anterior propone que, por ejemplo, un trabajo conjunto entre la poesía y la ciencia les permite a los estudiantes familiarizarse con elementos de los campos conceptuales de la ciencia, observar en un sentido profundo las dinámicas de la naturaleza, jugar con las palabras y el lenguaje de manera imaginativa y creativa, y fortalecer los procesos de aprendizaje desde una dimensión emocional. Por su parte, Massoudi (2003) indica que los científicos y los artistas atraviesan por un estado espiritual que les permite ver lo complejo en lo obvio y observar de manera especial y contemplativa los fenómenos de la naturaleza, este autor señala que una posible ruta para desarrollar la creatividad científica es la escritura creativa. Al parecer el hecho de incorporar el valor estético en la educación en ciencias genera un fuerte vínculo con lo emocional que favorece la profundidad y el sentido que los estudiantes le pueden otorgar a su proceso de aprendizaje. Girod et al. (2003) invitan en este sentido a los profesores a generar experiencias que permitan la apreciación estética de las ideas de la

ciencia, por considerar que comprender la naturaleza requiere adentrarse en los objetos, acontecimientos e ideas de la ciencia a través de una interacción permanente entre elementos propios de las emociones y de los procesos de razonamiento.

La actividad científica es ineluctablemente creativa y está articulada a una estructura conceptual específica y, por tanto, la tarea de los profesores radica en plantear actividades que les permita a los estudiantes llegar de manera natural a esa conclusión. Además de estas estrategias, Hadzigeorgiou et al. (2012) plantean que las actividades que se diseñen para el desarrollo de la creatividad científica deben proporcionar oportunidades para que se pueda poner en juego el pensamiento imaginativo/divergente de los estudiantes y adentrarlos en experiencias estéticas con el conocimiento. Teniendo en cuenta lo anterior indican que el uso de tecnologías para construir modelos científicos y representar fenómenos, la resolución creativa de problemas, la escritura científica creativa, la resolución de misterios, la creación de analogías para comprender fenómenos e ideas, la indagación científica creativa y la articulación de ideas o hechos aparentemente desconectados, se consideran como actividades que podrían fomentar la creatividad científica de los estudiantes. Independientemente del enfoque y/o estrategia, Kind y Kind (2007) advierten que lo más importante a la hora de plantear ambientes de aprendizaje que favorezcan la emergencia de la creatividad científica, es no perder de vista que el objetivo principal es el aprendizaje de la ciencia y no la expresión artística; en este sentido invitan a profundizar en las características de la creatividad científica y en los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

3.2.3 De STEM a STEAM

Se puede dar cuenta del origen de STEM con un evento que marcó la historia de la humanidad: la puesta en órbita del Sputnik por la URSS en 1957. Este hecho desató una competencia aeroespacial con los EEUU, quien estableció políticas públicas que afectaron directamente el ámbito educativo pues se priorizó y potenció la formación en Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas en los diferentes niveles de escolaridad (Domenech, 2019).

Posteriormente, en las tensiones que Estados Unidos atravesaba en la década de 1990, producto de un marcado interés por responder las demandas que traía consigo la globalización, por ejemplo, la necesidad de fortalecer la mano de obra, los productos, el desarrollo y la integración de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas; el constructo STEM se establece en Norteamérica

como un marco orientador que recoge estas intencionalidades (Iammartino et al., 2016). Además, se considera que el enfoque STEM

persigue la integración intencional de las diferentes disciplinas utilizadas en la resolución de problemas en el mundo real para reducir los problemas y desafíos de la educación científica actual: el declive del interés por estudios de ciencias, la brecha de género en cuestiones científico-tecnológicas, o la enseñanza inadecuada de las ciencias que no despierta la curiosidad en los niños ni fomenta sus vocaciones científicas y tecnológicas. (Greca y Meneses, 2018, p. 23)

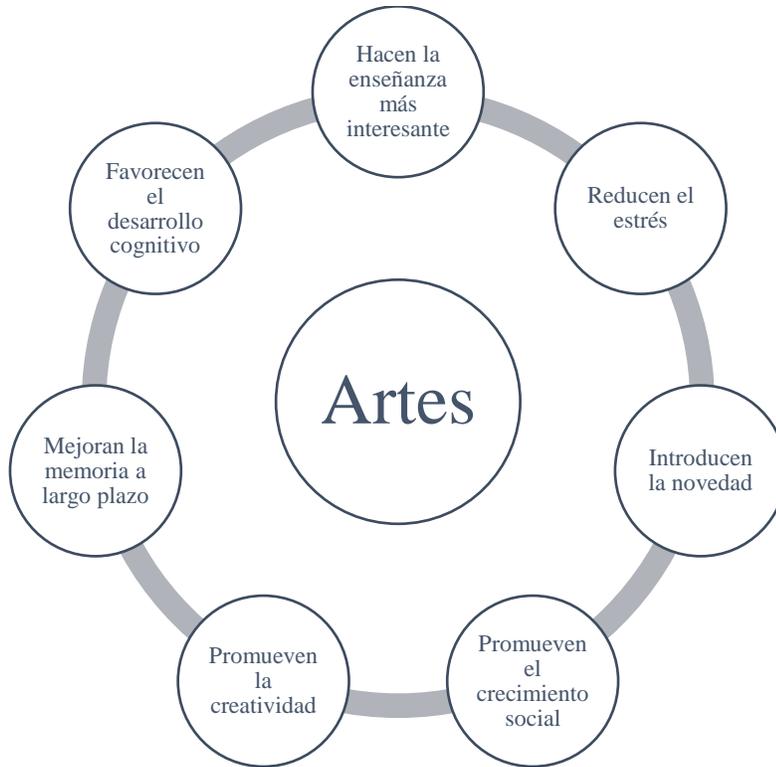
Desde el punto de vista de Domenech (2019), STEM emerge como una apuesta política que persigue básicamente tres objetivos: promover las vocaciones científico-tecnológicas, favorecer los procesos de inclusión y alfabetizar la ciudadanía para abordar una agenda de innovación e investigación. Una de las principales críticas que se le hace a STEM es atender solo al primer objetivo, que presenta una marcada intencionalidad empresarial y económica. No obstante, como indica este mismo autor, “sería un error considerar que la formación ciudadana en ámbitos STEM es sólo algo que surge de intereses económicos estratégicos. Es también algo que urge como herramienta de emancipación ciudadana” (p. 157).

Años más tarde se plantea una renovación del término en el contexto asiático. Específicamente en Corea se propone la incorporación de las artes “A” al enfoque STEM (Yakman y Lee, 2012). De esa manera en el año 2006 la educación STEAM comienza a surgir como una apuesta educativa que hace énfasis en el cultivo de una formación integral de sujetos creativos e innovadores (Connor et al., 2015). A partir de entonces, STEAM comienza a ser concebido como un enfoque en el que las artes desempeñan un papel crucial para afrontar la complejidad de las actuales dinámicas sociales, a través del desarrollo de destrezas de diferente índole como la capacidad de trabajar con otros, la comunicación, el pensamiento creativo y crítico y una disposición hacia el aprendizaje permanente (Taylor, 2016).

Algunos autores como Sousa et al. (2018) han identificado la importancia de la incorporación de las Artes en la educación STEAM dadas las ventajas que ofrece en el proceso formativo de los estudiantes. La Figura 6 da cuenta de dichas posibilidades.

Figura 6

Posibilidades de la incorporación del arte en la educación STEAM



Tomado de Sousa et al. (2018).

Es importante mencionar la importancia de la incorporación de las artes y las disciplinas STEM, pues existe una concepción general que considera que esta articulación es inviable por las diferencias que tradicionalmente se les han atribuido. La Tabla 9 da cuenta de dichas concepciones que han permeado de manera importante los contextos escolares al plantear las disciplinas STEM y las artes como opuestos:

Tabla 9

Diferencias tradicionales entre las disciplinas STEM y las artes

STEM	Artes
Objetivas	Subjetivas
Lógicas	Intuitivas
Analíticas	Atractivas
Reproductibles	Únicas
Útil	Triviales

Nota. Tomado de Sousa y Pilecki (2018)

Esta visión de las disciplinas STEM y las artes es reducida y actúa como obstáculo a las posibles y potenciales articulaciones que se pueden establecer entre ellas, al plantearlas como opuestos.

Respecto la noción de STEAM, Alexopoulos et al. (2021) lo entienden como un paraguas que recoge la idea de articular la creatividad con la ciencia y las artes e indica que, si bien se puede identificar un consenso frente a algunas generalidades de lo que se entiende por STEAM, no hay una definición clara y precisa en torno a este concepto. STEAM ha sido concebido como enfoque educativo (Wannapiroon y Petsangsri, 2020; Rahmawati et al., 2021; McKlin et al., 2018); modelo (Aguilera y Ortiz, 2021; Fernández y Romero, 2020); método (Engelman et al., 2017); estrategia educativa interdisciplinaria (Conradty y Bogner, 2019, 2020; Tran et al. 2021a, 2021b); y otros como un tipo de educación (Cheng et al., 2022; Leroy y Romero, 2021; Wilson et al., 2021).

Entre otras cosas, este carácter polisémico de STEAM ha hecho que sea objeto de múltiples críticas en torno a su origen y naturaleza, algunas de ellas son: la falta de conocimiento del profesorado sobre la manera de llevar a cabo propuestas STEAM, estar marcado por un carácter neoliberal con fines únicamente económicos, el hecho de no tener en cuenta claramente la perspectiva social y humanística, la falta de conceptualización respecto al constructo, la falta de distinción entre propuestas STEAM y propuestas para la enseñanza de las ciencias, la ausencia de un marco fundamentado y específico de conocimiento didáctico del contenido y de la naturaleza epistemológica de cada una de las disciplinas que conforman STEAM (García-Carmona, 2020).

El enfoque educativo STEAM le apuesta al desarrollo de habilidades de diversa índole y aspectos emocionales que fortalecen el interés por el conocimiento, la transformación y aplicación de este. En relación con el desarrollo de habilidades, STEAM favorece la creatividad, el pensamiento crítico, la resolución de problemas, el trabajo colaborativo, el pensamiento computacional y de diseño (Wannapiroon y Petsangsri, 2020; Tran et al., 2021a; Rahmawati et al., 2021; Engelman et al., 2017; Leroy y Romero, 2021). En cuanto a los aspectos emocionales, diversos autores indican que STEAM hace el aprendizaje más atractivo, aumenta la motivación, la expresión personal, transfiere entusiasmo, mejora el compromiso y la persistencia de los estudiantes en el desarrollo de las actividades que propone el profesor (Engelman et al., 2017; Conradty y Bogner, 2019; Tran et al., 2021a; Alexopoulos et al., 2021).

La educación STEAM implica a los estudiantes en actividades como la exploración de desafíos y problemas del mundo real, el manejo de tecnologías y en experiencias estéticas con el conocimiento (Rahmawati et al., 2021; Wilson et al., 2021) Además, la integración disciplinar en la educación STEAM permite el desarrollo del pensamiento convergente, característico de las disciplinas STEM, y el divergente, más relacionado con las artes (Land, 2013; Maeda, 2013). La educación STEAM como constructo sienta sus bases sobre la idea del desarrollo de la creatividad a partir de la articulación entre la ciencia y el arte (Wannapiroon y Petsangsri, 2020), la cual puede ser catalizada y potenciada a través del uso de las tecnologías, que juegan un papel crucial en los planes de integración curricular (Alexopoulos et al., 2021). El planteamiento anterior, permite cuestionar mitos referentes a que solo los artistas pueden ser creativos y que la creatividad es un talento de un grupo selecto de personas (Conradty y Bogner, 2020; De Bono, 1990).

En relación con la fundamentación pedagógica del enfoque STEAM, Zamorano et al. (2018) indican que la naturaleza de sus características puede ser entendida desde el construccionismo de Papert (1993) en el que el aprendizaje es concebido como

un proceso continuo, variable y particular, que se construye y reconstruye a medida que el individuo interacciona de manera dinámica con el mundo físico, social y cultural en el que está inmerso y en la construcción de objetos que atiendan a la necesidad de solucionar un problema a través de procesos de investigación y diseño, siendo esta interacción y construcción las claves en la producción de conocimiento, entendido como fruto del trabajo propio y el resultado del conjunto de vivencias del individuo desde que este nace. (Zamorano et al. 2018, p. 5)

Lo anterior da cuenta de la importancia de los elementos de la cultura a los cuales el sujeto tiene acceso, de las interacciones sociales y de las características de los ambientes en los cuales emergen los actos creativos. Por ello, la perspectiva se posiciona como una alternativa apropiada para analizar estos asuntos.

Siguiendo el paradigma construccionista, la enseñanza se organiza en torno a un tema central del cual se plantea un desafío cercano al contexto de los estudiantes y que implique la integración de las disciplinas STEAM y, si bien hay diferentes metodologías que pueden hacer parte del enfoque STEAM se pueden identificar tres fases en el proceso de enseñanza:

contextualización, diseño creativo y toque emocional (Zamorano et al., 2018). Dichas fases son descritas con detalle en el apartado correspondiente a la metodología.

La integración de las disciplinas es sin duda un elemento característico de la educación STEAM. En este sentido se hace necesario aproximarse a lo que se entiende por cada una de las disciplinas que constituyen STEAM, tal y como se plantea en la Tabla 10.

Tabla 10

Disciplinas que integran la educación STEAM

Disciplinas STEAM	Descripción
Ciencia	La Ciencia es el estudio del mundo natural, incluidas las leyes de la naturaleza asociadas con la física, la química, la biología y la geología y el tratamiento o aplicación de hechos, principios, o conceptos asociados con estas disciplinas. La ciencia es a la vez un cuerpo de conocimiento que ha sido acumulado a lo largo del tiempo y un proceso - investigación científica - que genera nuevos conocimientos. El conocimiento de la ciencia sienta las bases del proceso de diseño en ingeniería (NRC, 2009).
Tecnología	La Tecnología, aunque no es una disciplina en sentido estricto, comprende todo el sistema de personas y organizaciones, conocimiento, procesos y dispositivos que entran en la creación y operación de artefactos tecnológicos, así como los artefactos mismos. A lo largo de la historia, los humanos hemos creado tecnología para satisfacer nuestras necesidades y deseos. Gran parte de la tecnología moderna es un producto de la ciencia y la ingeniería, y las herramientas tecnológicas son usadas en ambos campos (NRC, 2009).
Ingeniería	La Ingeniería es a la vez un cuerpo de conocimiento sobre el diseño y la creación de productos hechos por el hombre, y un proceso para resolver problemas. Este proceso es realizado bajo ciertas restricciones. Una restricción en el diseño de ingeniería son las leyes de la naturaleza o la ciencia. Otras restricciones incluyen tiempo, dinero, materiales disponibles, ergonomía, regulaciones ambientales y la posibilidad de construirlos y repararlos. La ingeniería utiliza conceptos de ciencia, matemáticas y herramientas tecnológicas (NRC, 2009).
Artes	El Arte ha sido introducido en las propuestas STEM atendiendo a dos razones. Por una parte, como elemento central para el fomento del tipo de pensamiento creativo e innovador que hace posibles ideas revolucionarias, como el iPhone. Por otra, se considera que el Arte y el diseño pueden hacer que las disciplinas STEM sean más accesibles. Esto no significa que se "ablanden" la ciencia o las matemáticas, sino que el representarlas en un contexto aplicado puede ser motivador para algunos alumnos.
Matemáticas	Las Matemáticas son el estudio de patrones y relaciones entre cantidades, números y espacio. A diferencia de la ciencia, donde la evidencia empírica se busca para justificar o rebatir afirmaciones, las afirmaciones en matemáticas están garantizadas a través de argumentos lógicos basados en supuestos fundacionales. Los argumentos lógicos son parte de las matemáticas junto con las afirmaciones. Al igual que en la ciencia, el conocimiento en matemáticas continúa creciendo, pero a diferencia de la ciencia, el conocimiento en matemáticas no se anula, a menos que los supuestos fundacionales se transformen. Categorías conceptuales específicas de las matemáticas de primaria incluyen números y aritmética, geometría y estadística y probabilidad. Las matemáticas se usan en ciencia, ingeniería y tecnología (NRC, 2009).

Nota. Adaptado de Greca y Meneses (2018)

Cabe mencionar que son cada vez más los autores que ponen de manifiesto la necesidad de trascender un abordaje compartimentado de los contenidos curriculares a fin de alcanzar una integración disciplinar que permita un aprendizaje significativo (Connor et al., 2015; Develaki, 2020). Ortiz-Revilla et al. (2021) plantean que STEAM se posiciona como un tipo de educación que favorece estos procesos de integración disciplinar y “se postula como uno de los enfoques educativos con mayores expectativas para la mejora del desarrollo integral del alumnado a lo largo de las diferentes etapas educativas” (Ortiz-Revilla et al., 2021, p. 14). Lo anterior parte del hecho de que STEAM plantea una combinación de trabajo estético y analítico, los cuales son característicos del campo de las ciencias y las artes respectivamente, lo cual favorece un aprendizaje transversal y sostenido (Bequette y Bequette, 2012).

Ahora bien, vale la pena mencionar que la integración disciplinar se puede presentar a través de diferentes modalidades, tal y como lo plantean Ortiz-Revilla et al. (2021). En la Tabla 11 se presentan las diferentes modalidades de integración curricular que se pueden dar en el marco de la educación STEAM según Gresnigt et al. (2014).

Tabla 11

Diferentes formas de integrar las disciplinas de la educación STEAM

Tipo	Descripción
Aislada/fragmentada	Asignaturas y temas distintos y separados. Forma tradicional de enseñanza.
Conectada	Se realiza una conexión explícita entre las disciplinas separadas, relacionando de forma deliberada los temas (no se espera que los alumnos, a pesar de ver temas semejantes en distintas asignaturas, realicen las conexiones por sí solos).
Anidada	Una habilidad o conocimiento de otra asignatura se desarrolla en otra asignatura. El contenido de una asignatura puede ser usado para enriquecer otra asignatura.
Multidisciplinar	Dos o más asignaturas son organizadas alrededor de un tópico, pero las asignaturas preservan su identidad.
Interdisciplinar	En un curso interdisciplinar, puede no haber referencias a las disciplinas individuales. Hay una pérdida de la perspectiva de las asignaturas, y las competencias y los conceptos son enfatizados a través de las disciplinas, más que dentro de las disciplinas.
Transdisciplinar	El currículo trasciende las asignaturas individuales, y el foco está en el campo de conocimiento, tal como aparece en el mundo real.

Tomado de Gresnigt et al. (2014).

Otro tipo de integración disciplinar es la que proponen Couso et al. (2022), denominada cros-disciplinar y considera que trabajar todas las disciplinas al tiempo es contraproducente en la medida que se realiza un abordaje superficial de las mismas. Por lo anterior, estos autores ponen

de manifiesto que lo importante no es tanto incluir diversas disciplinas, sino aprender sus formas de hacer, pensar, hablar y ser. En este sentido en la articulación cros-disciplinar normalmente hay una disciplina que lidera los procesos y las demás entran a tomar parte en mayor o menor grado; desarrollando de esta manera competencias transversales y específicas de las respectivas disciplinas.

Este trabajo se concibe en una perspectiva cros-disciplinar en la medida que la ciencia, específicamente la física, adquirió un papel protagónico. Por su parte, la ingeniería mediante el prototipado tuvo lugar en ciertos momentos de la propuesta. Respecto a las tecnologías, estas permitieron la articulación entre disciplinas y actuaron como mediadoras del proceso en tanto herramientas fundamentales para la consecución del objetivo trazado, relacionado con la visualización de las propiedades de las ondas sonoras. Finalmente, las artes fueron concebidas, al igual que la ciencia, como experiencia estética, teniendo en cuenta que los estudiantes comunicaron mediante una unidad sentido (artefacto final), las propiedades del fenómeno de cual querían dar cuenta, alusivo a las ondas sonoras.

STEAM adquiere especial relevancia en la sociedad actual pues la complejidad de los problemas que se evidencian en el siglo XXI requiere de abordajes en los que se impliquen diversas disciplinas. Esto con el fin de realizar una comprensión holística de las situaciones y poder enfrentarlas de la manera más acertadamente posible. Al respecto Couso et al. (2022) señalan que:

Los fenómenos del mundo, en realidad, no son ni disciplinares ni interdisciplinares: están ahí, existen, independientemente de si nosotros los queremos abordar o no, ni de cómo lo haremos... Lo que sí está dividido en disciplinas es nuestro conocimiento actual del mundo real, lo cual hace que en el mundo real profesional afrontemos los fenómenos complejos desde diferentes miradas. Esto implica involucrar conjuntamente diferentes experiencias disciplinarias, y nos hace falta (y esto es suficientemente importante) que las personas que dominen diferentes disciplinas sepan dialogar entre ellas. En el aula, podríamos emular esta realidad haciendo partícipe al alumnado de actividades que requieran diferentes miradas y experiencias, haciendo explícito cuándo nos debemos poner las gafas de la ciencia o de la matemática. (p. 62)

Una característica recurrente que se observa desde las primeras ideas sobre el enfoque STEAM es su naturaleza transdisciplinaria y su asociación con una perspectiva epistemológica que reconoce la incapacidad de resolver los problemas sociales únicamente a través de enfoques disciplinarios exclusivos (Herro y Quigley, 2017). No obstante, Ortiz-Revilla et al. (2021) mencionan que los marcos referenciales de la educación STEAM muestran un desarrollo incipiente, caso contrario a lo que sucede con la evidencia empírica que crece de manera exponencial. En este sentido, los autores realizan un proceso de identificación de los modelos teóricos que se hacen explícitos en diferentes trabajos alusivos a propuestas STEAM con el fin de hacer un análisis crítico y una evaluación de los alcances de este enfoque. En la Tabla 12 se presenta una síntesis de las características de los modelos identificados por los investigadores.

Tabla 12*Modelos teóricos para el desarrollo de propuestas STEAM*

Autores	Descripción del modelo para el desarrollo de propuestas STEAM
Quigley et al. (2017)	El modelo propuesto se divide en dos dominios: contenido instructivo y contexto de aprendizaje, cada uno con tres dimensiones clave. En el contenido instructivo, se destacan las dimensiones del material didáctico inicial, la integración disciplinar y las habilidades para la resolución de problemas. La primera dimensión enfatiza la necesidad de que el contenido se base en problemas del mundo real, con objetivos de aprendizaje claros y alineados con estándares disciplinarios. La segunda dimensión resalta la importancia de presentar el material de manera clara y conectada entre diferentes disciplinas. La tercera dimensión se centra en el desarrollo de habilidades cognitivas, de interacción y creativas para resolver problemas eficazmente. En cuanto al contexto de aprendizaje, se consideran las dimensiones de enfoques pedagógicos, prácticas de evaluación y participación equitativa. La primera dimensión aborda la estructuración del entorno del aula y los recursos para facilitar el aprendizaje, promoviendo la indagación en múltiples dominios con el uso de la tecnología. La segunda dimensión se enfoca en el proceso iterativo de mejora de la instrucción y la evaluación, utilizando múltiples fuentes de datos y proporcionando retroalimentación periódica. La tercera dimensión se refiere a facilitar el acceso y la participación en el aprendizaje, considerando la diversidad, la relevancia de la tarea y la elección del estudiante.
Chu et al. (2019)	Se propone un marco teórico para desarrollar programas STEAM con enfoque intercultural, que considera aspectos epistemológicos, psicológicos y metodológicos. Se basa en el socio-constructivismo, donde el conocimiento se construye colectivamente, y en el aprendizaje situado, que vincula el aprendizaje con la actividad, contexto y cultura. Se utiliza el modelo 5E de instrucción cíclica para la enseñanza basada en la indagación, que consta de cinco etapas: participar, explorar, explicar, elaborar y evaluar. Las lecciones STEAM comienzan con la participación, seguida de exploración en grupos pequeños, luego explicación y elaboración colaborativa de modelos, y finalmente evaluación con un modelo preciso.
Kim y Chae (2016)	Los autores proponen un marco de referencia basado en tres pasos de la Fundación Coreana para el Avance de la Ciencia y la Creatividad (KOFAC, 2012): presentación de la situación, diseño creativo y toque emocional, para potenciar las habilidades de resolución de problemas del mundo real en los estudiantes. Estos elementos generan experiencias de aprendizaje que integran conocimientos y procesos de diversas áreas científico-tecnológicas, motivando a los estudiantes a resolver problemas por sí mismos. En el primer paso, se enfatiza la conexión del problema con la vida real del estudiante. En el segundo, se fomenta la resolución creativa y la

	comunicación en actividades cooperativas. Finalmente, se busca ampliar el aspecto emocional del aprendizaje para desarrollar la percepción, expresión y simpatía de los estudiantes.
Lin y Tsai (2021)	El modelo de los autores adopta cinco estrategias pedagógicas: andamiaje, tutoría, participación, argumentación y modelado, proporcionando un enfoque interdisciplinario a través de cursos transversales y recursos de aprendizaje. Se utiliza una metodología basada en proyectos ambientales, donde los estudiantes trabajan en grupos con la orientación de un profesor asignado. Se enfatiza en la realización de experimentos, diseños y discusiones socio-científicas para fomentar el pensamiento crítico y la comprensión de las implicaciones de la ciencia y la tecnología en la sociedad. Además, se llevan a cabo actividades de modelado y se requiere el uso de métodos científicos para completar los productos y elaborar un informe final.
Kim (2016)	Los autores se plantean como objetivo establecer un modelo educativo que conecte STEAM con las Humanidades utilizando contenidos científicos tradicionales coreanos. Este modelo adopta un enfoque disciplinario paralelo, donde un tema central se desarrolla a través de ocho materias, formando un estudio multidisciplinario. Se compara esta estructura con una rueda, donde el tema central es el eje, los estudios disciplinarios son los radios y el estudio multidisciplinario es la llanta. Los estudiantes adquieren un conocimiento completo del tema y luego eligen un estudio disciplinario para llevar a cabo un proyecto durante cinco meses, aprendiendo métodos de recopilación y análisis de datos. En el segundo periodo, los equipos de estudiantes comunican los resultados y se procede a una fase de estudio multidisciplinario convergente, donde desarrollan un producto a través de un proceso jerarquizado en cuatro niveles: datos, información, conocimiento y producto, experimentando la creación de productos mediante la convergencia de conocimientos.
Wannapiroon y Petsangsri (2020)	Los autores desarrollan el modelo de STEAMificación en un entorno de aprendizaje de aula invertida para potenciar el pensamiento y la innovación creativos. El modelo consta de seis componentes principales: instructor, alumno, contenido de aprendizaje, recurso en línea, infraestructura y entorno de aprendizaje de aula invertida. Se plantean tres pasos: preparación antes del experimento, actividad de aprendizaje STEAMificación en el entorno de aula invertida utilizando la gamificación, y evaluación de la habilidad de pensamiento creativo y la innovación creativa.
Trott et al. (2020)	Los autores proponen integrar el arte y las ciencias como elemento esencial para comprender y abordar los desafíos de la sostenibilidad. Presentan un marco metodológico que combina tres elementos: aprendizaje transdisciplinar, proceso participativo y acción colaborativa. El aprendizaje se centra en problemas del mundo real relacionados con la sostenibilidad, el proceso participativo involucra a investigadores y participantes para abordar problemas en comunidades locales, y la acción colaborativa busca transformar la sociedad hacia la sostenibilidad mediante la generación de alternativas sostenibles. Los problemas de sostenibilidad cercanos al alumnado sirven como punto de partida para este enfoque de acción colaborativa dirigido por los jóvenes.
Kummanee et al. (2020)	Los autores proponen un modelo de gamificación STEAM para promover habilidades de innovación y logro de aprendizaje. Este modelo consta de tres partes: un ecosistema de aprendizaje digital, la gamificación STEAM y elementos de gamificación. El ecosistema digital involucra a usuarios y componentes tecnológicos, con el profesorado facilitando la utilización efectiva de herramientas digitales. La gamificación STEAM implica cinco pasos: definición del problema, diseño de herramientas, producción de instrumentos, testeo y mejora, y presentación de soluciones. Los elementos de gamificación incluyen objetivos, reglas, refuerzos, tiempos y retroalimentación, utilizados por los profesores para fomentar el interés y la diversión en el aula.
Constantino (2018)	El autor presenta un modelo transdisciplinario de estudios basado en la investigación creativa y las pedagogías del arte y del diseño. Se centra en la definición y perfeccionamiento del problema, la exploración multimodal, la elaboración crítica y la presentación de ideas, con críticas en varios momentos del proceso. Se ilustra con un proyecto que combina herramientas de pensamiento de la ingeniería y el arte. Las 13 herramientas de pensamiento, como observar, imaginar, abstraer, reconocer patrones, formación de patrones, analogía, pensamiento corporal, empatía, pensamiento dimensional, modelar, jugar, transformar y sintetizar, se aplican en un proceso de resolución de problemas donde los estudiantes trabajan en equipos. Este modelo, aunque no es exclusivo de STEAM, enfatiza el aprendizaje basado en problemas y valora las pedagogías del arte y el diseño en relación con disciplinas STEM.

Adaptado de Ortiz-Revilla et al. (2021)

Para este trabajo se tuvo en cuenta el modelo planteado por Kim y Chae (2016) el cual está en consonancia con lo encontrado por Zamorano et al. (2018), quienes identifican las etapas de contextualización, diseño creativo y toque emocional. Se selecciona este modelo por tener en cuenta las principales fases de las diferentes propuestas STEAM y porque se corresponde con las fases de una experiencia estética (anticipación, desarrollo y unidad), un concepto estructurante en esta investigación. Además, estos autores, hacen explícito un sustento epistemológico como base para establecer de qué manera se construye el conocimiento en la educación STEAM; específicamente aluden al paradigma construccionista de Seymour Papert. Lo anterior le otorga mayor confiabilidad al modelo y permite identificar los elementos a tener en cuenta a la hora de diseñar una propuesta STEAM.

3.2.4 *Tecnologías en la Educación Científica*

La tecnología es una disciplina constituyente de la educación STEAM y adquiere relevancia especial en este trabajo puesto que las actividades para el desarrollo de la creatividad científica estarán mediadas en mayor medida por herramientas tecnológicas. Diferentes autores han desarrollado clasificaciones que permiten diferenciar las tecnologías en función de los objetivos que favorece, ya sean de índole educativo o no. Estas clasificaciones están planteadas en términos de la enseñanza en general (Cacheiro, 2011; Zapata, 2012) y la educación científica en particular (Pontes, 2005a; Capuano, 2011; Simó et al., 2017).

Concretamente, Cacheiro (2011) plantea tres categorías generales para distinguir las tecnologías: información, colaboración y aprendizaje; no obstante, hace hincapié en que un mismo recurso puede ser utilizado para diferentes funcionalidades. Por su parte Zapata (2012), señala que las tecnologías, como los recursos educativos digitales, se caracterizan principalmente por el uso de imágenes, audio y video, y requieren de un dispositivo para acceder a estos. El uso de las tecnologías puede estar dirigido a la formación de conceptos, entre los cuales predominan los tutoriales, páginas web y los videos y animaciones, que permiten explorar información para ampliar los conocimientos sobre un tema de interés. Así mismo, pueden aportar a la comprensión, asociación y consolidación de aprendizajes, donde se utilizan las simulaciones, laboratorios

virtuales, aplicaciones (apps), juegos educativos y otros software que permiten desarrollar procesos y habilidades, así como establecer relaciones y construir conocimiento (Zapata, 2012).

En relación con la caracterización de las tecnologías en la educación científica, Pontes (2005a) indica que entre los programas específicos de enseñanza de las ciencias destacan los programas de ejercitación y autoevaluación, los tutoriales interactivos, las enciclopedias multimedia, los tutores inteligentes, sistemas adaptativos multimedia y los sistemas de autor. También son relevantes en este conjunto de recursos las simulaciones, los laboratorios virtuales y el Laboratorio Asistido por Ordenador (LAO). Por su parte Simó et al. (2017), plantean que las tecnologías pueden ser clasificadas en el marco de la práctica científica, así entonces se reconocen aquellas utilizadas en la indagación en el mundo real, en donde apoyan la recogida de datos y el análisis experimental de fenómenos reales; la indagación en el mundo virtual puesto que permiten la visualización y el análisis experimental de fenómenos virtuales; la modelación ya que posibilitan la expresión de modelos con soporte digital; y finalmente para la argumentación y comunicación en el aula de ciencias dado que pueden cualificar las interacciones entre los estudiantes y de estos con el profesor. Estos autores consideran algunas tecnologías como creativas, por ejemplo, la programación, la robótica y tecnología 3D; reconociendo que actualmente están permeando diferentes espacios de formación en ciencias y son cada vez más comunes en las aulas de clase. De igual manera, hacen alusión a otras tecnologías que, si bien no las catalogan como creativas, mencionan que posibilitan la creación y manipulación de modelos científicos ya sea “mediante interfaces y lenguajes específicamente diseñados para la modelización (Modelus, Stella, VnR o Coach-Modeling), mediante generadores de mapas conceptuales, mediante lenguajes de programación (Scratch, LegoWeDo, etc.), o incluso mediante herramientas ofimáticas (p. 694). Respecto al papel de este tipo de tecnologías, Alexopoulos et al. (2021), mencionan que las tecnologías actúan como catalizadoras en la interacción entre la ciencia y el arte, estando ello en consonancia con el presente trabajo que busca la articulación de estas disciplinas.

En relación con las tecnologías creativas, cabe mencionar que aún no se cuenta con una definición clara de las mismas en el campo educativo (Connor, 2020) y menos aún, en el marco de la educación científica. En consonancia con lo anterior, Leroy y Romero (2021) ponen de manifiesto la necesidad de “establecer estrategias para crear soluciones utilizando materiales tecnológicos, y desarrollar el pensamiento crítico de los alumnos para ayudarles a entender cómo no sólo utilizar una determinada tecnología, sino también crear algo nuevo con ella” (p. 2). En esta

investigación las tecnologías serán valoradas desde una perspectiva sociocultural, por considerar que son instrumentos de la cultura de los cuales el sujeto se apropia material y simbólicamente; proceso mediante el cual se transforma a sí mismo y a su entorno.

4. Metodología

En este apartado se presenta el enfoque y paradigma de esta investigación, se describe el tipo de estudio y el contexto en que se realiza, las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de la información y los procedimientos para el análisis de esta. Además, se presenta la propuesta didáctica y se hace referencia a las consideraciones éticas que fueron contempladas en el desarrollo de la investigación.

4.1 Paradigma y Enfoque

El trabajo se lleva a cabo bajo un enfoque constructivista enmarcado en el paradigma cualitativo (Guba y Lincoln, 2002). Desde esta perspectiva se pretende interpretar la forma en que los sujetos partiendo de sus experiencias le dan sentido a su realidad y a la de otros; es perentorio hacer visible la voz de los actores involucrados en el fenómeno y tratar de comprender la manera en que significan y transforman su mundo (Vasilachis, 2006); aspectos que se consideran fundamentales tanto en el proceso de aprendizaje como en el acto creativo de los sujetos.

4.2 Tipo de Estudio

En el marco del paradigma cualitativo en el que se sustenta este trabajo, se selecciona el estudio de caso como método de investigación. Stake (2010) lo define como “el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (p. 11). Por su parte, Yazan (2015) indica que Stake pone de manifiesto la importancia de que los investigadores reflexionen en torno a las bases epistemológicas que subyacen al estudio de caso. Según Stake, el constructivismo y el existencialismo (no determinismo) deberían ser las epistemologías que orienten e informen a la investigación cualitativa de estudio de caso ya que “la mayoría de los investigadores cualitativos contemporáneos sostienen que el conocimiento se construye más que se descubre” (Stake, 1995, p. 99). Concibe a los investigadores de estudios de casos cualitativos como intérpretes y recolectores de interpretaciones que les exigen informar sobre su interpretación de lo construido.

Un estudio de caso, según Stake debe permitirnos comprender en profundidad y de manera holística, empírica, empática e interpretativa a la persona, innovación o programa objeto de estudio. Estos diseños de investigación siguen un enfoque progresivo (*progresive in focus*), por lo que son flexibles y se adaptan a los problemas y tensiones identificados por los informantes a

medida que evoluciona el estudio (Yazan, 2015). A pesar de la creencia generalizada de que este tipo de estudios no permiten al investigador generalizar sus resultados, sí facilitan un tipo particular de generalización denominada naturalista (Stake, 1995). El estudio en profundidad de situaciones particulares claramente delimitadas permite que terceros en contextos similares puedan aprender de las conclusiones obtenidas en un caso de estudio concreto.

Según Yazan (2015), los estudios de caso también son holísticos, empíricos, interpretativos y enfáticos. Holístico porque los investigadores deben considerar la interrelación entre el fenómeno y su contexto; empírico significa que los investigadores basan el estudio en sus observaciones de campo; interpretativo puesto que los investigadores se basan en su intuición y ven la investigación básicamente como una interacción investigador-sujeto, lo cual es compatible con la epistemología constructivista. Por último, enfático significa que los investigadores reflejan las experiencias indirectas de los sujetos en un contexto émico.

Stake aboga por un diseño flexible que permita a los investigadores realizar cambios importantes incluso después de pasar del diseño a la investigación. El único diseño inicial que sugiere hace referencia a los temas que conducirán al diseño de las preguntas de investigación. Es importante distinguir la tipología del caso objeto de estudio para poder diseñarlo adecuadamente, y tener siempre presente el objetivo último con el que lo estudiamos (Yazan, 2015). Stake (2010) identifica tres tipos de estudios de caso según el propósito del estudio:

a) Estudio de caso intrínseco: se lleva a cabo para conocer un fenómeno único en el que se centra el estudio. El investigador debe poder definir la singularidad de este fenómeno que lo distingue de todos los demás; posiblemente basado en una colección de características o la secuencia de eventos.

b) Estudio de caso instrumental: para proporcionar una comprensión general de un fenómeno utilizando un caso particular.

c) Estudio de caso colectivo: se realiza para proporcionar una comprensión general utilizando una serie de estudios de caso instrumentales que ocurren en el mismo sitio o provienen de múltiples sitios.

De los diferentes tipos de estudios de caso a los que se refiere el autor, en esta investigación se opta por un estudio de casos colectivo. En este trabajo los casos fueron seis estudiantes de undécimo grado, los cuales actuaron como informantes; pues a través del análisis de sus expresiones sintácticas y pragmáticas se intentó hacer una comprensión del fenómeno o *issue* que

se pretendía estudiar, el cual en esta investigación hizo referencia al desarrollo de la creatividad científica en el aprendizaje de las ondas sonoras en el marco de una propuesta STEAM. Este tipo de estudio ha sido valorado positivamente por investigadores como Cheng et al. (2022), quienes señalan que los estudios de caso proporcionan información detallada sobre cómo y por qué la educación STEAM favorece el desarrollo de la creatividad de los estudiantes.

4.3 Contexto y Participantes

El presente estudio se llevó a cabo en el Colegio Gimnasio Cantabria ubicado en el municipio de la Estrella, Antioquia. Teniendo como participantes un grupo de estudiantes de undécimo grado que se encontraban cursando la asignatura de física con una intensidad de tres horas semanales. El grupo constó de 15 estudiantes con edades que oscilaban entre los 13 y 15 años, de los cuales se eligieron seis, teniendo como criterios de selección el hecho de que tuvieran desempeños académicos diferenciados, haber participado en la totalidad de las actividades y la aceptación voluntaria de participar de la investigación. Los momentos de la propuesta tuvieron lugar durante 8 semanas, en las cuales se abordó el fenómeno de ondas sonoras y se realizó una serie de actividades con el fin de favorecer el desarrollo de la creatividad científica y el aprendizaje de la física.

4.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Para analizar el proceso de internalización de significados y el desarrollo de la creatividad en ciencias es necesario estudiar las diferentes expresiones de los sujetos; entre ellas las que transmiten por medio de sus acciones, las que verbalizan y las que explicitan a través de representaciones semióticas. En este orden de ideas, las técnicas e instrumentos que se priorizaron fueron:

4.4.1 *Observación participante*

La observación se constituye en una de las principales técnicas para la recolección de la información; no obstante, es importante aclarar que atendiendo al rol del investigador en campo se pueden asumir distintas modalidades: participante completo, participante observador, el observador completo y el observador participante (Kawulich, 2005). Para este caso, se consideró pertinente tomar la posición de observador participante en la cual el investigador está inmerso en las dinámicas del contexto y puede hacer intervenciones o preguntas cuando lo considere necesario. Como instrumento de esta técnica se utilizó un diario de campo en el que se hizo una descripción detallada sobre los hechos observados y un breve análisis de los mismos. La observación estuvo apoyada en registros de video para captar la mayoría de acciones que daban cuenta de la manera en que los participantes llevaron a cabo procesos de internalización de significados en física y de expresión creativa.

4.4.2 *Entrevista Semiestructurada*

La entrevista puede plantearse principalmente en tres modalidades: entrevista estructurada, abierta y semiestructurada. Para esta investigación se considera pertinente la entrevista semiestructurada puesto que posee un amplio espectro de aplicación y no se somete a limitaciones espacio-temporales debido a que es posible preguntar por hechos pasados y también por situaciones planeadas para el futuro. Además, ofrece la posibilidad de centrar el tema; es decir, de direccionar la conversación al tema de interés (Díaz et al., 2013), que en la presente investigación hace referencia a las relaciones entre el proceso de internalización de significados en física y el desarrollo de la creatividad científica. El instrumento que acompañó esta técnica fue el protocolo de entrevista, el cual contempló preguntas intencionadas, de manera que las respuestas de los participantes contribuyeran al cumplimiento de los objetivos de la investigación.

4.4.3 *Grupos de discusión*

Durante el desarrollo de la propuesta, a excepción del diagnóstico, los participantes se enfrentaron de manera grupal a distintas situaciones que demandaron el uso estratégico y disruptivo de conceptos de física. Esta condición de trabajo en equipo hizo que los participantes se vieran en la necesidad de llegar a consensos para determinar las maneras en las que podrían proceder ante una situación. Mena y Méndez (2009), señalan que esta técnica hace emerger en un ambiente de confianza los discursos y relaciones complejas del sujeto con el tema estudiado que pueden escapar

a las preguntas concretas. Además, permite hacer explícitos los significados que los sujetos le atribuyen a la realidad desde sus respectivas subjetividades y de la relación con el entorno. Lo anterior está en consonancia con la perspectiva sociocultural, en la cual se encuentra enmarcada la propuesta, pues hace especial énfasis en que el desarrollo del pensamiento de un sujeto está dado por la apropiación de los signos y símbolos del espacio natural y social en el cual se encuentra inmerso. Para esta técnica se utilizó como instrumento un protocolo de preguntas que orientó las discusiones de los diferentes grupos, de manera que los aportes realizados por estos contribuyeran a la comprensión del fenómeno del cual se pretendió dar cuenta.

4.4.4 Taller

La potencialidad del taller como técnica interactiva radica en su carácter abierto y dinámico que favorece la construcción conjunta del conocimiento, la reflexión, la transformación de saberes a partir de la interacción y la expresión con sentido desde la experiencia y vivencias de los sujetos en el marco de una temática específica. Basado en los planteamientos de Foucault y Deluze, Ghiso (1999) concibe el taller como “un dispositivo para hacer ver, hacer hablar, hacer recuperar, para hacer recrear, para hacer análisis -o sea hacer visible e invisible elementos, relaciones y saberes-, para hacer deconstrucciones y construcciones” (p. 142). Por lo anterior, el taller se constituye en una técnica pertinente para analizar los procesos creativos que los participantes llevaron a cabo en el desarrollo de la propuesta.

A fin de analizar la pertinencia de los instrumentos que hicieron parte de la propuesta, se llevó a cabo una validación por pares; y a partir de los consensos a los que se llegaron en este proceso se afinaron los instrumentos, eliminando o modificando preguntas, enunciados y actividades que no estaban en coherencia con los objetivos de la investigación.

4.5 Técnicas y procedimientos para el análisis de la información

Para el análisis de la información se llevaron a cabo diferentes técnicas y procedimientos como la transcripción de entrevistas, audios y videos; el análisis de contenido, la categorización y codificación. Además, con el fin de otorgarle validez y credibilidad a la investigación se realizó un proceso de triangulación, tanto entre las diferentes fuentes de información como entre el marco teórico y los datos.

4.5.1 *Análisis de contenido, codificación y categorización*

Desde la perspectiva de Piñuel (2002), el análisis de contenido tiene el propósito de “lograr la emergencia de aquel sentido latente que procede de las prácticas sociales y cognitivas que instrumentalmente recurren a la comunicación para facilitar la interacción que subyace a los actos comunicativos concretos y subtiende la superficie material del texto” (p. 4). El análisis del material recolectado estuvo acompañado de un proceso de codificación que permitió la caracterización y clasificación de la información en función de los objetos de indagación del presente trabajo. Para Fernández (2006), dicho proceso permite fragmentar las transcripciones en diferentes categorías con características particulares, que posteriormente se relacionan para dar una explicación integrada del fenómeno del que se pretende dar cuenta. En dichas transcripciones se realizó un registro con la mayor fidelidad posible de las expresiones de los participantes, esto da cuenta de la manera en la que se considera el criterio de rigor en la investigación cualitativa asociado a la confirmabilidad, dentro de la cual se contempla la consecución de información fidedigna a la realidad de donde fue obtenida. En el proceso de transcripción se hizo uso de algunos códigos, los cuales son entendidos como “etiquetas que permiten asignar unidades de significado a la información descriptiva o inferencial compilada” (Fernández, 2006, p. 4).

El proceso de categorización se constituye en uno de los procedimientos más importantes en el ámbito de la investigación en tanto permite delimitar y analizar un objeto de estudio específico en medio de una realidad compleja. En la Tabla 13 se presentan los objetivos que orientaron la investigación y las categorías que hicieron las veces de lentes teóricos a través de los cuales se realizó una observación analítica y reflexiva del fenómeno estudiado.

Tabla 13

Categorías y subcategorías de análisis a partir de los objetivos de investigación

Objetivo General	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
	Describir el proceso de internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa	Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual	- No reproductivo - Cuasi-reproductivo - Reproductivo -Reproductivo-creativa

Analizar el desarrollo de la creatividad científica en el aprendizaje de las ondas sonoras desde una perspectiva sociocultural y sistémica a partir de una propuesta de enseñanza STEAM en la educación STEAM	Evaluar los artefactos construidos por los participantes en la propuesta STEAM a partir del marco transcultural de la creatividad	Características creativas de los artefactos construidos	-Novedad -Utilidad -Estética -Autenticidad
	Identificar el papel de la interacción social y de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica de los participantes	Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica	-La interacción social en el desarrollo de la creatividad científica -Las herramientas (tecnológicas) en el desarrollo de la creatividad científica
	Establecer articulaciones teóricas entre las perspectivas sociocultural y sistémica de la creatividad que deriven en un modelo teórico para la promoción y el estudio de esta	Articulaciones teóricas entre las perspectivas sociocultural y sistémica	
	Valorar la pertinencia del enfoque STEAM en la promoción y el desarrollo de la creatividad científica en el aprendizaje de la física	Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica	-STEAM en el aprendizaje de la física -STEAM en el desarrollo de la creatividad científica

4.5.2 Categorías para el análisis de la información

Las categorías que determinaron las características de las técnicas e instrumentos de recolección de la información y que orientaron el análisis de esta fueron: internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, las características creativas de los artefactos diseñados por los participantes en el marco de la propuesta STEAM, el papel de la interacción social y las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad, las articulaciones entre las perspectivas sociocultural y sistémica de la creatividad y la pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica. Estas categorías se describen con mayor profundidad en los resultados y están fundamentadas en los elementos del marco teórico, en esta medida pretenden hacer explícitos los supuestos epistemológicos a la luz de los cuales se llevan a cabo las respectivas interpretaciones de los datos. A continuación, se presenta la propuesta pedagógico-didáctica que se construyó y aplicó en el marco del presente trabajo con el fin de abordar los diferentes objetivos planteados.

4.6 Propuesta Pedagógico- Didáctica

En el apartado del marco teórico alusivo a la creatividad científica, se abordaron algunas estrategias que se pueden implementar para su desarrollo: la enseñanza creativa, las relaciones entre el arte y la ciencia, los procesos de indagación científica y la naturaleza de la ciencia (Kind y Kind, 2007). En este mismo sentido, se mencionó que las actividades planteadas en el marco de estas estrategias deben tener un grado de apertura tal que permita la puesta en acción del pensamiento imaginativo/divergente y una experiencia estética con los fenómenos (Hadzigeorgiou et al., 2012), sin perder de vista que, al ser creatividad científica, las creaciones de los sujetos deben estar articuladas con un campo conceptual de la ciencia (Hu y Adey, 2002). En consonancia con los planteamientos de Kind y Kind (2007), en esta investigación se implementaron las estrategias de enseñanza creativa y de relaciones entre ciencia y arte. La enseñanza creativa, dado que la gestión de los espacios en términos del nivel de apertura de las actividades, las modalidades de trabajo y los materiales a disposición tuvieron un importante valor en la propuesta. De igual manera, se propone la estrategia de la articulación entre ciencia y arte, teniendo en cuenta que el componente estético es común a ambas áreas desde el punto de vista epistémico. Tanto la ciencia como el arte se constituyen en experiencias estéticas, ya que en ambas se pueden identificar momentos de anticipación, desarrollo y unidad de las ideas que pueden verse reflejadas tanto en una pintura como en una teoría científica. Hammer (2014) menciona al respecto que, tanto en las artes como en las ciencias, el “producto acabado”, ya sea un cuadro, una pieza musical, una fórmula o un diagrama, representa un quantum de interpretación que da sentido a las señales abstractas externas. El autor indica que el conjunto de decisiones, actividades y procesos que componen una experiencia estética puede considerarse como el puente que une el mundo abstracto que percibimos con el mundo ordenado que articulamos.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se desarrolló la propuesta de intervención, la cual se estructuró en función en los elementos que componen una propuesta didáctica desde la perspectiva STEAM; los cuales, según Zamorano et al. (2018) hacen referencia a una etapa de contextualización que precede a la de diseño creativo y otra de toque emocional que es transversal al proceso. Además, teniendo en cuenta que la experiencia estética se constituye en la estrategia de articulación entre ciencia y arte, la intervención concatena las fases de una propuesta STEAM con las etapas de una experiencia estética: anticipación, desarrollo y unidad según (Dewey, 1958).

En la primera sesión de la propuesta se dieron a conocer aspectos generales de la investigación como propósitos y resultados esperados, así como el manejo adecuado y uso discrecional de la información que será recogida. Posteriormente se hizo entrega del consentimiento informado a quienes libremente manifestaron la intención de participar de este estudio teniendo en cuenta los compromisos que adquirirían. Igualmente, vale la pena mencionar que la propuesta fue validada por una experta en el campo de la educación en ciencias naturales; a partir de las correcciones realizadas se precisaron algunas actividades y se eliminaron otras, teniendo en cuenta el nivel de correspondencia que tenía con los objetivos de la investigación.

A continuación, se describe la manera en que los componentes sustanciales de una propuesta STEAM (contextualización, diseño creativo y toque emocional) se articulan con las características de una experiencia estética (anticipación, desarrollo y unidad) y se presentan las actividades en función de las características y finalidades de cada fase.

Antes de iniciar con la etapa de contextualización, se realizó un diagnóstico (Tabla 14) de concepciones alternativas relacionadas con las ondas sonoras.

Tabla 14

Diagnóstico concepciones alternativas sobre el tema de ondas sonoras

Diagnóstico		
Actividad	Diagnóstico	
Objetivo	Identificar las concepciones previas de los participantes en torno al tema de ondas sonoras	
Modalidad	Individual	
Materiales	Protocolo de preguntas y guía para la actividad de cierre	
Descripción de la actividad	A cada estudiante se le hace entrega de un protocolo de preguntas y actividades donde se le plantean situaciones relativas al concepto de ondas sonoras con el fin de identificar características de la etapa de dominio conceptual en la cual se encuentran.	Tiempo estimado: 2 horas
	Al final se organizan diferentes grupos y los estudiantes realizan una actividad práctica planteada al final del protocolo.	
Técnica/Instrumento	Taller/Protocolo de preguntas y guía de actividades	
Descripción instrumento	Taller (Guía de actividades, anexo 1)	

Luego del diagnóstico, se hizo explícita la idea que se quería desarrollar durante toda la propuesta, la cual hizo referencia a que *el sonido es el resultado de vibraciones en las moléculas*

del aire o cualquier otro medio. Vibraciones que además de escuchar, podemos observar y representar.

4.6.1 *Etapa de contextualización*

Desde la perspectiva de Zamorano et al. (2018), puede ser entendida como “la etapa introductoria de un programa STEAM, en la que se prepara al estudiante tanto intelectual como emocionalmente para la resolución del problema de interés” (p. 6). Desde el punto de vista de la experiencia estética, esta etapa corresponde a la anticipación en la cual los estudiantes identifican la idea que se pretende desarrollar; la cual, para este caso tiene que ver con la posibilidad de “ver” el sonido a través de un artefacto de naturaleza física o digital. A continuación, en la Tabla 15 se presentan las características de esta etapa.

Tabla 15

Etapa de contextualización en el marco de una propuesta STEAM

Contextualización	
Actividad	Caracterizando el sonido mediante la escucha
Objetivo	Identificar las características de diferentes sonidos mediante la escucha tales como el timbre, la tonalidad, la amplitud y la frecuencia con el fin de familiarizarse con el fenómeno de las ondas sonoras.
Modalidad	Grupal
Materiales	Reproductor de audio Varitas metálicas
Descripción de la actividad	<p><u>Sonido 1</u> Se reproducen diferentes sonidos de manera que los estudiantes los reconozcan. Estos pueden hacer alusión a un determinado animal, un partido de fútbol, al agua que corre por un río, al fuego, etc.</p> <p><u>Sonido 2</u> Se reproducen sonidos agudos y graves de manera que los participantes puedan identificar dicha diferencia.</p> <p><u>Sonido 3</u> Se reproducen sonidos desafinados y otros afinados.</p> <p><u>Sonido 4</u> Se reproduce una canción con mucho y poco volumen.</p> <p><u>Sonido 5</u> Se reproduce el sonido de una sirena que se aleja.</p> <p><u>Sonido 6</u> A cada estudiante se le da una pequeña vara metálica y con ella golpean suavemente diferentes objetos para escuchar el sonido que generan.</p>
	Tiempo estimado: 2 horas

Técnica/Instrumento	Observación Participante/Diario de campo Grupo de discusión/protocolo de preguntas Registro documental/Bitácora
Descripción instrumento	<p>Bitácora: en la bitácora aparecerán las siguientes preguntas, de manera que los participantes las respondan a medida que se va reproduciendo cada sonido.</p> <p>Sonido 1 ¿A qué situación/objeto hacen referencia cada uno de los sonidos?</p> <p>Sonido 2 ¿Qué diferencia identificaste entre ambos sonidos?</p> <p>Sonido 3 ¿Qué diferencia identificaste entre ambos sonidos?</p> <p>Sonido 4 ¿Qué diferencia identificaste entre ambos sonidos?</p> <p>Sonido 5 ¿Por qué crees que cambia el sonido de la sirena, teniendo en cuenta que la fuente del sonido es la misma?</p> <p>Sonido 6 Describe lo que identificaste al golpear diferentes objetos con la misma varita y explica por qué crees que ocurre esto desde el punto de vista físico.</p> <p>Grupo de discusión: Se retoman las preguntas de la bitácora, de manera que los participantes puedan ampliar un poco más sus respuestas e identificar los puntos de vista de los demás.</p>

Posteriormente a esta fase de contextualización, la cual cumple la función de antesala para la identificación del problema, se planteó la siguiente situación:

“Es claro que podemos escuchar el sonido y diferenciar unos sonidos de otros, pero... ¿cómo lo podemos ver? Imaginen una persona con discapacidad auditiva ¿cómo podría identificar las diferentes tonalidades? ¿cómo podría distinguir un sonido grave de uno agudo? ¿cómo podría ver cuando algo está desafinado y cuando no lo está? ¿cómo podría ver el efecto Doppler?”

Esta idea, que da lugar a la situación, será el eje transversal a la propuesta STEAM. Por lo tanto, a partir de este momento, todas las actividades estuvieron encaminadas a abordar y resolver la situación problema. En términos de la experiencia estética, podríamos mencionar que se emprende el camino para desarrollar la idea y darle sentido mediante una unidad, la cual, para este caso, hace referencia al artefacto que los participantes construirán en el marco de la etapa de diseño creativo que se describe a continuación.

4.6.2 Etapa de diseño creativo

Esta etapa es definida por Zamorano et al. (2018) como

la más importante y extensa, es la etapa a través de la cual se resuelve el problema, siendo el pensamiento divergente, la autonomía, creatividad y colaboración los constituyentes esenciales de su naturaleza. Durante el diseño creativo, el estudiante se vuelve un sujeto activo e inquieto, investigador, diseñador y creador crítico a medida que progresa en la búsqueda de una solución al problema. (p. 6)

Desde el punto de vista de la experiencia estética, esta fase está relacionada con las etapas de desarrollo y unidad, teniendo en cuenta que el desarrollo consiste en el proceso a través del cual el sujeto identifica y moviliza los elementos necesarios de la idea en cuestión para construir una unidad final en la que se evidencia la articulación de dichos elementos. El desarrollo está asociado a las acciones que desencadena la idea, y son a su vez dichas acciones las que le otorgan el sentido. Dewey (1988) indica que “las ideas carecen de valor excepto cuando pasan a acciones que reorganizan y reconstruyen de alguna manera, ya sea pequeña o grande, el mundo en el que vivimos” (p. 111).

Dado que la idea está relacionada con ver y representar el sonido como vibraciones de las partículas (u otro medio), en esta etapa los participantes se aproximaron a las características del sonido como onda mecánica a través de diferentes actividades que les permitieron desarrollar la idea y adquirir elementos para unificarlos y representarlos posteriormente en actos creativos.

La etapa de Diseño Creativo se dividió en dos fases: desarrollo y unidad. La fase de desarrollo podría ser considerada como la etapa formativa, en tanto los participantes adquirieron insumos tanto conceptuales como procedimentales para la elaboración del producto final. Por su parte la fase unidad, tuvo como objetivo unificar los diferentes elementos adquiridos en el proceso en un producto final. A continuación, en las tablas 16, 17, 18, 19 y 20 se presentan las actividades correspondientes a la fase de desarrollo y en la 21 a la de unidad.

Tabla 16

Actividad sobre las características del sonido

Diseño Creativo / Desarrollo	
Actividad	¿Qué es el sonido?
Objetivo	Consultar información relacionada con las características del sonido y su comportamiento bajo diferentes condiciones con el fin de familiarizarse con el fenómeno en cuestión.
Modalidad	Grupal

Materiales/TIC	Buscadores de información mediante computadores y/o equipos móviles	
Descripción de la actividad	<p>Cada equipo aborda algunas preguntas que sintetizan en un archivo digital compartido, de manera que les sirva como insumo para la construcción del producto final a partir del cual debe abordar el problema de cómo ver el sonido. Se plantean algunas preguntas orientadoras tales como ¿qué es el sonido? ¿qué factores pueden afectar el sonido? ¿por qué los sonidos son diferentes? ¿cómo se propaga el sonido? ¿se propaga de la misma manera en cualquier medio? ¿cómo se puede explicar físicamente el silencio?</p> <p>Los estudiantes pueden incorporar otra información que consideren relevante, sobre todo en función de la elaboración del producto final, alusivo a un artefacto que permita ver el sonido. Dicho producto presenta para su construcción tres condiciones básicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Que incorpore elementos de carácter conceptual (en este caso en términos de principios, conceptos y/o representaciones asociadas a las ondas sonoras). ➤ Que contemple integralmente el uso de la tecnología. ➤ Que incorpore, de alguna manera, elementos conceptuales o técnicas asociadas al arte. <p>Vale la pena mencionar que el artefacto puede realizarse en formato digital o físico.</p>	Tiempo estimado: 2 horas

Tabla 17

Actividad de caracterización de las propiedades del sonido a partir de la interacción con una simulación

Diseño Creativo / Desarrollo		
Actividad	Interactuando con una simulación sobre ondas sonoras	
Objetivo	Caracterizar el sonido desde el punto de vista físico a partir de la interacción con una simulación con el fin de identificar algunas propiedades del sonido.	
Modalidad	Grupal	
Materiales/TIC	Simulación: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_es.html	
Descripción de la actividad	<p>Cada estudiante debe contar con un computador o dispositivo móvil para realizar esta actividad. En la simulación pueden observar una representación de la manera en que las partículas de aire vibran y la forma en que dicha vibración se ve afectada por variables como la amplitud (volumen) y la frecuencia, la cual a su vez está relacionada con el número de oscilaciones por unidad de tiempo y con el tono generado. Los participantes deben entregar al final un informe que dé cuenta de las articulaciones que lograron establecer entre estas variables mediante la descripción de lo que observaron.</p> <p>Al final se abre un espacio para que los estudiantes formulen preguntas relacionadas con asuntos de carácter conceptual que hasta el momento no hayan comprendido. Dichas preguntas son abordadas posteriormente y discutidas en la clase por parte del profesor y los demás compañeros que también podrán realizar aportes respecto al tema.</p>	Tiempo estimado: 2 horas

Técnica/ Instrumento	Observación participante/ Diario de campo Taller / (Guía de actividades, anexo 2)
Descripción instrumento	Protocolo de preguntas Diario de Campo: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué situaciones y/o hechos aportan al objeto de estudio? • ¿Qué situaciones o hechos se pueden considerar emergentes en el desarrollo de las actividades planteadas? • ¿Qué reflexiones se pueden plantear a partir de estas situaciones y hechos? Bitácora

Tabla 18

Actividad relacionada con la construcción de un mapa mental sobre ondas sonoras

Diseño Creativo / Desarrollo	
Actividad	Organizador gráfico
Objetivo	Construir un organizador gráfico sobre ondas sonoras teniendo en cuenta los conceptos en cuestión con el fin de relacionarlos de manera coherente
Modalidad	Grupal
Materiales/TIC	Computador Posibles programas: Lucidchart -GoConqr – MindMaps
Descripción de la actividad	Los participantes deben consultar la definición de diferentes conceptos relacionados con las ondas sonoras. Al final, cada estudiante debe asociar los conceptos mediante un mapa mental en el que se incorporen representaciones de dichos conceptos. El investigador acompaña esta actividad haciendo las precisiones conceptuales u otros requerimientos que los participantes presenten. Tiempo estimado: 3 horas
Técnica/Instrumento	Observación participante/Diario de campo Taller/Guía de actividades Entrevista semiestructurada / Protocolo de preguntas
Descripción instrumento	Guía de actividades Se le entrega una guía a cada estudiante con la siguiente instrucción: Consultar la definición de diferentes conceptos relacionados con las ondas sonoras. En cada definición debes hacer énfasis en la relación que tiene cada concepto con la vibración de las moléculas del aire en el sonido. Al final, deben asociar los conceptos mediante un mapa mental en el que se incorporen representaciones que se puedan relacionar con dichos conceptos. El organizador gráfico puede construirse utilizando una herramienta digital como Lucidchart, GoConqr o MindMaps. Conceptos: <ul style="list-style-type: none"> • Longitud de onda • Frecuencia • Tono • Oscilación • Periodo • Onda • Velocidad • Energía • Movimiento

- Presión
- Vibración
- Partículas
- Aire
- Ritmo

Protocolo de preguntas Diario de Campo

- ¿Qué situaciones y/o hechos aportan al objeto de estudio?
- ¿Qué situaciones o hechos se pueden considerar emergentes en el desarrollo de las actividades planteadas?
- ¿Qué reflexiones se pueden plantear a partir de estas situaciones y hechos?

Protocolo de preguntas Entrevista Semiestructurada

- ¿Qué dificultades encontraste en la realización de esta actividad?
- ¿Consideras que alcanzaste el objetivo propuesto? Sí No_ ¿por qué?
- ¿Consideras que la actividad favoreció tu aprendizaje en torno al concepto de ondas sonoras Sí No ¿por qué?

Tabla 19

Actividad relacionada con la construcción de la historia de una partícula de aire

Diseño Creativo / Desarrollo	
Actividad	Historia de una partícula de aire
Objetivo	Construir la historia de una partícula de aire antes, durante y después de un concierto con el fin de describir lo que experimenta en términos físicos
Modalidad	Grupal
Materiales/TIC	Canva – Power Point -Video Maker – PowToon
Descripción de la actividad	Mediante la creación de un video o presentación animada, los participantes deben narrar una historia acompañada de imágenes acerca de lo que experimenta una partícula de aire antes, durante y después de un concierto en el que las agrupaciones que se presentaron tocaron diferentes tipos de música que iban desde música clásica hasta Heavy Metal. La historia debe contener mínimo los siguientes conceptos asociados a las ondas sonoras: Frecuencia – Oscilación – Longitud de onda – Timbre -Amplitud – Partículas de aire – Intensidad – Sonido – Ondas- Vibración – Ritmo
Técnica/ Instrumento	Observación participante/Diario de campo
Descripción instrumento	<p>Protocolo de preguntas Diario de campo</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué situaciones y/o hechos aportan al objeto de estudio? • ¿Qué situaciones o hechos se pueden considerar emergentes en el desarrollo de las actividades planteadas? • ¿Qué reflexiones se pueden plantear a partir de estas situaciones y hechos? <p>Protocolo de preguntas Grupo de Discusión</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera te ayudaron los compañeros y el profesor a alcanzar el objetivo propuesto? ¿podrías recordar y narrar alguna situación en la te hayan ayudado de alguna manera? • ¿Consideras que el trabajo en equipo hizo que el trabajo fuese más creativo? Sí No_ ¿por qué?

- ¿Qué posibilidades y limitaciones encontraste en el uso de la tecnología utilizada? ¿Favoreció tu creatividad? Sí_No_ ¿De qué manera?
- ¿Qué dificultades encontraste en la realización de esta actividad?

Tabla 20

Actividad sobre composición musical con la herramienta digital Chrome Music Lab

Diseño Creativo / Desarrollo		
Actividad	Haciendo música	
Objetivo	Componer canciones mediante la opción de Chrome Music Lab KANDINSKY con el fin de manipular diferentes propiedades del sonido	
Modalidad	Grupal	
Materiales/TIC	Chrome Music Lab https://musiclab.chromeexperiments.com/Kandinsky/ https://musiclab.chromeexperiments.com/Song-Maker/	
Descripción de la actividad	Los estudiantes presentan la oportunidad de jugar con las longitudes de los trazos y formas de los dibujos, así como de los espacios entre ellos, para generar diferentes frecuencias y ritmos. Posteriormente deben elaborar una canción en la opción Song Maker, guardarla y compartir el enlace con los compañeros para que también la puedan escuchar.	Tiempo estimado: 2 horas
Técnica/ Instrumento	Observación participante/Diario de campo Grupo de discusión/Protocolo de preguntas	
Descripción instrumento	<p>Protocolo de preguntas Grupo de Discusión</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué posibilidades y limitaciones encontraste en el uso de la tecnología utilizada? • ¿Crees que el recurso tecnológico favoreció tu creatividad? Sí_No_ ¿por qué? • ¿Qué dificultades encontraste en la realización de esta actividad? • ¿Consideras que se alcanzó el objetivo propuesto? Sí_No_ ¿por qué? <p>Protocolo de preguntas Diario de campo</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué situaciones o expresiones dan cuenta de la etapa de dominio conceptual en la cual se encuentra el participante? • ¿Qué conclusiones referentes a la creatividad se pueden plantear en torno a la interacción de los participantes con la herramienta utilizada? • ¿Qué factores del ambiente de aprendizaje obstaculizan o potencian el proceso de aprendizaje de la física y el desarrollo de la creatividad de los participantes? 	

Tabla 21

Actividad alusiva a la construcción de un producto que posibilite observar algunas de las propiedades del sonido

Diseño Creativo / Unidad		
Actividad	¿Cómo se ve el sonido?	
Objetivo	Construir un artefacto (físico o digital) con el fin de representar algunas propiedades del sonido	
Modalidad	Grupos	
Materiales/TIC	Decisión del grupo	
Descripción de la actividad	Luego de haber adquirido los elementos formativos para abordar el problema, los participantes deben trabajar por equipos en la construcción de un prototipo/artefacto ya sea físico o virtual que dé cuenta de cómo se ve el sonido, pensando específicamente en una persona que no pueda escuchar y teniendo en cuenta las condiciones mínimas que debe contemplar este producto final.	Tiempo estimado: 14 horas (3 sesiones)

Primera etapa (2 horas)

Inicialmente se abre un espacio para recordar las características que debe contemplar el producto final referentes al uso de algún tipo de tecnología, tener en cuenta los elementos de carácter conceptual abordados en la etapa formativa y articular técnicas o elementos asociados al arte. Por tanto, en esta primera etapa los equipos pueden explorar posibles herramientas tecnológicas que podrían utilizar para incorporar o construir el producto final, luego de la decisión, proceden a elaborar un plan de acción para alcanzar la meta y el boceto del respectivo artefacto. Los diferentes equipos deben esquematizar el boceto del artefacto de manera digital o física.

El profesor brinda y presenta un abanico de opciones para abordar el problema, tales como Sketchbook, IbisPaint, Scraeth Makey Make, Algodoo, GeoGebra, VideoMaker, Powtoon.

Se abre la posibilidad a que se utilicen otras herramientas que no se encuentren en esta lista pero que sean consideradas pertinentes por el grupo para abordar el problema propuesto.

Segunda Etapa (6 horas)

Esta esta etapa se habilita un espacio institucional para que los grupos conformados avancen en la construcción del artefacto.

Tercera etapa (4horas)

En esta sesión los diferentes equipos presentan la idea a todo el grupo de lo que se pretende desarrollar, así como los avances que hasta el momento se hayan alcanzado. Los otros grupos y el profesor realizan los comentarios que consideren pertinentes en torno al proceso y a las formas a través de las cuales podrían mejorar su artefacto o prototipo final.

Luego, se habilita de nuevo el espacio para que los participantes continúen desarrollando sus respectivos trabajos.

Cuarta Etapa (2 hora)
 Finalmente, cada equipo presenta al grupo su artefacto, para el cual deben que escoger un nombre metafórico alusivo a las características de este. Para ello el profesor previamente explicará las características de esta figura retórica, de manera que la puedan adaptar a los artefactos construidos.
 Inicialmente dicha presentación se realiza frente a los integrantes de los demás equipos y el profesor. No obstante, la invitación se puede extender a los otros grados y demás miembros de la comunidad educativa.

Técnica/ Instrumento	Observación participante/Diario de campo Entrevista semiestructurada/protocolo de preguntas
Descripción instrumento	<p>Protocolo preguntas Diario de Campo</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué situaciones y/o hechos aportan al objeto de estudio? • ¿Qué situaciones o hechos se pueden considerar emergentes en el desarrollo de las actividades planteadas? • ¿Qué reflexiones se pueden plantear a partir de estas situaciones y hechos? <p>Entrevista semiestructurada (esta entrevista solo se realizará al final de las cuatro etapas)</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué posibilidades y limitaciones encontraste en el uso de la tecnología utilizada? • ¿Consideras que el recurso tecnológico favoreció tu creatividad? Sí No_ ¿por qué? • ¿Qué recomendaciones te hicieron los compañeros y el profesor respecto al artefacto elaborado? • ¿Consideras que dichos aportes mejoraron la calidad del trabajo? Sí_ No_ ¿Por qué? • ¿Qué dificultades encontraste en la realización de esta actividad? • ¿Consideras que se alcanzó el objetivo propuesto? Sí_ No_ ¿por qué? <p>Bitácora Cada equipo debe contar con una bitácora en la que registrará el proceso del diseño del producto, que incluye mínimamente las ideas planteadas al principio, el esbozo del artefacto y los objetivos que, como equipo, se planteaban a corto plazo. Además de otros elementos que hayan considerado importantes en el proceso de construcción del producto final.</p>

Tanto en la etapa de contextualización como en la de diseño creativo los estudiantes iban dando cuenta de aspectos asociados a procesos de autoregulación de su aprendizaje. La etapa alusiva a lo anterior es la de toque emocional y se describe a continuación.

4.6.3 *Toque emocional*

El toque emocional es un componente transversal al proceso, a diferencia de las fases de contextualización y diseño creativo que presentan de alguna manera un orden secuencial, en esta etapa según Zamorano et al. (2018)

los estudiantes pueden reflexionar a partir de su propio trabajo a través de experiencias que promuevan el interés y las ganas de saber más, junto a la confianza, el sentimiento de gratitud hacia sus pares, la satisfacción intelectual y el sentido de logro al visualizar su propio progreso. Es, también, una etapa crítica en la que se reflexiona en torno al proceso y a los resultados del actuar grupal e individual a lo largo del programa, enfatizando en la visualización de una escala de progresos que permita aumentar la motivación del estudiante hacia este tipo de actividades. (p. 6)

De igual manera, los autores ponen de manifiesto que, en caso de identificar indicios de frustración en algún estudiante, es imperativo recordarles que lo más importante no es el resultado sino el proceso mediante el cual se adquirieron diferentes aprendizajes.

Desde el punto de vista de la experiencia estética, las emociones desempeñan un papel fundamental en los procesos de aprendizaje, en tanto dan cuenta del nivel de implicación que tiene el sujeto en las acciones que lo llevarán a desarrollar la idea y plasmarla en una unidad de sentido. Según Wong et al. (2001), la etapa de anticipación es crucial en el vínculo afectivo que se establece con la idea a desarrollar:

Las ideas educativas no solo están inextricablemente conectadas con el tema y la acción, sino que también tienen una cualidad emocional distintiva. Las emociones importantes de las ideas educativas son sentimientos asociados con la anticipación y se pueden distinguir de los sentimientos que tienen más que ver con un gusto o disgusto general por la ciencia. La emoción de anticipación son los sentimientos que emergen de participar en la experiencia de una idea particular. Difiere tanto del estándar “contento, triste y enojado” como del tipo de emoción reactiva que va y viene con poco impacto duradero. El afecto de anticipación unifica e impulsa la experiencia en desarrollo y, por lo tanto, está asociado con el desarrollo de la unidad, con la progresión hacia la consumación del drama. (p. 323)

Lo anterior da cuenta de la articulación entre el toque emocional de las propuestas educativas STEAM y del papel de las emociones en la experiencia estética. Estos aspectos fueron valorados mediante la observación participante, las entrevistas y los grupos de discusión, teniendo

en cuenta que es un fenómeno transversal al proceso y, por tanto, podrán emerger en el desarrollo de las diferentes actividades. En la Tabla 22 se describen los elementos alusivos a la etapa de toque emocional.

Tabla 22

Descripción de la etapa alusiva al toque emocional en la educación STEAM

Toque Emocional	
Modalidad	Grupal/individual
Técnica/ Instrumento	Observación participante Grupo de Discusión Entrevistas semiestructuradas
Descripción instrumento	<p>Protocolo de preguntas Grupo de discusión</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Consideras que alcanzaste el objetivo de poder construir un producto que permitiera ver el sonido? Sí_ No_ Explica. • La presente propuesta tenía como objetivo el aprendizaje del concepto de ondas sonoras y el desarrollo de la creatividad científica ¿considera que se alcanzó dicho objetivo? Sí_ No_ ¿por qué? • ¿Cuál o cuáles fueron las actividades que más te llamaron la atención? ¿Por qué? ¿Cuál o cuáles no te llamaron tanto la atención? ¿Por qué? • En la construcción del producto final se combinaron elementos del arte, la ciencia y la tecnología ¿qué posibilidades y limitaciones observaste en estas articulaciones? • ¿Cuál fue el papel del profesor y de sus compañeros el alcance de los objetivos? ¿Alguna situación en particular que recuerdes en la que el profesor o los compañeros fueron de ayuda? • ¿Consideras que tus compañeros también alcanzaron los objetivos previstos? Sí_No_ Explica. • ¿Consideras que esta metodología podría ser pertinente para extenderla a otros grados? Si_ No_ ¿por qué? <p>Nota: Las observaciones llevadas a cabo en el desarrollo de la propuesta y las entrevistas semiestructuradas que se plantean al final de algunas actividades tuvieron la función de indagar por la reflexión que hacen los participantes en torno al alcance de los objetivos propuestos. Dichas reflexiones dan cuenta del toque emocional considerado desde la perspectiva STEAM y del papel de las emociones en el marco de una experiencia estética.</p>

Vale la pena mencionar que la fase de toque emocional está relacionada con los procesos autorregulatorios del aprendizaje y, por tanto, fue transversal a la propuesta. Así, en el transcurso de las actividades, como profesor, acompañaba a los participantes ayudándoles a precisar los conceptos asociados a las ondas sonoras, así como a construir las relaciones entre ellos para una mayor comprensión del fenómeno físico a través de diferentes estrategias de andamiaje, planteando sugerencias, proponiendo analogías, precisando algunos conceptos, problematizando sus razonamientos y formulando preguntas que les permitieran un procesos de apropiación conceptual, fundamental para abordar la situación problema que se les planteó.

El diseño de la propuesta está basado en la perspectiva sociocultural y sistémica, lo cual puede evidenciarse en el hecho de que se prioriza por ejemplo el trabajo en equipo en la medida que la interacción es un elemento fundamental en los procesos de internalización. De igual manera, desde este enfoque, los instrumentos culturales, en este caso las herramientas tecnológicas, adquirieron un papel preponderante en el diseño de la propuesta ya que estaban implicadas en la mayor parte de las actividades. Por otra parte, el profesor, que ha interiorizado los elementos de la cultura, actuaba como mediador y orientador del proceso de aprendizaje de los estudiantes en el marco del abordaje de la situación problemática. Por su parte, desde la perspectiva sistémica, el profesor actúa como validador de los productos creativos construidos por los estudiantes a partir de criterios basados en el marco transcultural. De igual manera el profesor incorpora al campo (conocimiento científico escolar) las nuevas dimensiones del conocimiento didáctico del contenido a partir de los actos creativos llevados a cabo por los estudiantes.

La educación STEAM pretende desarrollar competencias de algunas de las disciplinas que la constituyen en mayor o menor medida según la naturaleza del problema. En esta investigación se articuló el trabajo entre la ciencia (física), la ingeniería, las artes y la tecnología.

Desde la ciencia las competencias fueron: familiarización con los fenómenos; obtener, evaluar y comunicar información científica y construir descripciones y explicaciones de los fenómenos. En cuanto a la ingeniería se trabajaron las siguientes competencias: identificar y/o desarrollar múltiples soluciones y seleccionar la óptima; desarrollar y utilizar prototipos y simulaciones y materializar soluciones adecuadas. Finalmente, desde las artes se trabajaron las competencias de sensibilidad y comunicación planteadas desde el Ministerio de Educación Nacional Colombiano (2019). La primera alusiva al conjunto de disposiciones biológicas, cognitivas y relacionales que permiten la recepción y el procesamiento de la información presente en un hecho estético y la segunda, referente a la capacidad del estudiante para producir determinados objetos y hacer que estos tengan un efecto en un espectador que también construye sentido a partir de la interacción con el producto creativo. En este trabajo no se consideró la tecnología como una disciplina más pues, en consonancia con los planteamientos de Couso (2020), esta no presenta un objetivo en sí mismo como disciplina, teniendo en cuenta que son herramientas orientadas a facilitar actividades humanas tales como la ciencia, la ingeniería, las matemáticas o las artes.

En la primera parte de la propuesta (contextualización y diseño creativo – desarrollo) se priorizaron las competencias de la ciencia. En la segunda parte (diseño creativo – unidad) se trabajaron las competencias asociadas a lo ingenieril. Las competencias asociadas al arte fueron abordadas en la actividad de producción musical y en el mismo diseño del producto final, entendido como una unidad de sentido desde la experiencia estética.

Si bien unas disciplinas y sus respectivas competencias adquirieron mayor relevancia en ciertas fases de la intervención, presentan un cierto nivel de integración. El producto final debía dar cuenta de algunas de las propiedades de las ondas sonoras, en este sentido, para construir el artefacto los estudiantes requerían haberse apropiado conceptual del fenómeno, es decir, tener una base científica. Por su parte, las artes fueron transversales al proceso dado que les permitió a los estudiantes, por ejemplo, contemplar la estética como elemento fundamental de diseño en los productos construidos, así como hacer de estas unidades de sentido, a las cuales subyacía la estructura conceptual del fenómeno de las ondas sonoras. Estructura que podía ser percibida desde la sensibilidad de quienes entraban en contacto con los diferentes artefactos.

4.7 Línea temporal de la propuesta de intervención

- Número total de horas: 35
- Número de sesiones: 14 sesiones

Tabla 23

Fases de la propuesta con su respectiva duración

Fase	Duración (horas)	Sesiones
Diagnóstico	2	1
Contextualización/ Anticipación	4	2
Diseño creativo/ Desarrollo	13	6
Diseño creativo/ Unidad	14	4
Actividad de cierre (grupo de discusión)	2	1

Con el fin de dar cuenta de la consistencia interna de la investigación, en la Tabla 24 se presenta la articulación entre las categorías, las subcategorías, las actividades y las técnicas e instrumentos utilizados. De igual manera a partir de ella se pretende mostrar algunos criterios de rigor tenidos en cuenta, tales como: la credibilidad, dado que hubo un proceso de observación

persistente y una cantidad suficiente de material de adecuación referencia; transferencia, teniendo en cuenta que es plantea un número importante de actividades con el fin de maximizar la cantidad de información recolectada, las cuales además son diversas para facilitar su comparación en otros escenarios; y dependencia, pues se consideraron diferentes técnicas para la recogida de la información.

Tabla 24

Categorías, subcategorías, actividades y técnicas e instrumentos de recolección de la información

Categoría	Subcategoría	Actividades/Técnicas/Instrumentos
Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual	Esponánea o no reproductora	- Diagnóstico Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
	Cuasi-reproductiva	- Interactuando con una simulación sobre las características del sonido
	Reproductiva	Observación participante
	Reproductivo-creativa	Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
		- Organizador gráfico sobre ondas sonoras Observación participante Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
Características creativas de los artefactos diseñados por los participantes en el marco de la propuesta STEAM	Novedad	- Historia de una partícula de aire Observación participante Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
	Utilidad	- ¿Cómo se ve el sonido? Etapa I, II, III y IV Observación participante Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
	Estética	- ¿Cómo se ve el sonido? Etapa I, II, III y IV Observación participante Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
La interacción social y las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad	Autenticidad	- ¿Cómo se ve el sonido? Etapa I, II, III y IV Taller/Guía de actividades Registro documental/Bitácora
	La interacción social en el desarrollo de la creatividad	Observación participante/Diario de campo Entrevista semiestructurada/Protocolo de preguntas Grupo de discusión/Protocolo de preguntas
La educación STEAM en el aprendizaje de la física y el	Las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad	
	La educación STEAM en el aprendizaje de la física	

desarrollo de la creatividad científica	La educación STEAM en el desarrollo de la creatividad científica
--	--

4.8 Consideraciones éticas

Atendiendo a las consideraciones éticas para las investigaciones en educación, se realizó un consentimiento (anexo 3) y asentimiento informado (anexo 4) en los que se dieron a conocer aspectos generales de la investigación como propósitos y resultados esperados, así como el manejo adecuado y discrecional de la información que fue recogida; luego de leerlo fue firmado por los padres de familia en el caso del consentimiento informado y el asentimiento por quienes quisieron de manera voluntaria participar del estudio. Además, buscando proteger los nombres y la privacidad de los estudiantes, les fue asignado un código de forma tal que sus nombres reales no aparecieran explícitos en el texto. Por otra parte, se contó con el juicio de expertos en el diseño de la propuesta de intervención y en el análisis de la información. Igualmente, una vez terminada la investigación, se llevó a cabo un proceso de devolución a los participantes y a la comunidad educativa de los resultados obtenidos en el estudio.

5. Resultados

El análisis se realizó por cada caso teniendo en cuenta las características de las categorías de análisis que se describen a continuación:

5.1 Categorías de análisis

5.1.1 *Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual*

Los sujetos se desarrollan cognitivamente conforme se apropian de los elementos de la cultura, dentro de los cuales se encuentran los conceptos científicos. En este proceso de apropiación o *internalización* se pueden identificar diferentes etapas de dominio que ponen de manifiesto los niveles de conciencia de un sujeto frente a una determinada situación.

Es importante mencionar que en este trabajo se amplía la etapa reproductivo-creativa o imitación no alienante, ya que entender la creatividad desde un enfoque sociocultural implica identificar la manera en la que los significados de las ciencias son transformados por los estudiantes (Steiner y Moran, 2003). En este sentido, la descripción realizada por Barbosa y Batista (2018) para esta etapa se considera limitada para dar cuenta de ello. En la Tabla 25 se presentan las características de cada una de las etapas.

Tabla 25

Etapas de dominio conceptual desde la perspectiva sociocultural de la creatividad

Etapas de Dominio Conceptual	Descripción	Acciones del sujeto
Explicación espontánea o no reproductora	Etapa no consciente en la que el sujeto no dirige la atención a sus actos de pensamiento, sino al objeto al que hace referencia.	Presenta una respuesta en la que no se utilizan conceptos o ideas científicas.
Explicación cuasi-reproductiva	Zona de transición a través de la cual el sujeto puede pasar de un pensamiento inconsciente a uno consciente.	Presenta una explicación en la que se utilizan conceptos físicos jerga, pero se enfoca en aspectos que no hacen parte del fenómeno en cuestión.
Explicación reproductiva o imitación alienante	El sujeto tiene consciencia de sus propios procesos mentales; sin embargo, hace referencia al pensamiento y lenguaje de otro.	Presenta una explicación en la que se utilizan conceptos físicos, jerga y se centra en aspectos considerados por la Física para explicar el fenómeno en cuestión
		Nuevos sentidos al significado social del fenómeno Los participantes generan nuevas formas para interpretar y relacionarse con el significado social del fenómeno, aportando nuevas

Explicación reproductivo-creativa o imitación no alienante	El sujeto toma conciencia de sí mismo, de sus procesos mentales, pero va más allá del discurso del otro; es decir, se vuelve hacia el yo, que conduce a la resignificación de los conceptos físicos.	<p>perspectivas a los conceptos científicos establecidos a partir de recursos como metáforas y/o personificaciones.</p> <hr/> <p>Nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno</p> <p>Los participantes aportan nuevas formas de entender y percibir un fenómeno científico al establecer conexiones innovadoras y significativas entre conceptos y contextos aparentemente dispares o lejanos.</p>
--	--	---

Nota: adaptado de Barbosa y Batista (2018).

5.1.2 *Características creativas de los artefactos diseñados por los participantes en el marco de la propuesta STEAM*

De acuerdo con Rogers (1954) y MacKinnon (1975), la creatividad puede evaluarse desde diferentes aspectos: el proceso relacionado con los procedimientos o acciones que desarrolla el individuo, el contexto alusivo a los factores ambientales que promueven o limitan la creatividad, la persona caracterizada en función de sus habilidades cognitivas; es decir, de su capacidad creativa y el producto, que hace referencia a las características de los resultados obtenidos, ya sea un ensayo, dibujo, modelo, entre otros que muestran originalidad y potencial creativo.

En este estudio es de interés el producto creativo en tanto los estudiantes utilizando tecnología construyeron un artefacto a través del cual se podían ver representadas las propiedades de las ondas sonoras. Para evaluar los productos creativos pueden utilizarse diferentes criterios. Por ejemplo, Cropley (2008) plantea que estos pueden valorarse a partir de la novedad, eficacia, génesis y elegancia. Por su parte Besemer y O'Quin (1987), asumen la creatividad como un constructo tridimensional: novedad (el producto es original, sorprendente y germinal), resolución (el producto es valioso, lógico, útil y comprensible), y elaboración y síntesis (el producto es orgánico, elegante, complejo y bien elaborado). De igual manera, Kharkhurin (2014) plantea que los productos creativos pueden evaluarse a partir de la novedad, la utilidad, la estética y la autenticidad. En este trabajo se asume esta última perspectiva teórica porque contempla elementos de los otros enfoques y se constituye en un marco transcultural que incorpora atributos tanto de la tradición occidental como

oriental, considerando criterios como la estética y la autenticidad. Esto es importante al considerar que “la mayor parte de la literatura sobre creatividad parece reflejar un concepto occidental de la creatividad” (Kharkhurin, 2014, p. 339). El concepto occidental se ha basado normalmente en valorar la novedad y utilidad del acto creativo, dejando de lado otros criterios más relacionados con la personalidad y el contexto de los sujetos que desarrollan procesos creativos.

En la Tabla 26 se describen los criterios planteados por Kharkhurin (2014) para dar cuenta de la creatividad de los productos construidos.

Tabla 26

Atributos de la creatividad desde un marco transcultural

Criterio	Descripción
Novedad	Una obra creativa aporta algo nuevo, que presenta un nuevo marco conceptual y/o modifica uno existente. Novedad significa que el trabajo es nuevo y diferente de los paradigmas existentes.
Utilidad	Una obra creativa es lo que un productor o un destinatario considera creativo, útil para resolver problemas en determinados contextos.
Estética	Una obra creativa presenta eficazmente la esencia de la realidad fenoménica. Además, evalúa si la obra producida es atractiva y estéticamente satisfactoria para el productor y el público.
Autenticidad	Una obra creativa expresa el yo interior del individuo y relaciona algo de sus valores y creencias personales con el mundo.

Nota. Adaptado de Kharkhurin (2014).

5.1.3 *La interacción social y las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad*

La interacción social desempeña un papel fundamental en el desarrollo de la creatividad en la medida que en el espacio de aprendizaje los significados circulan y se transforman continuamente a partir de los instrumentos que se tienen a disposición. A continuación, en la Tabla 27 se pone de manifiesto la manera en que fueron analizados tanto el papel de la interacción social como las herramientas tecnológicas utilizadas.

Tabla 27

Subcategorías y descriptores para analizar el papel de la interacción social y de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica

Subcategorías	Descriptores
La interacción social en el desarrollo de la creatividad científica	Generación de ideas Mejoramiento de las ideas Apoyo en los procesos de conceptualización Apoyo con el manejo de tecnologías
Las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica	Características Posibilidades Limitaciones

5.1.4 *Articulaciones teóricas entre las perspectivas sociocultural y sistémica de la creatividad*

Las perspectivas sociocultural y sistémica se sitúan como dos miradas actuales que han cobrado relevancia en el estudio de la creatividad. La primera contempla aspectos asociados a los procesos de internalización, el papel de los instrumentos culturales y la interacción social. La segunda por su parte hace alusión al hecho de que la creatividad debe concebirse de manera sistémica en tanto implica la interacción de tres sistemas: el dominio, la persona y el ámbito. Por lo anterior, en el presente trabajo se establecen articulaciones conceptuales entre ambas perspectivas teóricas que derivan en la consolidación de un modelo para la promoción y el estudio de la creatividad en la escuela; lo que se profundiza ampliamente en el marco teórico de este trabajo.

5.1.5 *Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y el desarrollo de la creatividad científica*

La manera en que la educación STEAM contribuye a la alfabetización científica y al desarrollo de habilidades para el siglo XXI como la creatividad, es objeto actual de discusión. En esta investigación, este enfoque educativo fue valorado tanto desde las posibilidades como de las limitaciones que presenta para el aprendizaje de la física y el desarrollo de la creatividad científica.

5.2 Análisis de los casos a la luz de las categorías

Descritas las categorías, a continuación, se presentan los resultados del análisis de los diferentes casos a partir de cada una de ellas.

5.2.1 Caso Participante P1

La participante P1 tiene 15 años, presenta un rendimiento académico básico y le gusta dibujar, normalmente no muestra mucho interés por la materia de física; sin embargo, responde a las actividades que se le proponen. Se relaciona fácilmente con sus compañeros, por lo que su desempeño en los trabajos en equipo suele ser eficiente.

5.2.1.1 Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa

Las expresiones de P1 fueron caracterizadas a partir de las etapas de dominio conceptual descritas en la Tabla 28 en el marco de algunas de las actividades mencionadas en la Tabla 24.

Actividad: Diagnóstico

Tabla 28

Etapas de dominio conceptual I P1

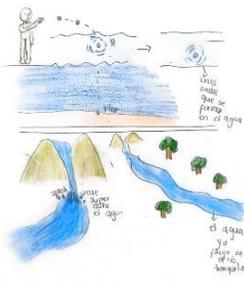
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Similitudes: Ambos ocurren en el agua como medio por el que se presenta el fenómeno.</p> <p>Diferencias: En uno se presenta mediante ondas y el otro es una caída en la que luego fluye el agua. La piedra cae y ya no tiene más movimiento, el agua cae y fluye con la corriente.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (la explicación está en el plano de lo descriptivo y utiliza pocos conceptos científicos)</p>
<p>Representación gráfica</p>	

Tabla 29

Etapas de dominio conceptual II P1

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
El sonido viaja a través de ondas, entonces al pegarle al tambor, la mano rebota en él, produciendo un sonido que a su vez viaja hacia mí. Hace una figura similar a la que hacía la piedra en el agua.	Cuasi-reproductiva (la explicación está en el plano de lo descriptivo y utiliza pocos conceptos científicos).

Representación gráfica

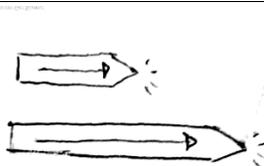


Tabla 30

Etapas de dominio conceptual III P1

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
El aire llega más rápido al otro extremo del pitillo, esto hace que el sonido sea más agudo.	Espontánea (la explicación se plantea solo en el plano de lo descriptivo).

Representación gráfica

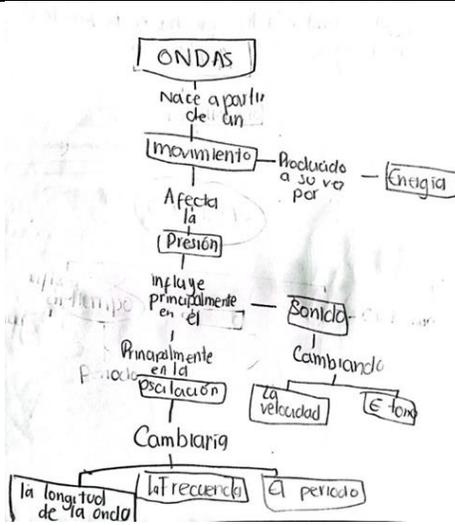


A continuación, se presenta el esquema construido por P1 a partir de conceptos asociados a las ondas sonoras:

Tabla 31

Etapas de dominio conceptual IV P1

Evidencia	Etapa de dominio conceptual
-----------	-----------------------------



Cuasi-reproductiva (varias de las articulaciones establecidas entre conceptos son inconsistentes)

Del diagnóstico se puede afirmar que las explicaciones de P1 se ubican en una fase cuasi-reproductiva, pues si bien en ocasiones hace alusión a conceptos científicos, normalmente se queda en el plano de lo descriptivo.

Actividad: Interactuando con una simulación sobre las características del sonido

Tabla 32

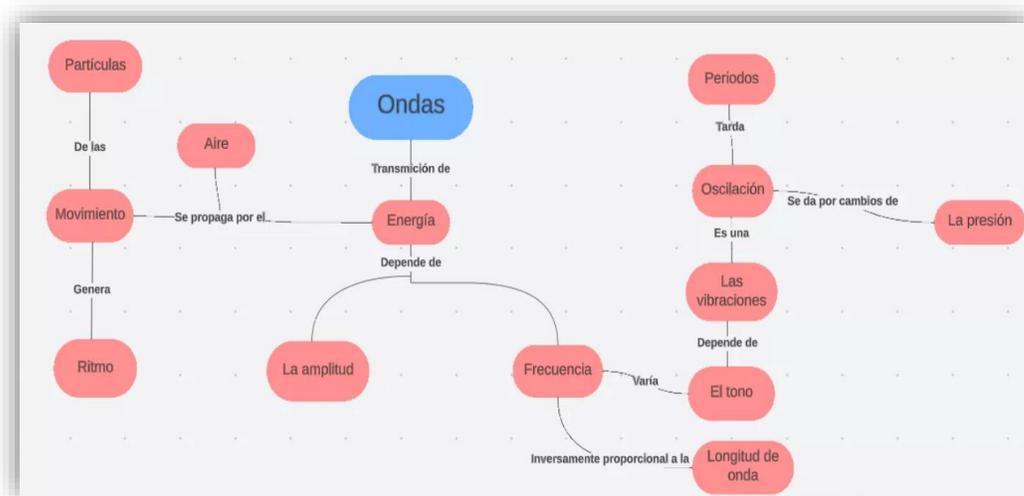
Etapas de dominio conceptual V P1

Evidencia	Etapas de dominio conceptual
<p>Similitudes: Ambas desplazan vibraciones, o sea energía. En ambas la energía disminuye en función del tiempo.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (utiliza algunos conceptos acertadamente para explicar las diferencias y similitudes del movimiento ondulatorio en ambos medios. Puede identificarse por ejemplo que hay una confusión respecto a la longitud de onda en el agua y en el aire).</p>
<p>Diferencias: En el agua la longitud de onda es más corta.</p> <p>Conclusiones del laboratorio virtual Es una relación directamente proporcional ya que a medida que se aumentaba la frecuencia, la tonalidad era más aguda. Mientras que, al disminuir la frecuencia, la tonalidad era menos aguda. Las zonas con mayor presión son donde hay más partículas, y donde hay menos presión es un vacío con pocas partículas.</p>	<p>Reproductiva (utiliza conceptos científicos para justificar sus explicaciones, reconociendo tanto la relación directa entre la frecuencia y el tono como las zonas de compresión y rarefacción asociadas a una mayor o menor densidad de partículas).</p>

Actividad: organizador gráfico sobre las ondas sonoras

Figura 7

Esquema sobre ondas sonoras construido por P1



Puede notarse claramente el paso de una etapa espontánea en la que los conceptos se articulan de manera incoherente a una reproductiva con estructura clara y coherente respecto al conocimiento científico. P1 identifica relaciones clave que en el primer mapa no aparecían, por ejemplo, el hecho de entender las ondas como una transferencia de energía a través del aire y la relación inversa que identifica entre la frecuencia y la longitud de onda. Además, hace explícita su comprensión de las vibraciones como oscilaciones que se dan por medio de cambios de presión en el aire. Lo anterior da cuenta de la transición en las etapas de dominio conceptual, para este caso de una espontánea a una reproductiva.

De las dos actividades anteriores se puede afirmar que las explicaciones de P1 se ubican en un dominio de etapa conceptual reproductiva.

Actividad: Historia de una partícula

A partir de esta actividad se empezaron a identificar explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa. Por lo anterior la información fue analizada a partir de la subcategoría descrita en la Tabla 25.

Tabla 33

Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad

historia de una partícula de aire

Evidencia	Nuevos sentidos al significado social del fenómeno	Nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno
<p>Fui a un concierto en el que escucharía diferentes géneros de música, primero se presentó una banda de heavy metal, vi mi amiga partícula de aire y fui hasta donde ella. Por tanto sonido que había, oscilábamos con bastante intensidad, estábamos cerca de los baffles y la vibración que se sentía era demasiado fuerte y nos hacía ir y venir en las ondas de sonido, ya me estaba doliendo la cabeza cuando de repente salió Eminem y empezó a cantar sus canciones, tenían un ritmo muy diferente, no me movía tanto en las ondas, este género de música me gustó más que el anterior, su longitud de onda hacía que su frecuencia y al mismo tiempo su tono fueran totalmente diferentes. Después llegó una cantante que jamás había escuchado antes pero su timbre de voz era muy peculiar y me gustó mucho, era suavcita así que tuvieron que aumentar la amplitud para que todos pudieran escucharlo mejor. Gracias a este concierto conocí sonidos fantásticos y mis oídos lograron deleitarse.</p>	<p>Se plantea la historia como si fuese la partícula quien la narrara.</p> <p>La partícula se pone en un contexto en el que experimenta diferentes emociones y sensaciones.</p>	<p>Se asocia la cantidad de ondas sonoras en el ambiente con un mayor número de oscilaciones, al igual que con la energía de estas.</p> <p>Se establece una relación entre la cercanía a la fuente, la intensidad del sonido y las características de las oscilaciones.</p> <p>Se identifican las propiedades que hacen que las características del sonido cambien.</p> <p>Se identifica la manera en que se relaciona el volumen con la amplitud de la onda.</p>
<p>Representación:</p> 		<p>Enlace: https://www.canva.com/design/DAFq9JsYg1E/PdfzbMhjuZmNyMZ-BUVO5g/view</p>

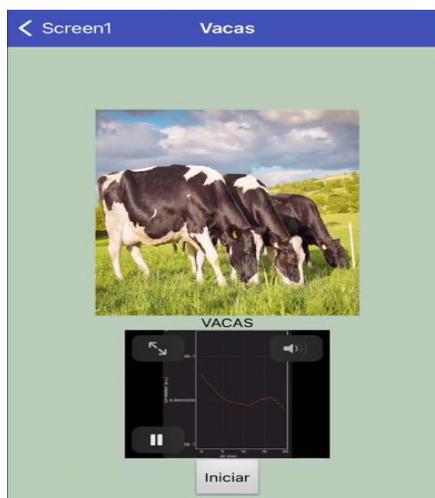
Actividad: ¿cómo se ve el sonido?

En esta actividad también se pudo identificar una transición de una etapa de dominio conceptual reproductiva a una reproductivo-creativa. En el caso de P1, construyó una aplicación para celular a partir de la cual genera una nueva relación entre el significado y el sentido del fenómeno; pues en dicha aplicación la persona puede seleccionar diferentes

imágenes alusivas a eventos y ver las características de la onda que generan cuando dicho evento está ocurriendo, ya sea el tráfico de la ciudad o el grito de una persona. Es importante resaltar también que el acto creativo articuló elementos contextualmente distantes como lo son la representación gráfica de las ondas sonoras y las imágenes utilizadas. También vale la pena destacar la relación establecida entre diferentes tecnologías, dado que la participante grabó las representaciones gráficas generadas por los diferentes eventos y las incorporó en la aplicación. En la Figura 8 aparece una imagen tomada de la interfaz de la aplicación.

Figura 8

Interfaz de la aplicación desarrollada por P1



En conclusión, los resultados presentados dan cuenta de la manera en que P1 transitó desde una etapa cuasi-reproductiva hasta una reproductivo-creativa.

5.2.1.2 Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad

A continuación, se realiza una breve descripción de las características generales del producto elaborado por P1, así como de los instrumentos tecnológicos utilizados para su construcción. También se presentan algunos aspectos asociados al proceso de elaboración, se revisa que el producto cuente con las condiciones establecidas desde el principio y se hace una evaluación a partir de los criterios formulados por Kharkhurin (2014), relacionados con la novedad, utilidad, estética y autenticidad.

P1 desarrolló una aplicación utilizando la plataforma App Inventor en la que una persona puede seleccionar imágenes alusivas a distintos objetos y/o eventos, el sistema reproducirá el respectivo sonido y le mostrará una representación de las características de las ondas generadas por estos. A continuación, en la Tabla 34, se presentan algunos fragmentos en los que la participante describe cómo fue el proceso de ideación y construcción del producto.

Tabla 34

Proceso de construcción del artefacto de P1

Pregunta	Respuesta de la participante
¿Cuáles fueron las ideas iniciales?	Al inicio teníamos varias ideas, estas eran: un reloj, un objeto tipo wii y un termo. La idea principal que todos tenían era que al haber un sonido alrededor, este se iba a mostrar en la pantalla y vibraría para mostrar qué tan fuerte y con qué frecuencia sonaba ya que (...) era para alguien que no lograba escuchar.
¿Cómo cambiaron las ideas iniciales?	Decidimos nada más un objeto, el reloj, y en la parte donde uno ve la hora sería donde se mostraría el objeto que estaba sonando alrededor y las correas vibrarían. Al explicárselo al profe nos dimos cuenta de que era complicado tomar el sonido de nuestro ambiente y que se mostrara y al mismo tiempo vibrara, así que decidimos que la mejor decisión sería hacer una aplicación.
¿Cómo fue el proceso de construcción del producto?	Buscamos varias páginas con las cuáles pudiéramos hacer la aplicación (...) Primero estuvimos experimentando con otras cosas antes para aprender cómo funcionaba, la página se llama “Mit App Inventor”, se trabaja con algoritmos a bloques como en Scratch y para ver el funcionamiento es necesario descargarlo en el celular y escanear un código QR. Después de experimentar decidimos qué sonidos íbamos a poner, buscamos las imágenes y grabamos las ondas con una aplicación que el profe nos dijo, llamada “Phyphox”.
¿Cómo está conformado?	La aplicación tiene tres páginas principales donde la persona puede elegir el sonido del cual quiere ver sus ondas. Son nueve objetos/situaciones en total. Al presionar lo que seleccionó se dirige a la página donde muestra una imagen de lo seleccionado. Al hundirla hará un sonido y abajo hay un video en el que podrás ver las ondas que este produce.
¿Cómo pueden las personas interactuar con este artefacto?	Para interactuar con él, se debe tener la página abierta en un computador y mostrar el código QR. La persona tuvo que haber descargado la aplicación “App Inventor” y poner el Q, ya en la página puedes presionar los botones y escuchar y ver los sonidos.
¿Por qué este producto permite “ver” el sonido?	El producto permite “ver” el sonido ya que se les muestra a las personas las ondas que este genera, con los objetos elegidos logramos ver la diferencia entre ellos. Unos son tan fuertes que las ondas se salen de la imagen y otras que son pequeñitas.
¿Qué propiedades del sonido permite ver? ¿De qué manera?	La propiedad que más se logra distinguir es la amplitud de la onda ya que como se dijo anteriormente, se muestra un video con las ondas que genera el sonido y este varía dependiendo de cómo sea este, se ve más grande y pequeña.
¿Cómo está integrado el arte en el producto?	En el diseño de la aplicación, en la elección de colores, la disposición y las imágenes.

Tecnologías utilizadas	<p>App Inventor: plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles en línea que permite a los usuarios crear aplicaciones para dispositivos Android sin tener conocimientos avanzados de programación.</p> <p>App Phypox: aplicación que utiliza los sensores del celular para captar señales físicas del entorno y mostrarlas mediante representaciones gráficas susceptibles de ser interpretadas.</p>
-------------------------------	---

En la Tabla 35 se observa el cumplimiento de las condiciones establecidas para la construcción del producto y en la Tabla 36 el resultado de evaluación de creatividad del artefacto construido.

Tabla 35

Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto

Condición	Características del producto
Incorporar elementos de carácter conceptual.	El producto permite identificar algunas propiedades de las ondas sonoras como la amplitud.
Contemplar integralmente el uso de la tecnología.	El producto se desarrolla en una aplicación para celulares.
Tener en cuenta elementos conceptuales o técnicas asociadas al arte.	Se evidencian elementos de diseño y equilibrio en la disposición de las imágenes en la interfaz de la aplicación.

Tabla 36

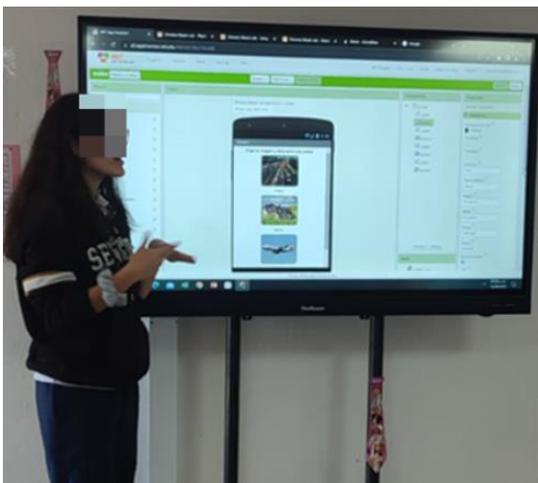
Evaluación del producto de la participante P1

Criterio	Producto
Novedad	El producto aporta algo nuevo, permitiendo observar las ondas generadas por diferentes objetos y/o eventos. La participante articuló dos tecnologías de manera única generando un artefacto con características novedosas.
Utilidad	El producto es útil, pues cumple con el objetivo de observar las propiedades de las ondas sonoras mediante un dispositivo tecnológico.
Estética	Es estético en tanto brinda una unidad de sentido para interpretar las características físicas de las ondas a partir de la interacción con la aplicación. La interfaz es visualmente agradable y de fácil manejo. Además, la recepción por parte de la creadora y de los compañeros fue positiva.
Autenticidad	El producto creativo da cuenta de cómo la estudiante ve el mundo considerando su experiencia e intereses. En principio pensó en hacer un reloj que vibrara y mostrara la representación de las ondas en el exterior. Sin embargo, esta idea se transformó sin perder de vista el interés inicial.

Las Figuras 9 y 10 muestran a P1 y su compañera explicando a la clase el producto construido:

Figura 9

P1 presentando la aplicación desarrollada

**Figura 10**

P1 y su compañera presentando el producto final



5.2.1.3 Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica

En términos generales, P1 se mostró bastante cómoda con el trabajo en equipo, en el desarrollo de las actividades llegaba a consensos con su compañera y se nutría de sus ideas. Se observó que le ayudaba en procesos asociados a la conceptualización y a la generación de nuevas ideas (diario de campo).

La interacción social favoreció la apropiación conceptual de P1, fundamental en los actos creativos teniendo en cuenta que estos se desarrollan en campos específicos del conocimiento. P1 indica que en la actividad de la simulación con ondas sonoras su compañera le ayudó a comprender algunos conceptos: “cuando en la primera actividad que era con Phet, el laboratorio virtual, que teníamos que responder unas preguntas (...) si yo no entendía algo ella me explicaba” (entrevista).

En cuanto al papel del profesor en el abordaje de las actividades planteadas, P1 señala que “el profesor nos dio la idea de cómo podríamos mostrar cómo establecer la velocidad del sonido en diferentes medios para el producto final” (grupo de discusión); “el profesor nos ayudó más que todo, haciendo preguntas porque hacía más claro el entendimiento del tema y resolvía las dudas que teníamos” (grupo de discusión). Lo anterior puede entenderse desde

la perspectiva sociocultural; pues el profesor, quien ya ha incorporado los elementos de la cultura asociados con la situación, le puede ofrecer insumos a los estudiantes para abordar las problemáticas que presentan.

Respecto al papel de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica, se observó que P1 presentaba destrezas básicas en el manejo de estas y cuando no las sabía manipular buscaba recursos tanto humanos como materiales que le ayudaban a comprender su funcionamiento (diario de campo). Específicamente P1 indica que la inteligencia artificial sirve como fuente de inspiración para llevar a cabo la actividad: “Chat GPT puede servir si nos da como ideas para inspirarnos, tener alternativas y así poder terminar (consolidar) la idea” (entrevista). En cuanto a la simulación de Phet, P1 no consideró que esta tecnología implicase la creatividad por el hecho de tener parámetros establecidos: “Ese no tanto pues era como cambiar variables, pero no tanto que tenga que ver con la creatividad”. En relación con el organizador gráfico construido, P1 menciona que este “incorporaba más elementos de la creatividad porque (...) debíamos relacionar los conceptos que teníamos para tener la idea más clara del tema, aunque seguía siendo estructurado” (entrevista). Es importante poner de relieve un aspecto que la participante resalta de la creatividad asociado a la articulación entre los conceptos. No obstante, señala que los mapas mentales siguen presentando ciertas restricciones.

Otra de las herramientas que utilizaron los participantes fue la de Chrome Music Lab en la que podían “componer” diversas canciones. P1 da cuenta de sus emociones mientras interactuaba con esta herramienta:

Esa fue de las que más me gustaron porque trabajamos lo de los circulitos, que uno creaba las figuritas y eso creaba ya un sonido, entonces uno le ponía por decirlo así el ritmo, pues, haciendo como varias líneas seguidas hasta generar un ritmo bonito (entrevista).

Puede observarse que la participante hace referencia a un especial gusto por esta actividad y manifiesta que le permitía construir cosas bonitas. En la actividad de la historia de una partícula P1 utilizó Canva para representar la historia. En la presentación que construyó es posible evidenciar cómo la variedad de elementos que esta herramienta presenta

le permitió realizar el proceso de personificación deseado. P1 indica que con esta herramienta “empezamos a trabajar más la creatividad porque con la historia, pues uno tenía que inventarse la historia, reunir los conceptos y saber cómo utilizarlos (...); se necesitó creatividad porque hay que hacer la historia y además (...) ilustrarla (entrevista).

En relación con la actividad ¿cómo se ve el sonido?, P1 junto a su compañera construyeron como se dijo anteriormente, una aplicación usando App Inventor. La participante inicia indicando que el hecho de hacerla interactiva implicaba ya el uso de la creatividad porque:

buscamos la manera de cómo relacionar las cosas de una manera como entretenida, de que si hundías el botón iba a sonar y – como interactivo -, sí, (...) interactivo, dinámico. Con lo del estilo fue un poco complicado porque eran cosas predeterminadas entonces tocaba hacerla con lo que había (...). Yo intentaba cambiarlo, pero, el tipo de letra pensé que se podía cambiar, pero se podía cambiar era el tamaño más no el tipo. También la aplicación necesitaba una programación en bloques, que decía si se hunde este botón, que suene tal cosa o que se vaya a tal parte. Entonces ponía que si se hunde este botón que se vaya a tal página o si se hunde este botón que suene y cosas así. (grupo de discusión)

En las expresiones de P1 pueden identificarse algunas características de las tecnologías que favorecen procesos creativos: vinculan emocionalmente al sujeto en la actividad que está realizando, posibilitan la construcción de objetos materiales o inmateriales que los estudiantes consideran con cierto grado de belleza, son interactivas y dinámicas y permiten la modificación de los parámetros iniciales en términos de la funcionalidad que se quiera alcanzar. Esta última característica está asociada con el pensamiento computacional, específicamente de la secuenciación.

5.2.1.4 Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica

P1 se vio bastante implicada en las diferentes actividades que se plantearon, la manera en la que fue evolucionando su discurso daba cuenta de los niveles de apropiación conceptual

que estaba alcanzando, además en actividades como la historia de la partícula pudo observarse la forma en que ponía en juego su creatividad para construir e ilustrar la historia haciendo uso de tecnología (diario de campo).

A continuación, se da a conocer la valoración que hace P1 del enfoque educativo STEAM en relación con su aprendizaje de la física y el desarrollo de la creatividad.

En cuanto al aprendizaje P1 manifiesta que:

la metodología que estuvimos implementando era más independiente, interactiva y didáctica, cada uno hacía las actividades solo y ya luego se retroalimentaba o sintetizaba mejor con el profesor, a diferencia de una metodología tradicional que es de un profesor explicando todo, luego se hacen actividades, normalmente talleres escritos y luego el examen. (entrevista)

Puede observarse cómo P1 valora positivamente la metodología de la propuesta STEAM, describiendo algunas características de esta que favorecieron su aprendizaje. La educación STEAM fue valorada igualmente en términos de la forma mediante la cual puso en juego la creatividad. Ante la pregunta planteada en el grupo de discusión: ¿consideras que el enfoque STEAM ofrece la oportunidad de poner en juego tu creatividad? P1 respondió: “sí, ayuda a usar la creatividad ya que había actividades en las que era necesario usar la imaginación para hacerlas” (grupo de discusión). Puede observarse como P1 pone de manifiesto la importancia de la imaginación, la cual es resaltada por la participante como fundamental en los procesos creativos.

En términos generales puede decirse que P1 realizó un importante avance en términos de las etapas de dominio conceptual alcanzando niveles de consciencia elevados en los que transforma los significados de la ciencia. La participante logra los objetivos de la propuesta planteada en la medida que construye un artefacto que da cuenta de un acto creativo a partir del cual es posible identificar algunas propiedades de las ondas sonoras. Además, P1 valora positivamente su aprendizaje y pone de manifiesto que este enfoque contempló actividades que favorecieron su creatividad.

5.2.2 Caso Participante 2

El participante P2 tienen 16 años, presenta un buen rendimiento académico en la materia y se articula fácilmente con sus compañeros para realizar actividades en equipo. Además, le apasionan los videojuegos, por lo que presenta importantes destrezas en varios de ellos.

5.2.2.1 Internalización de significados en física en términos de las etapas de dominio conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa

Las expresiones de los participantes fueron caracterizadas a partir de las etapas de dominio conceptual descritas en la Tabla 25 en el marco de algunas de las actividades presentadas en la Tabla 24.

Actividad: Diagnóstico

Tabla 37

Etapas de dominio conceptual I P2

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Similitudes: En ambos el agua está presente. En ambos hay movimiento. Las dos se dan en cuerpos de agua.</p>	<p>Espontánea (las explicaciones no incorporan lenguaje científico asociado a las ondas sonoras)</p>
<p>Diferencias: Hay reacciones distintas.</p>	
<p>Representación gráfica</p>	

Tabla 38

Etapas de dominio conceptual II P2

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Al golpear el tambor se disparan unas ondas de sonido en todas las direcciones incluyendo mis oídos, lo que me hace escucharlo.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (la explicación está en el plano de lo descriptivo y utiliza pocos conceptos científicos)</p>

Representación gráfica

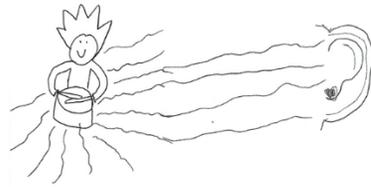
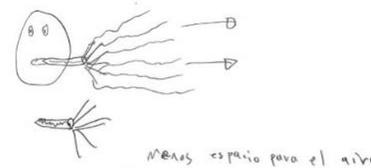


Tabla 39

Etapas de dominio conceptual III P2

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
Al aplicar fuerza eólica sobre la válvula de aire, este se comprime y entre más corto el tubo menos espacio para el aire y más agudo sale el sonido.	Cuasi-reproductiva (si bien hace uso de algunos conceptos científicos, se requiere mayor precisión para explicar el fenómeno físico en cuestión).

Representación gráfica



A continuación, se presenta el esquema construido por P2 a partir de conceptos asociados a las ondas sonoras:

Tabla 40

Etapas de dominio conceptual IV P2

Evidencia	Etapa de dominio conceptual
	Cuasi-reproductiva (varias de las articulaciones establecidas entre conceptos son inconsistentes)

Del diagnóstico se puede afirmar que las explicaciones de P2 se ubican en una fase cuasi-reproductiva, pues solo en ocasiones hace alusión a conceptos científicos y, a veces, de manera imprecisa.

Actividad: Interactuando con una simulación sobre las características del sonido

Tabla 41

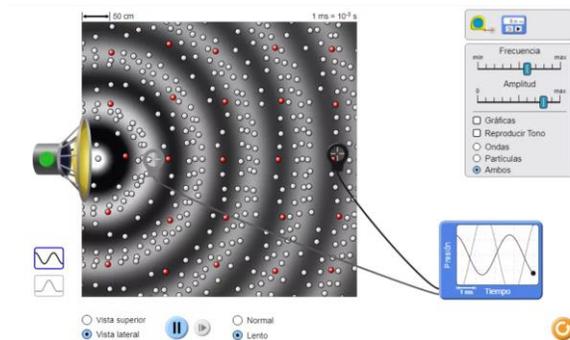
Etapas de dominio conceptual V P2

Evidencia	Etapa de dominio conceptual
<p>Similitudes: Tanto en el aire como en el agua se transmiten vibraciones.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (si bien hace alusión a conceptos científicos, estos son insuficientes para explicar el fenómeno en cuestión).</p>
<p>Diferencias: El agua se estabiliza en presión después de un centímetro, mientras que en el aire se estabiliza después de 50 cm.</p>	
<p>Directamente proporcional ya que al aumentar la frecuencia aumenta la tonalidad. Todas las ondas tienen frecuencia, longitud de onda y amplitud. El agua y el aire son medios por donde van las ondas.</p>	<p>Reproductiva (se establece una relación precisa entre las variables implicadas en el fenómeno).</p>

A manera de ejemplo, se muestra a continuación el pantallazo tomado por P2:

Figura 11

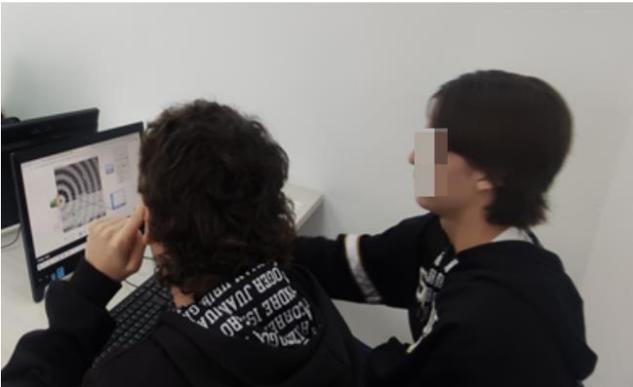
Pantallazo tomado por P2 (zonas de mayor y menor presión)



En la Figura 12 se muestra a P2 desarrollando la actividad en cuestión:

Figura 12

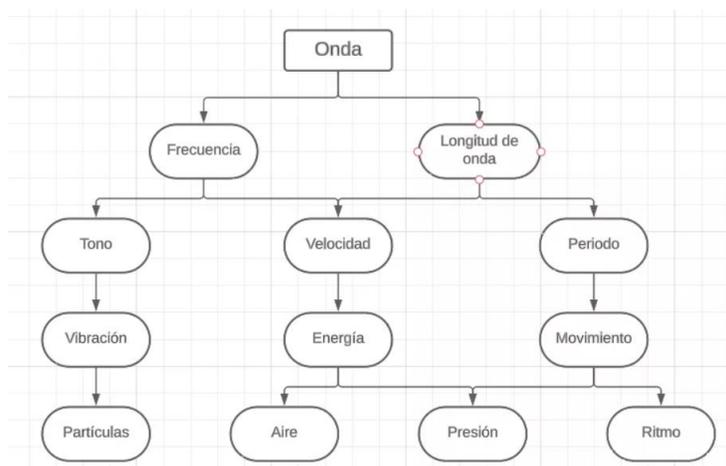
P2 y su compañero interactuando con la simulación



Actividad: organizador gráfico sobre las ondas sonoras

Figura 13

Esquema sobre ondas sonoras construido por P2



Dado que no utilizó conectores en el esquema construido, es complejo dar cuenta del sentido en el que relacionó nuevamente los diferentes conceptos. Podría decirse que uno de los principales cambios es la jerarquía que establece; pues donde antes aparecía energía ahora aparece el concepto de onda, a la cual le atribuye dos propiedades: frecuencia y longitud de onda. Quizá otra relación que puede identificarse es la de energía, aire y presión que podría explicar la manera en que se propaga el sonido. Estas relaciones no aparecían en el esquema

inicial, ello puede dar cuenta parcialmente del proceso de conceptualización que estaba llevando a cabo.

En la Figura 14 se observa a P2 y a su compañero construyendo el esquema apoyándose en la simulación para generar una articulación adecuada de los conceptos:

Figura 14

P2 y su compañero elaborando el organizador gráfico sobre ondas sonoras



De las dos actividades anteriores pueden mencionarse que P2 transitó de una etapa espontánea a una reproductiva. Posteriormente se empezaron a identificar explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa. Por lo anterior la información fue analizada a partir de la subcategoría descrita en la Tabla 25.

Tabla 42

Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire

Evidencia	Nuevos sentidos al significado social del fenómeno	Nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno
<p>Hoy presentaremos el comportamiento de una partícula de aire en distintas frecuencias, intensidades y sonidos. Aquí tenemos a nuestra partícula la cual va a entrar a un concierto de Rock and Roll. Podemos ver cómo la partícula vibra intensamente gracias a que la longitud de onda es muy corta y su amplitud muy alta. Ahora nuestra partícula va a entrar en un teatro en el que se va a escuchar música clásica, podemos ver cómo la partícula disfruta del ritmo y vibra menos haciendo menos oscilaciones ya que la intensidad de la música es baja.</p>	<p>El participante da cuenta de la personificación de la partícula de aire cuando en la historia la sitúa en diferentes escenarios.</p> <p>Se le atribuyen emociones a la partícula.</p>	<p>P2 establece una relación de proporcionalidad entre la longitud de la onda, la amplitud y la intensidad de la vibración de la partícula.</p>

Representación:

Enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=gN1AMPyELyc>

Actividad: ¿cómo se ve el sonido?

En esta actividad también se pudo identificar una transición de una etapa de dominio conceptual reproductiva a una reproductivo-creativa. P2 utilizó nuevamente el videojuego en Fornite para la construcción del producto final. En el caso de P2 puede evidenciarse una nueva forma de acercarse al fenómeno y de alterar el sentido del significado a lo largo del juego. Cada uno de los mundos creados en Fornite da cuenta de cómo les otorga nuevos sentidos a los significados del concepto haciendo uso de los elementos ofrecidos por el modo creativo del videojuego. Inicialmente el personaje empuja una pelota a través de un circuito en forma de una onda, es una alteración interesante pues la pelota hace las veces de partícula; de esta manera establecen una relación entre la partícula y la onda, fundamental en la comprensión del fenómeno del sonido en términos físicos. Posteriormente, se pasa a otro mundo en el que el personaje salta en diferentes plataformas que generan sonidos con frecuencias distintas. Establecer esta relación entre la frecuencia y las plataformas da cuenta de cómo construyen nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno, perteneciendo estos a campos semánticamente distantes. Luego el personaje comienza a oscilar entre una pared y otra dando cuenta de la manera en que vibran las partículas de aire en una onda sonora, puede observarse cómo establece una relación cercana con el significado, además, las camas que lo tiran hacia un lado y hacia el otro representan los cambios de presión en el aire que se constituyen en la causa del movimiento de las partículas. Finalmente, P2 hace que el personaje atravesase túneles contruidos con diferentes materiales, principalmente agua y hierro y muestran cómo en ambos la velocidad del sonido varía, asignando de esta manera un nuevo sentido a la velocidad del sonido y posibilitando su comprensión a partir de la contextualización creativa que realiza. En la Figura 15 se muestra al personaje saltando en las plataformas que generan sonidos con diferentes frecuencias.

Figura 15

Escena del videojuego elaborado por P2



5.2.2.2 Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad

A continuación, se realiza una breve descripción de las características generales del producto elaborado por P2, así como de los instrumentos tecnológicos utilizados para su construcción. También se presentan algunos aspectos asociados al proceso de elaboración, se revisa que el producto cuente con las condiciones establecidas desde el principio y se hace una evaluación a partir de los criterios formulados por Kharkhurin (2014), relacionados con la novedad, utilidad, estética y autenticidad.

P2 elaboró un videojuego en Fornite. El producto construido está constituido por diferentes mundos relacionados con características de las ondas sonoras como la velocidad, la vibración y la frecuencia. A continuación, en la Tabla 43 se presentan algunos fragmentos en los que el participante describe cómo fue el proceso de ideación y construcción del proyecto.

Tabla 43

Proceso de construcción del artefacto de P2

Pregunta	Respuesta de la participante
¿Cuáles fueron las ideas iniciales?	Como somos personas a las que le gustan los videojuegos, pensamos en hacer el proyecto en Fornite.
¿Cómo cambiaron las ideas iniciales?	No cambiaron, nuestra idea siempre fue realizar el videojuego en Fornite.

¿Cómo fue el proceso de construcción del producto?	Mis compañeros y yo ingresamos al modo creativo de Fornite y ahí creamos los mundos frecuencia, vibración y velocidad.
¿Cómo está conformado?	Son diferentes niveles en los que se puede evidenciar el comportamiento del sonido en diferentes situaciones y lugares.
¿Cómo pueden las personas interactuar con este artefacto?	Tienen que entrar al videojuego (Fortnite) y empezar a recorrer los mundos.
¿Por qué este producto permite “ver” el sonido?	Porque cada mundo corresponde a una característica de las ondas sonoras y la persona las puede ver cuando está jugando.
¿Qué propiedades del sonido permite ver? ¿De qué manera?	Frecuencia, vibración y velocidad. El personaje es como si fuera la partícula y esta experimenta esas propiedades.
¿Cómo está integrado el arte en el producto?	Creo que en el diseño del videojuego.
Tecnología utilizada	Fornite es un videojuego desarrollado por Epic Games, presenta una opción llamada “Modo Creativo”. El modo creativo de Fornite es una característica del juego que permite a los jugadores construir y crear sus propias islas y mundos personalizados. En el modo creativo, los jugadores tienen acceso a una variedad de herramientas de construcción y elementos prefabricados que pueden usar para crear estructuras complejas, paisajes, pistas de obstáculos y juegos personalizados. Pueden manipular el entorno, añadir objetos, ajustar la iluminación y crear su propio mundo virtual dentro de los límites de la isla proporcionada.

En la Tabla 44 se observa el cumplimiento de las condiciones establecidas para la construcción del producto y en la Tabla 45 el resultado de evaluación de creatividad del artefacto construido.

Tabla 44

Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto

Condición	Características del producto
Incorporar elementos de carácter conceptual	El producto permite identificar características de las ondas sonoras como la frecuencia, la vibración y la velocidad.
Contemplar integralmente el uso de la tecnología	El producto es desarrollado en su totalidad en Fornite, un videojuego que cuenta con la opción “modo creativo” para la construcción de videojuegos propios.
Tener en cuenta elementos conceptuales o técnicas asociadas al arte	Se evidencian elementos de diseño y equilibrio en los diferentes mundos que contempla el juego construido.

Tabla 45

Evaluación del producto del participante P2

Criterio	Producto
Novedad	El producto aporta algo nuevo, pues genera un videojuego que explica algunos conceptos de las ondas sonoras en cada uno de los mundos diseñados.

Utilidad	El producto es útil, pues cumple con el objetivo de observar las propiedades de las ondas sonoras mediante una herramienta tecnológica, para este caso el videojuego.
Estética	Es estético en tanto brinda una unidad de sentido para interpretar las características físicas de las ondas a partir de la interacción con el videojuego. La interfaz es visualmente agradable y de fácil manejo. Además, la recepción por parte de la creadora y de los compañeros fue muy positiva. Cada mundo construido de cuenta de un concepto distinto asociado a las ondas sonoras; es claro que este acto creativo tiene un fundamento científico. Además, la interacción con la herramienta permite entender conceptos de ondas sonoras con un importante nivel de abstracción que al materializarse en un videojuego facilita su comprensión.
Autenticidad	El producto creativo da cuenta de cómo el estudiante ve el mundo considerando que, en contextos diferentes al escolar, a P2 le gustan bastante los videojuegos. En este caso, utilizó su experiencia para generar el artefacto final.

En las Figuras 16 y 17 se puede observar respectivamente una escena del videojuego y estudiantes de otros grados interactuando con el mismo.

Figura 16

Escena de uno de los mundos del videojuego



Figura 17

Estudiantes de otros grupos interactuando con el videojuego



5.2.2.3 Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica.

Respecto a la interacción social, P2 estableció vínculos fuertes con sus compañeros en el desarrollo de la propuesta, dado que en las actividades llegaban a consensos, daban ideas y las ejecutaban. La mayor parte del trabajo colaborativo fue en línea, podía observarse cómo este entorno virtual favorecía el trabajo colaborativo, pues tenían una diversidad de elementos a disposición para alcanzar el objetivo en cuestión (diario de campo).

P2, además, habla de una construcción conjunta de la idea que quería desarrollar, reconociendo que algunas cosas de las que plantearon sus dos compañeros no las habría considerado:

Ambos me ayudaron a generar ideas, ambos me ayudaron con el mapa (videojuego), pues, a elaborarlo y a poner cosas que yo no hubiera puesto y que me gustaron, también me mejoraron algunas ideas; yo di unas ideas y ellos dieron otras y me pareció que las de ellos eran mejores. (grupo de discusión)

A partir de la narración del participante puede decirse que la colaboración desempeña un papel crucial en tanto trae a colación elementos que no habían sido puestos en consideración para el abordaje de cuestiones que surgen en el marco de procesos creativos. Además, P2 hace explícito que en el proceso hacía una evaluación de las ideas de sus compañeros analizando el nivel de pertinencia para abordar el problema propuesto. Lo anterior lo ilustra a través de la siguiente narrativa: “por ejemplo, elaborando el segundo mundo, yo di una idea, mi compañero dijo que podíamos hacer lo de las cosas que sonaban, que iban cambiando de tono, de frecuencia, entonces sí, eso me pareció muy bacano” (entrevista). Para este caso emerge otra característica del proceso creativo que tiene que ver con el hecho de que el sujeto pondera las opciones ofrecidas por un agente externo que pone en juego posibles ideas para abordar una situación específica.

En relación con el apoyo para el manejo de herramientas tecnológicas se identificó que en el grupo de P2 todos sabían manejar la herramienta con la cual estaban construyendo el producto final. P2 refiriéndose al videojuego construido señala “ambos me ayudaron también con el mapa, a crearlo a poner la información y todo lo demás” (entrevista).

En cuanto al papel de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad se pudo observar a P2 bastante implicado en la interacción con estas, utilizando cada una de manera eficiente para abordar las actividades que se proponían. Se mostró entusiasmado principalmente con la historia de la partícula y la construcción del producto final a partir del cual representó algunas propiedades de las ondas sonoras (diario de campo).

Al hablar de qué tanto las tecnologías favorecían la creatividad, P2 menciona específicamente que el uso de ChatGPT en la creatividad puede ser concebida desde perspectivas diferentes:

Se puede mirar de las dos formas porque, por un lado, digamos si uno es muy perezoso y no quiere simplemente pensar (...) puede usar eso y ya tiene su respuesta, pero por ejemplo si uno está interesado en un tema (...) y quiere saber más, puede usar ChatGPT para seguir fomentando lo que está haciendo, osea la creatividad. (entrevista)

P2 considera que ChatGPT no es creativo, quizá porque no lo equipara a la mente humana; sin embargo, reconoce las posibilidades que presenta al tener un importante banco de información disponible. Cuando se le pregunta al respecto, P2 comenta que “Chat GPT al ser una inteligencia artificial ella tiene mucho conocimiento, osea, prácticamente todo entonces pues, no es creativo, pero sí tiene toda la información” (entrevista).

En cuanto a la simulación utilizada, P2 manifiesta que esta no posibilita la creatividad ya que “La simulación no permite tanto la creatividad porque ya casi todo está dado, tú solo mueves unas variables y otras cambian” (entrevista). Puede notarse que el participante no considera una tecnología como creativa si esta presenta varios parámetros preestablecidos.

Respecto al videojuego Fornite utilizado en la actividad de la historia de la partícula, P2 menciona que esta actividad implicó más el uso de la creatividad en la medida que debían inventar todo desde cero e interactuar con las opciones de la herramienta para realizar las configuraciones correspondientes: “implica más la creatividad porque uno tiene que crear por ejemplo el mapa, decir cómo iban a ser las cosas, mi compañero por ejemplo tenía que configurar el muñeco para hacer los bailes” (entrevista). Al preguntarle cómo articularon los conceptos de física al juego responde que “Por ejemplo, cuando estaba en el concierto de rock, entonces que iba haciendo piruetas y en el de música clásica estaba más calmado, disfrutando de la música” (grupo de discusión). Lo anterior pone de manifiesto otra característica que debe tener una herramienta que favorezca la creatividad y es el hecho de permitir la manipulación de los parámetros desde una etapa inicial.

El participante expresa que al igual que en la actividad de la historia de la partícula, la construcción del videojuego en Fornite puso en juego su creatividad, solo que para este caso era “más elaborada e interactiva” (entrevista). Además, menciona que la construcción de los diferentes mundos hizo que tuvieran que aprovechar los recursos que la herramienta tenía a disposición: “para poder hacer los mundos y relacionarlos con los conceptos necesitábamos creatividad porque el videojuego no fue creado para explicar cosas de física”. Es importante traer a colación este comentario del participante pues da cuenta de cómo la tecnología favorece la articulación de campos semánticos aparentemente distintos, un componente fundamental de los procesos creativos.

5.2.2.4 Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica

En el desarrollo de la propuesta pudo observarse cómo P2 se iba apropiando paulatinamente de los conceptos relacionados con las ondas sonoras. Además, se veía bastante implicado en las actividades, especialmente en aquellas que le permitían expresar libremente el conocimiento; por ejemplo, en la construcción del producto final. En este proceso buscó apoyo en el profesor para precisar conceptos y de esa manera poder representarlos de una mejor forma en el videojuego (diario de campo).

A continuación, se da a conocer la valoración que hace P2 del enfoque educativo STEAM en relación con su aprendizaje de la física y el desarrollo de la creatividad.

P2, respecto a la etapa formativa previa al desarrollo de producto final, indica que es importante en la medida que “uno no puede hacer nada sin una base” (entrevista). Después de su respuesta se le planteó la siguiente pregunta con el fin de identificar si articulaba las actividades de la etapa inicial con la final: ¿a ti te pareció necesaria la consulta para el producto final que hicieron? A lo que el participante respondió “Sí, claro, porque por ejemplo el de nosotros explicaba (...) lo de la frecuencia, lo de la vibración, la oscilación y eso lo habíamos trabajado antes con la consulta, la simulación y el mapa que hicimos (entrevista). Puede observarse que el participante relaciona estas etapas con el éxito del producto final elaborado, que para su caso fue un videojuego.

P2 concluye respecto a su aprendizaje con la propuesta STEAM, que “este método nos permite abrir nuestra mente a nuevas ideas y pensamientos para mejorar nuestro

aprendizaje”. Lo anterior permite inferir que el carácter abierto de las actividades que se planteen desde la educación STEAM puede favorecer los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

En relación con el desarrollo de la creatividad, P2 menciona que la educación STEAM sí la promueve en la medida que “los ejercicios que nos propone, para ser resueltos se requiere ser creativo y pensar fuera de la caja” (grupo de discusión). Al pedirle al estudiante que mencione a qué se refiere con “pensar fuera de la caja” el estudiante responde: “salir de la zona de confort, osea (...) pensar algo que usted no pensaría normalmente” (grupo de discusión). El participante reconoce que las actividades planteadas favorecen la creatividad en tanto movilizan el pensamiento a lugares o relaciones desconocidas. Además, menciona que este enfoque pone menos límites que la educación tradicional; y al indagar por cuáles considera que son esos límites, el estudiante responde:

Pues digamos los límites serían que uno tiene que estar en una clase simplemente escuchando lo que dice el profesor y uno tiene que entender eso y tiene simplemente que hacer ejercicios y luego un examen, entonces ya está como limitado a eso, no puedes simplemente ampliar el conocimiento o mirar otras formas. (grupo de discusión)

Este aporte del participante es relevante en tanto pone de manifiesto cómo la educación desde un enfoque transmisionista obstaculiza el desarrollo de la creatividad de los estudiantes, en esta medida es catalogado por el participante como un sistema que limita el pensamiento y no permite otras formas de abordar y transformar el conocimiento. Como puede observarse una de las principales diferencias entre la educación tradicional y el enfoque STEAM es que este último favorece el desarrollo de la creatividad.

En términos generales puede decirse que fue notable el proceso de conceptualización del participante, a medida que iban avanzando las actividades su lenguaje se iba enriqueciendo en relación con las explicaciones asociadas al fenómeno de ondas sonoras. Además, el hecho de que el producto final se realizara en una plataforma bastante familiar para él, como Fornite, hizo que su expresión creativa se viera potenciada, haciendo un uso ingenioso de esta herramienta para alcanzar el objetivo trazado, construyendo un producto

creativo que daba cuenta de las transformaciones a los significados de la ciencia y por tanto de su significativo proceso de aprendizaje.

5.2.3 Caso Participante P3

La participante P3 tiene 16 años, es bastante activa y presenta importantes habilidades artísticas tanto en el dibujo como en la música. Era la personera del colegio, por lo tanto, su nivel de liderazgo es bueno, esto hace que se le facilite el trabajo en equipo en el que normalmente asume un papel protagónico. Muestra motivación en las clases de física principalmente cuando se realizan trabajos experimentales.

5.2.3.1 Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa

Las expresiones de P3 fueron caracterizadas a partir de las etapas de dominio conceptual descritas en la Tabla 25 en el marco de algunas de las actividades presentadas en la Tabla 24.

Actividad: Diagnóstico

Tabla 46

Etapas de dominio conceptual I P3

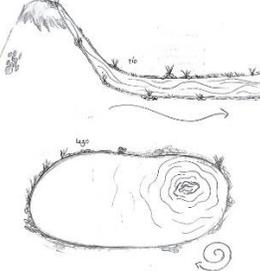
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Semejanzas: Suceden en agua. El agua responde de acuerdo con lo que le pasa, generando ondas por la piedra o fluyendo luego de caer por la montaña.</p> <p>Diferencias: En el lago el agua está mayormente estancada mientras que en el río está fluyendo. Un lago es ancho y hondo, un río es estrecho y llano</p>	<p>Espontánea (las explicaciones se quedan en el plano de los descriptivo)</p>
<p>Representación gráfica</p>	

Tabla 47

Etapas de domino conceptual II P3

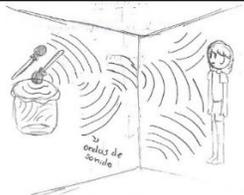
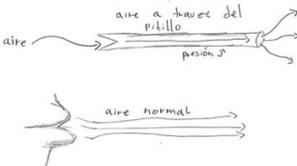
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Cuando golpean el tambor se produce un sonido que rebota dentro del tambor, para luego salir y rebotar en las paredes hasta llegar a mí.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (si bien en la explicación solo se hace alusión a elementos descriptivos, en la representación gráfica se da cuenta de la manera en la que se propaga el sonido).</p>
<p>Representación gráfica</p>	

Tabla 48

Etapas de dominio conceptual III P3

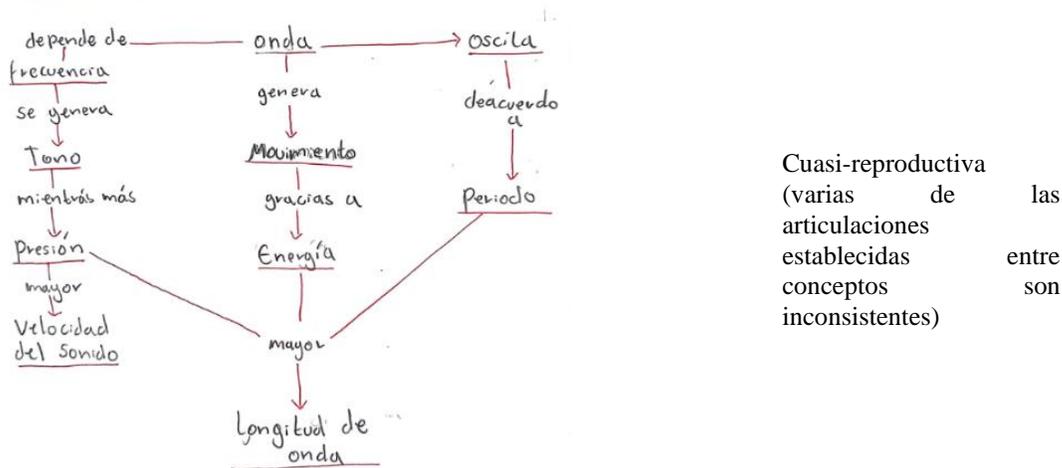
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>El aire está siendo contenido dentro del pitillo, mientras más largo el pitillo el aire tiene más por donde recorrer entonces suena más grave mientras que si el pitillo es corto el aire mantiene la presión ejercida y suena agudo.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (si bien hace uso de algunos conceptos científicos, se requiere mayor precisión para explicar el fenómeno físico en cuestión).</p>
<p>Representación gráfica</p>	

A continuación, se presenta el esquema construido por P3 a partir de conceptos asociados a las ondas sonoras:

Tabla 49

Etapas de dominio conceptual IV P3

Evidencia	Etapa de dominio conceptual



Del diagnóstico se puede afirmar que las explicaciones de P3 se ubican en una etapa de dominio conceptual cuasi-reproductiva, pues si bien en ocasiones hace alusión a conceptos científicos, normalmente se queda en el plano de lo descriptivo, o bien, los utiliza de manera imprecisa.

Actividad: Interactuando con una simulación sobre las características del sonido

Tabla 50

Etapas de dominio conceptual V P3

Evidencia	Etapas de dominio conceptual
<p>Similitudes: Las ondas tienen la misma forma. A menor amplitud más pequeña es la onda.</p>	<p>Reproductiva (utiliza acertadamente los conceptos de la ciencia para explicar las diferencias y similitudes del movimiento ondulatorio en ambos medios).</p>
<p>Diferencias: En el agua las ondas de presión son más lentas y compactas que en el aire. En el aire las ondas de presión son más amplias.</p>	
<p>Conclusiones del laboratorio virtual El movimiento de las partículas varía gracias a que con mayor frecuencia las ondas son más rápidas provocando un mayor movimiento en las partículas. La frecuencia y la amplitud son dos factores que afectan directamente el tamaño y el movimiento de las ondas. El agua y el aire son dos conductores de vibraciones (...) que se transforman en ondas. La amplitud disminuye o aumenta el tamaño de las ondas.</p>	<p>Reproductiva (utiliza conceptos científicos para justificar sus explicaciones, reconociendo tanto la relación entre las variables como las características de los medios de propagación de la onda).</p>

Actividad: organizador gráfico sobre las ondas sonoras

Figura 18

Esquema sobre ondas sonoras construido por P3

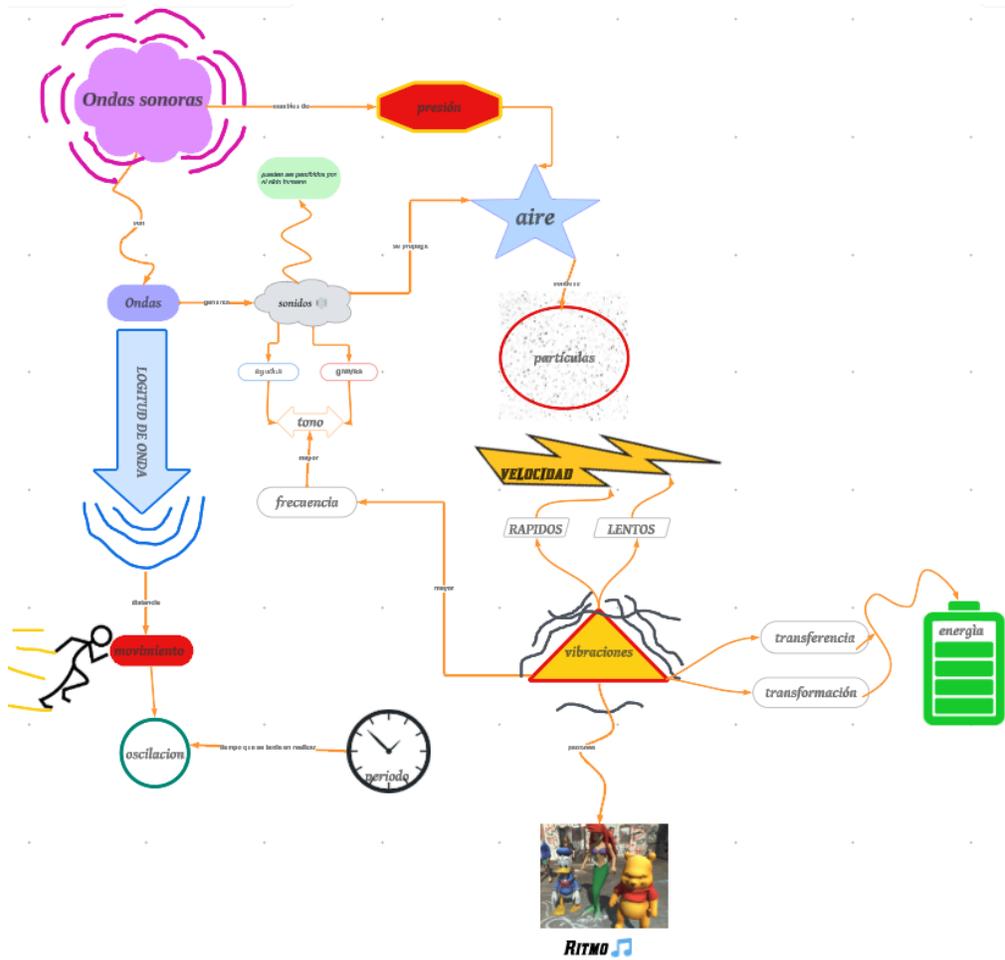


Figura 19

P3 y sus compañeras en el proceso de construcción del organizador gráfico



Del mapa construido por P3 se pueden identificar diferentes principios que la ubican en una etapa de dominio conceptual reproductiva, algunos de ellos son:

- Las vibraciones con ciertos patrones dan lugar al ritmo.
- En las vibraciones se encuentran involucrados transferencias y transformaciones de energía.
- Las ondas sonoras están dadas por cambios de presión en el aire, el cual está conformado de partículas.
- El periodo es el tiempo que tarda en realizar una oscilación.
- La frecuencia presenta una relación directamente proporcional con el tono.

Puede observarse que la participante se ha apropiado de un importante número de principios necesarios para explicar el comportamiento de las ondas sonoras que no aparecían en el esquema inicial. Además, incorpora diferentes representaciones que dan cuenta de cómo imagina el concepto en su propio lenguaje, un proceso importante en la consolidación de los aprendizajes y que ubica también sus explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa.

Actividad: Historia de una partícula

A partir de esta actividad se identificaron también explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa. Por lo anterior la información fue analizada a partir de la subcategoría descrita en la Tabla 25.

Tabla 51

Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire

Evidencia	Nuevos sentidos al significado social del fenómeno	Nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno
Estaba yo preparándome para entrar al concierto de Feid, estaba haciendo la fila y me demoré como 2 horas para entrar, pues la gente me empujaba mucho y había mucha presión entre unos y otros, pero al fin pude entrar. Estaba ubicado en el palco justo al frente del parlante principal, y comenzaron las pruebas de sonido. Primero salió un dj llamado dj orejas y empezó a poner guaracha con un tono muy agudo lo que me puso alegre y me puso a moverme muy rápido, además que tenía una	La participante hace una personificación de la partícula ubicándola en diferentes escenarios y dando cuenta de lo que allí experimenta. P3 además le asigna determinadas emociones e incluso gustos musicales.	La participante da cuenta de su comprensión de lo que es una onda sonora al considerarla el producto de cambios de presión en el aire y lleva dicha comprensión a otros contextos. Hace explícita la articulación que

frecuencia muy alta lo cual producía muchas vibraciones muy intensas y rápidas y todo el escenario estaba retumbando a pesar de que el periodo de las vibraciones había disminuido porque le tomaba menos tiempo realizar una oscilación.

Por fin había terminado el dj de tocar y salió el siguiente telonero, era una estrella de rock poco conocida, y empezó a cantar con un timbre super grave en su voz, las ondas que producía el bafle a pesar de su gran volumen, no me hacían mover tanto como las de la guaracha, el rock no era mi género favorito. Después de una larga espera por fin salió Feid, ¡su canción alcanzó una inmensa longitud de onda abarcando todo el lugar y todos estábamos muy emocionados! (P3)

establece en la narrativa entre la relación proporcional del tono y la frecuencia entendida como el número de oscilaciones por unidad de tiempo.

Reconoce una relación inversa entre las variables de frecuencia y periodo.

Se puede identificar una asociación entre el timbre y la tonalidad.

Manifiesta una comprensión espacial de las longitudes de ondas en tanto oscilaciones en el aire.

Representación:



Enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=gN1AMPyELyc>

Figura 20

P3 en el proceso de construcción de la representación audiovisual de la historia de la partícula



Actividad: ¿cómo se ve el sonido?

En esta actividad también se pudo identificar una transición de una etapa de dominio conceptual cuasi-reproductiva a una reproductivo-creativa. P3 realizó un experimento en el

que la frecuencia del sonido se veía reflejado en la vibración de un hilo de agua. En el producto elaborado por P3 puede identificarse una nueva relación entre el significado y el sentido del fenómeno en la medida que usualmente no percibimos las vibraciones del sonido en el agua, es un contexto lejano al campo de las ondas sonoras, sin embargo, cuando se unifican permite comprender las ondas como una oscilación en un medio determinado. En la Figura 21 se muestra el agua oscilando a 15 Hertz.

Figura 21

Movimiento del agua en una frecuencia de 15 Hz



5.2.4.2 Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad

En este apartado se realiza una breve descripción de las características generales del producto elaborado por P3, así como de los instrumentos tecnológicos utilizados para su construcción. También se presentan algunos aspectos asociados al proceso de elaboración, se revisa que el producto cuente con las condiciones establecidas desde el principio y se hace una evaluación a partir de los criterios formulados por Kharkhurin (2014), relacionados con la novedad, utilidad, estética y autenticidad.

El producto de P3 consistió en un experimento en el que el agua vibra a diferentes frecuencias. Para ello una manguera conectada a una fuente de agua fue adherida a la membrana del parlante de un bafle. Al generarse los movimientos el parlante el hilo de agua cambiaba su forma en función de las frecuencias que desde la App Physics Toolbox Sensor Suite se producían. Para observar adecuadamente las frecuencias manifestadas en el movimiento del agua, los estudiantes utilizaron las cámaras de los celulares teniendo en cuenta que la frecuencia para captar imágenes interactúa con la frecuencia a la que se mueve

el agua. A continuación, en la Tabla 52, se presentan algunos fragmentos en los que la participante describe cómo fue el proceso de ideación y construcción del proyecto.

Tabla 52

Proceso de construcción del artefacto de P3

Pregunta	Respuesta de la participante
¿Cuáles fueron las ideas iniciales?	Inicialmente, tuvimos la idea de utilizar un parlante y líquido no-newtoniano para hacer el proyecto ya que el líquido no-newtoniano adoptaba ciertas formas al estar en contacto con las vibraciones del baffle.
¿Cómo cambiaron las ideas iniciales?	Al buscar el experimento en YouTube nos topamos con un experimento de agua y sonido en donde el agua cambiaba de forma dependiendo de la frecuencia de las vibraciones del baffle, y este nos pareció más adecuado.
¿Cómo fue el proceso de construcción del producto?	Para iniciar con la construcción del producto buscamos los materiales: un baffle, una manguera, una aplicación de frecuencia, cinta y una fuente de agua. El agua viajaría por la manguera que estaba pegada al baffle y al salir por la punta, el agua haría diferentes formas dependiendo de la frecuencia que pusiéramos en el generador de tonos. Iniciamos el proceso de construcción, pero, nos dimos cuenta de que no ocurría nada, incluso intentamos con un baffle más grande, con una manguera más larga y con más agua, nada parecía cambiar. Desilusionadas buscamos videos para ver qué hacíamos mal, hasta que topamos con un video que mencionaba que el efecto del agua solo se veía desde una cámara y que el ojo humano no lo podía ver, pues se generaba un efecto en el que se encontraban la frecuencia del sonido con la de la cámara.
¿Cómo está conformado?	El experimento requiere de un baffle, una aplicación generadora de tonos, una manguera y una fuente de agua a la que se pueda conectar la manguera. Una parte de la manguera se pega al baffle y la parte por donde sale el agua queda libre para mostrar el efecto de las vibraciones.
¿Cómo pueden las personas interactuar con este artefacto?	Las personas deben utilizar las cámaras de sus celulares y observar los efectos visuales que ocurren cuando cambian las frecuencias.
¿Por qué este producto permite “ver” el sonido?	Porque el sonido es una vibración y el agua permite ver esas vibraciones.
¿Qué propiedades del sonido permite ver? ¿De qué manera?	La vibración, la frecuencia y el tono.
¿Cómo está integrado el arte en el producto?	Creo en los efectos visuales que se generan.
Tecnologías utilizadas	P3 utilizó la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite, la cual es una App móvil diseñada para dispositivos Android que permite a los usuarios utilizar los sensores integrados en sus teléfonos inteligentes para realizar experimentos y mediciones en tiempo real relacionadas con conceptos de física. La aplicación proporciona datos en tiempo real y gráficos visuales que ayudan a los usuarios a comprender mejor los conceptos físicos y a visualizar los resultados de sus experimentos. También para este producto hicieron uso de un baffle y la cámara de los celulares, el primero es un dispositivo electroacústico diseñado para mejorar y amplificar el sonido producido por una fuente de audio y la segunda hace referencia a un componente crucial del celular que permite capturar fotos y realizar videos.

En la Tabla 53 se observa el cumplimiento de las condiciones establecidas para la construcción del producto y en la Tabla 54 el resultado de evaluación de creatividad del artefacto construido.

Tabla 53

Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto

Condición	Características del producto
Incorporar elementos de carácter conceptual	El producto permite identificar características de las ondas sonoras como la frecuencia, la tonalidad y la vibración.
Contemplar integralmente el uso de la tecnología	El producto incorpora diferentes instrumentos tecnológicos como un baffle, una aplicación y las cámaras de los celulares.
Tener en cuenta elementos conceptuales o técnicas asociadas al arte	Es posible identificar elementos asociados al arte en los efectos visuales generados por la vibración del agua.

Tabla 54

Evaluación del producto del participante P3

Criterio	Producto
Novedad	Para este caso el producto no aporta algo nuevo, pues la participante usó un recurso encontrado en internet para realizar el experimento con el que podían observar algunas propiedades de las ondas sonoras.
Utilidad	El producto es útil, pues cumple con el objetivo de observar las propiedades de las ondas sonoras haciendo uso de la tecnología. Específicamente la frecuencia y el tono. Para este caso se hizo uso de varios instrumentos tecnológicos: baffle, cámara de celular y la App Physics Tools Box
Estética	Es estético, pues se constituye en una unidad de sentido que le permite a quien interactúa con el experimento, entender que las ondas generan, según la frecuencia, diferentes perturbaciones en el medio. Este producto genera un efecto visual interesante pues en ciertas frecuencias el agua parece que sale del recipiente y regresa a la manguera, esto por la interacción entre las frecuencias generadas por la aplicación y la de las cámaras de los celulares. Además, hay una articulación armoniosa de diferentes tecnologías en este producto final, necesarias para generar el efecto esperado.
Autenticidad	El producto creativo da cuenta de cómo la estudiante ve el mundo, pues manifiesta que le llaman la atención las actividades que son prácticas, y le aburren aquellas en las que asume una actitud pasiva. Por lo tanto, el producto expresa esta actitud que presenta la estudiante frente a la manera de afrontar los retos.

En la Figura 22 se observa a los estudiantes interactuando con el experimento usando las cámaras de los celulares para visualizar el movimiento del agua en diferentes frecuencias.

Figura 22

Estudiantes observando con sus cámaras el producto elaborado por P3



5.2.3.2 Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica

A partir de las observaciones realizadas, pudo evidenciarse que P3 asumió un papel protagónico dentro del grupo de trabajo y recibió apoyo de diferente índole de sus compañeras, quienes le ayudaron generando ideas y mejorando las que se le ocurrían. Además, en actividades como la simulación y la construcción del organizador gráfico, se observó a P3 discutiendo con sus compañeras las relaciones entre las variables implicadas en el fenómeno de ondas sonoras y llegando a determinados consensos, mostrando así cómo la interacción social desempeñó un papel importante en el proceso de conceptualización (diario de campo).

Respecto a la interacción social en el desarrollo de la creatividad, P3 menciona que el diálogo con “los compañeros sirve para ver el otro lado de las cosas, nuevos puntos de vista, e ideas que nos sirven para combinarlas y ampliar nuestro conocimiento (entrevista). De igual manera P3 da cuenta de la ayuda que recibió de sus compañeras, incluso en el origen de la idea. Ella menciona que “realmente ellas fueron las que me mostraron la idea de hacer ese proyecto y yo dije, ah bueno me parece chévere para que lo empecemos a implementar” (entrevista). Además, P3 reconoce que se comprenden con mayor profundidad los conceptos cuando previamente se han discutido diferentes posturas con las integrantes del equipo:

uno normalmente tiene su punto de vista, lo que usted entendió y eso, pero puede que ellas hubieran entendido otras cosas o de pronto percibían algo que yo no alcanzaba a percibir bien entonces cuando ya conectábamos mi versión y la versión de ellas generábamos un concepto más profundo. (entrevista)

Lo anterior da cuenta de la importancia de la interacción social en los procesos creativos, dado que aporta en términos de la consolidación de las ideas y de apoyo en la comprensión de los conceptos implicados en la situación que se está abordando.

En cuanto al papel de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad científica pudo observarse que P3 presenta importantes destrezas con estas, específicamente con aquellas relacionadas con procesos de edición. La participante tuvo un nivel de implicación importante principalmente en la actividad del organizador gráfico y la historia de la partícula. En ambas aprovechó eficientemente las posibilidades que le ofrecía la herramienta para alcanzar los objetivos propuestos (diario de campo).

P3 menciona específicamente que los motores de búsqueda y ChatGPT no implican procesos creativos; sin embargo, indica que permiten establecer un punto de partida:

Para mí los motores de búsqueda son buenos, pero como para un punto de arranque, o sea no quedarse en buscar ahí mismo la respuesta o esperar que ChatGPT te de ahí mismo la respuesta, sino que es como ese empuje que necesitas, pero que no sea simplemente basarnos todo el tiempo en lo que ChatGPT dice. (entrevista)

Puede notarse que P3 reconoce la necesidad del pensamiento autónomo en su aprendizaje, al concebir ChatGPT como una herramienta auxiliar para procesos de pensamiento más elaborados. Además, P3 plantea la necesidad de un componente ético y crítico a la hora de utilizar inteligencia artificial, en la medida que los procesos de pensamiento y por tanto la creatividad puede verse afectada por un uso inadecuado de estas herramientas:

pero que no sea simplemente basarnos todo el tiempo de que ChatGPT pues, yo le digo algo y el me lo va a dar y hasta ahí me quedo pues porque también se trata de buscar, de relacionar los conceptos uno mismo y cómo eso aporta en la creatividad,

en cambio si yo lo busco simplemente en internet, busco la respuesta, pues ahí me va a salir, entonces no estoy utilizando mi creatividad no estoy pensando por mí misma y no voy a llegar a entender bien el concepto porque no voy más allá, sino que me quedo con lo que me dice ChatGPT. (entrevista)

La reflexión anterior de la participante está relacionada con el pensamiento crítico que según ella demanda el uso de estas herramientas, al valorar la información brindada antes de ser usada en un determinado contexto.

En relación con la actividad en la que se utilizó una simulación, P3 menciona que no implica tanto la creatividad, pero sí reconoce en ella un papel importante en el proceso de aprendizaje, al concebirla como una base para las fases posteriores:

Ese software me parece muy interesante porque tú podías mover lo que quisieras, entonces experimentabas moviendo las frecuencias o modificando otras variables, entonces te dabas cuenta de lo que afecta las ondas; y pues todo este tipo de cosas y me parece como muy importante porque pues son como propiedades fundamentales de las ondas y es como lo primero que hay que ver para empezar a entender mejor las ondas, entonces me parece como una muy buena base para seguir investigando, no solo quedarse con esa simulación sino seguir investigando y ya con esos conceptos bases que le da la simulación, usted como que los va relacionando porque son muy visuales, por ejemplo, tu podías poner las partículas o que solo las ondas, entonces tú como que empezabas a relacionar mejor los conceptos (...) No es tan creativa, es una base. (entrevista)

Frente a la construcción del mapa mental, P3 menciona que se necesita ingenio para articular los conceptos de una manera coherente:

Ese sí me pareció muy creativo porque es tomar las bases que construiste con los motores de búsqueda con la simulación, tomar esas bases y empezar a relacionarlas por tu cuenta; o sea, tienes como que esos conceptos ubicarlos de una manera que tengan una relación entre sí, entonces el desarrollar un mapa mental o conceptual lo

que hace es que tú mismo, o sea, te tienes que ingeniar la manera en que esos conceptos realmente tengan coherencia entre sí, entonces en ese proceso (...) generar esa relación no es fácil (...) porque tú tienes que pensar, indagar más cómo es que los puedo relacionar para que todo esté pues realmente bien ordenado. (entrevista)

Es importante poner de manifiesto otras características de los actos creativos que aparecen en el fragmento previamente presentado; según la estudiante en ellos se presenta cierto nivel de coherencia y orden. Además, menciona que la posibilidad que presenta la herramienta de incorporar representaciones permite recordar los conceptos “además en el mapa puedes incluir imágenes que te ayuden como a recordar” (entrevista). Luego se llevó a cabo otra actividad que tuvo como objetivo componer canciones mediante las opciones de Chrome Music Lab. Respecto a esta, P3 menciona que “era más interactiva y visual, lo que la hacía muy chévere porque pues empiezas como a relacionar el concepto de las vibraciones también con la música (...) entonces fue muy genial”. (entrevista). Puede identificarse en expresiones como “chévere” o “fue muy genial”, que la participante disfrutó de jugar con las propiedades del sonido y realizar sus propias composiciones musicales. Además, si bien la intencionalidad con esta herramienta no era que abordaran específicamente asuntos de orden conceptual, es interesante que la participante asocia la música con las vibraciones, eso da cuenta de las construcciones conceptuales que ha hecho previamente.

Respecto a la actividad de la construcción y representación de la historia de una partícula, P3 utilizó un editor de videos e inteligencia artificial generadora de voces para personificar la partícula. La participante hace alusión a que esta tecnología implicó el uso de la creatividad y valora esta actividad como significativa en términos de aprendizaje en la medida que le permitió establecer vínculos entre los conceptos de física y objetos o eventos de su cotidianidad:

Fue una de mis actividades favoritas pues uno siempre ve los conceptos así como dentro de la física, que la ciencia y todo ese tipo de cosas pero nunca los lleva realmente a la vida cotidiana, entonces construir una historia sobre una partícula de aire que va a un concierto es tomar esos conceptos científicos y decir bueno, en mi vida diaria esto está pasando, esto está ocurriendo, cómo puedo relacionar que un

baffle esté sonando, que las ondas sean parte del concierto, todo este tipo de cosas, pues me parece entonces una mejor relación porque es algo que yo veo todos los días como es un baffle, como es ir a un concierto, todo ese tipo de cosas con un tema de física, entonces claro, a uno se le graba más en la cabeza porque sí, uno mismo es el que los está desarrollando y el que está conectando esos temas. (entrevista)

Nuevamente la participante hace referencia al hecho de que su aprendizaje se ha visto potenciado en la medida que ella misma ha sido quien ha desarrollado las ideas y conectado los conceptos de física con la vida cotidiana. Además de esto se evidencia la importancia de plantear actividades que permitan hacer un uso crítico de las TIC, pues es la naturaleza de estas actividades la que hace que puedan ser exploradas las diferentes posibilidades que ofrecen las tecnologías para abordar una situación específica. Cabe resaltar que en este caso se combinaron dos tecnologías diferentes y ello permite dar cuenta también del nivel de complejidad de los actos creativos.

Finalmente, en la actividad relacionada con construir un producto utilizando herramientas que permitieran “ver” algunas de las propiedades de las ondas sonoras, P3 y sus compañeras construyeron un experimento en el que utilizaron la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite. Con este generaron diferentes frecuencias que hacían mover un parlante de sonido que tenía pegada una manguera a través de la cual pasaba una corriente de agua que caía a un balde. En el experimento hacían vibrar el hilo de agua en diferentes frecuencias y las personas con su cámara podían observar el efecto visual que se generaba bajo diferentes frecuencias.

En torno a este experimento, la participante manifiesta que la creatividad estuvo especialmente en el proceso de construcción del mismo experimento ya que inicialmente no podían visualizar los efectos deseados en agua por la vibración y además tenían que ingeniar la manera de comunicar los conceptos. Al preguntarle ¿crees que el experimento, el producto final implicó el uso de la creatividad? P3 responde:

Sí, porque a pesar de que el experimento lo vimos en internet, o sea que más gente lo ha hecho, no lo inventamos nosotras, me pareció muy divertido porque nosotros tuvimos un problema que fue que las ondas no se estaban viendo en el agua ¿por qué

no se ven? Y nos dimos cuenta que había que verlo a través de la cámara de un celular porque era fundamental, dado que había que sincronizar la frecuencia del sonido (...) con la frecuencia en la que la cámara tomara fotos, entonces darnos cuenta de eso, tener que solucionar ese problema y además tener que explicarle a los grupos que venían, entonces uno tenía que tener el concepto muy claro, saber que iba a decir, cómo les iba a explicar, resolver las preguntas entonces claro uno ahí en tener que ingeniarse como bueno sino funciona entonces tenemos la presentación para mostrarles el video, hacer que los compañeros entiendan el tema. (grupo de discusión)

La participante menciona la resolución de problemas como una actividad que involucra la creatividad, además indica que, como no se veía el efecto en algunas ocasiones, hizo un video en el que grabó el efecto de las vibraciones en el hilo de agua para presentarlo a los estudiantes que viniesen a ver el experimento. Lo anterior da cuenta de cómo la participante hizo uso de la tecnología para resolver un problema que se estaba presentando asociado con no poder comunicar adecuadamente la idea que querían transmitir. En este punto es posible identificar el papel de la tecnología como instrumentos culturales que permiten la resolución creativa de problemas.

5.2.3.3 Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica

A continuación, se da a conocer la valoración que hizo P3 del enfoque educativo STEAM en relación con su aprendizaje y el desarrollo de la creatividad.

En cuanto al aprendizaje pudo observarse la manera en que P3 fue transitando a través de las etapas de dominio conceptual, se mostró bastante implicada en las actividades y en su discurso era posible identificar la manera en la que se apropiaba de los conceptos y los aplicaba en contextos específicos (diario de campo).

P3 hace un paralelo entre la educación tradicional y STEAM. Inicialmente realiza una descripción de la manera en que concibe una clase tradicional:

A mí me parece que en una clase normal es muy simple, o sea, llega el profesor, explica un tema tú tomas nota, te dice va a haber un examen y tú te aprendes lo que

el profesor dictó y ya. Entonces ese examen muchas veces, la verdad es lo que tú te memorizaste de lo que el profesor dijo (...) y tú dices lo mismo en el examen. (entrevista)

Es clara la visión que tiene la estudiante de una clase tradicional, un modelo que ha perdurado por siglos y que es cuestionado por la participante al indicar que está basado en procesos de memorización y de exámenes tipo test que pretenden evidenciar que dichos procesos de reproducción de la información se hayan dado fielmente.

Posteriormente P3 describe lo que ha significado aprender desde el enfoque STEAM:

En este tipo de proyectos el profesor (...) es un apoyo, pero tú eres el que investiga, tú eres el que está buscando más allá de los conceptos, tú eres el que tiene que conectar más las ideas y todo este tipo de cosas y mira que el proyecto final nunca fue como un examen, como bueno dígame qué es la longitud de onda, qué es la frecuencia, qué es todo ese tipo de cosas. Es aplique los conceptos en un sistema, en la vida real, en este tipo de cosas, entonces me parece que maneja como que mejor la enseñanza, claro porque yo personalmente aprendo más didácticamente no como solo escuchar y escribir. (entrevista)

Puede observarse claramente cómo la participante pone de manifiesto el hecho de que desde el enfoque educativo STEAM es posible trascender de una perspectiva transmisionista del conocimiento en la que el sujeto asume una actitud pasiva frente al mismo, a una constructivista y constructora en la que el estudiante se implica en su proceso de aprendizaje conectando los fenómenos físicos con la vida real.

Finalmente, P3 concluye que el hecho de haber podido relacionar los conceptos con situaciones de la vida real, hace que el proceso haya sido más significativo, manifestando incluso emociones positivas frente a esta forma de aprender:

Me gusta más como relacionar todos estos conceptos con la vida real con cosas que puedo hacer (...) me parecía como una mejor manera de enseñanza porque no es

como yo me memorice esto y lo copio (...) sino como ¿tú sabes del tema? Qué nos puedes aportar en ese tema, qué entendiste, entonces es como mejor. (entrevista)

Además, P3 señaló que:

el enfoque STEAM favoreció mi aprendizaje pues, es una manera más autónoma de aprender, ya que, yo me informé sobre el tema buscando por mis propios medios y así es un proceso donde investigamos y no solo estamos escuchando una clase mientras el profe habla y habla, sino que lo hace más interactivo. Además, también está el profe para resolver las dudas. (entrevista)

La postura de P3 es validada posteriormente cuando en el grupo de discusión realizado plantea que este enfoque invita a “ir más allá de los conceptos”. Al solicitarle ampliar esta idea, explica:

En clase normal el profe te dice, las propiedades de las ondas son tal cosa y tú dices bueno, si el profesor lo dice, así es. Pero aquí te están diciendo investiga más, en dónde puede aparecer una onda, en dónde la puedes aplicar, o sea, en qué momentos hay ondas presentes, todo este tipo de cosas, entonces te obliga a ir más allá de decir, la onda es esto o lo otro.

Lo anterior está en consonancia con lo que plantean Tan et al. (2021), quienes indican que cuando los estudiantes piensan de forma crítica, lo hacen en profundidad; entienden los hechos y dan el paso extra de ir más allá de ellos para hacer algo con los mismos, lo cual para este caso tuvo que ver con un artefacto que permitió “ver” las propiedades de las ondas sonoras.

En relación con el desarrollo de la creatividad a partir de la educación STEAM, se pudo observar la manera en que este enfoque le permitió a P3 vincular los insumos conceptuales que había adquirido en el proceso con sus habilidades artísticas y las destrezas con el manejo de herramientas tecnológicas. En este sentido se pudo visibilizar la importancia de que las actividades cuenten con un nivel de apertura tal que le permita al estudiante llevar actos creativos a partir de sus conocimientos.

P3 menciona que STEAM favorece la creatividad en la medida que “las actividades planteadas para desarrollar los conceptos eran actividades bastante libres que te dejaban plantear tus ideas de la manera que gustaras y de la manera que tú entendieras” (grupo de discusión). Además, establece una interesante articulación entre la creatividad y el aprendizaje, indicando que percibe la educación STEAM como

un proceso más creativo donde agrupamos los conceptos de una manera que sea más fácil recordar y una forma más interactiva e interesante que favorece nuestro desarrollo creativo, pues debíamos ingeniar varias cosas desde nuestra propia capacidad y así fortalecer nuestro entendimiento del tema. A diferencia de las clases “normales” donde simplemente es escuchar y tomar nota y luego taller y un examen, simplemente te están evaluando tu capacidad para memorizar conceptos y no el manejo y entendimiento que tienes de estos. (grupo de discusión)

A partir de los planteamientos de la participante es posible identificar una relación importante entre los actos creativos y los procesos de conceptualización. Según ella, el ingenio para llevar a cabo una determinada tarea desempeña un papel importante en la comprensión de un tema y trasciende el hecho de memorizar datos.

Otro elemento interesante que apareció es que P3 identifica que las áreas STEAM trabajadas (ciencia, tecnología y arte) se encuentran inmersas en lo que se observa cada día en el mundo y en este sentido resalta su importancia en la vida diaria. La participante indica

Casi todas las cosas están constituidas por estas tres cosas: tecnología, ciencia y arte. Claro, pues no todas las cosas, pero sí la mayoría porque por ejemplo un anuncio, una publicidad que tú veas tiene arte, tecnología (...). Básicamente nuestro día a día se ha convertido en eso porque (...) la tecnología fue creada con ciencia (...) y dentro de la tecnología mira que puedes ver videos, otros tipos de expresiones de arte que nos llevan a muchas cosas, entonces bastantes cosas que están hoy en día a nuestro alrededor están constituidas de estas cosas. (grupo de discusión)

Es importante esta asociación que hace P3 entre el proyecto y las dinámicas culturales del mundo, ya que STEAM emerge como un enfoque educativo que precisamente pretende atender a las problemáticas del siglo XXI.

En términos generales, puede decirse que la participante 3 se vio implicada en las actividades planteadas, lo que le permitió alcanzar niveles importantes de conceptualización y desarrollar un producto creativo asociado a las ondas sonoras. Fue notable cómo la apropiación conceptual le permitió transformar los significados de la ciencia en las actividades que así lo posibilitaron. Además, tanto la interacción social como las herramientas tecnológicas desempeñaron un papel fundamental dado que se posicionaron como mediadores mediante los cuales el caso pudo alcanzar los objetivos propuestos.

5.2.4 Caso Participantes 4 y 5

Dado que los participantes P4 y P5 trabajaron de manera conjunta a lo largo de la propuesta, se presentarán los resultados de forma unificada; sin embargo, se establecerán las diferencias entre los casos en aquellas actividades que fueron de carácter individual.

El participante P4 estudia música y le gusta indagar por los principios científicos subyacentes a esta. Es catalogado por sus profesores como un estudiante que siempre se cuestiona y busca alternativas para abordar las actividades de una manera diferente a la que enseña el profesor. Presenta un buen desempeño académico y manifiesta constantemente que prefiere trabajar de manera individual en las actividades propuestas.

Por su parte P5, es un apasionado por la física, especialmente la astronomía. Hace parte de semilleros de ciencias y asiste constantemente a conferencias donde se abordan temáticas asociadas a este campo. Además, presenta especial interés por la programación y se esfuerza por aprender diferentes lenguajes para modelar fenómenos físicos. Ocupa casi siempre los primeros lugares en términos académicos y, al igual que P4, manifiesta regularmente el deseo de trabajar de manera individual en las actividades que se proponen.

5.2.4.1 Internalización de significados en física en términos de las etapas de domino conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa

Las expresiones de P4 y P5 fueron caracterizadas a partir de las etapas de dominio conceptual descritas en la Tabla 25 en el marco de algunas de las actividades presentadas en la Tabla 24.

Actividad: Diagnóstico (P4)

Tabla 55

Etapas de dominio conceptual I P4

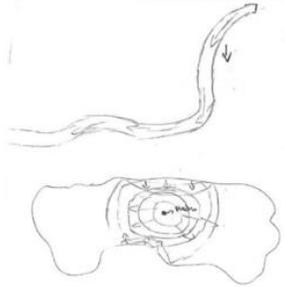
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Similitudes: Ambos involucran agua. Hay una acción y una reacción.</p> <p>Diferencias: En uno de los casos el agua está contenida en otro se desplaza. Uno ocurre naturalmente el otro necesita un lanzador externo. Las ondas se detienen, el río no. La masa del nacimiento es impulsada por la gravedad.</p>	<p>Cuasi-reproductiva (la explicación está en el plano de lo descriptivo; sin embargo, utiliza algunos conceptos científicos)</p>
<p>Representación gráfica</p> 	

Tabla 56

Etapas de dominio conceptual II P4

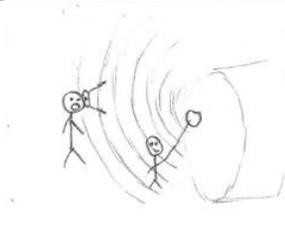
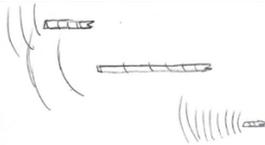
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>El tambor genera ondas que viajan por el aire y hacen temblar mis oídos.</p>	<p>Reproductiva (utiliza conceptos científicos acertadamente para explicar el fenómeno en cuestión, además, reconoce el sonido como una onda y el medio por el cual viaja).</p>
<p>Representación gráfica</p> 	

Tabla 57

Etapas de dominio conceptual IV P4

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Creo que el impulso del aire hace vibrar rápidamente las lengüetas (corte diagonal en uno de los extremos del pitillo) y la distancia que viajaba a través del pitillo hacía la longitud de onda más corta o más larga, cambiando el sonido.</p>	<p>Reproductiva (tanto en el enunciado como en la representación gráfica el participante usa conceptos propios de las ondas sonoras para explicar el cambio en la tonalidad).</p>
<p>Representación gráfica</p>	 <p>The diagram shows a reed instrument (pitillo) with a diagonal cut on the reed. To the left, there are curved lines representing sound waves. To the right, there are vertical lines of varying lengths, possibly representing the amplitude or frequency of the sound produced.</p>

Actividad: Diagnóstico (P5)

Tabla 58

Etapas de dominio conceptual I P5

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Semejanzas: Son sistemas sujetos a la fuerza gravitacional. Donde se efectúa una colisión entre dos cuerpos, siendo uno de ellos un cuerpo acuoso. En ambos casos un cuerpo de agua es forzado al movimiento, dando cuenta de una fuerza que fue aplicada previamente.</p>	<p>Reproductiva (su explicación se puede enmarcar en una etapa reproductiva por el uso que hace de conceptos científicos para dar cuenta del fenómeno en cuestión)</p>
Representación gráfica	No realizó representación gráfica

Tabla 59

Etapas de dominio conceptual II P5

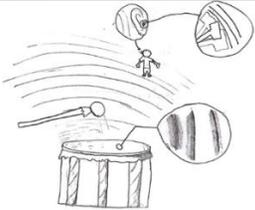
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>La vibración de las membranas del tambor es transmitida a través del aire hasta el oído de la persona.</p>	<p>Reproductiva (utiliza conceptos científicos de manera acertada para dar cuenta del fenómeno en cuestión).</p>
<p>Representación gráfica</p>	 <p>The diagram shows a drum being struck with a mallet. Curved lines representing sound waves emanate from the drum's membrane and travel towards a human ear. A circular inset shows a magnified view of the ear's eardrum vibrating in response to the sound waves.</p>

Tabla 60

Etapas de dominio conceptual III P5

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>El extremo en “V” se mueve ligeramente generando una vibración que cambia de medio al aire dentro del pitillo y rebota en las paredes del mismo, perdiendo un poco de energía en la colisión e interfiriendo consigo misma hasta alcanzar el otro extremo y expandirse por el aire hasta llegar a nuestros oídos. Mientras más largo el pitillo más energía pierde y más interfiere consigo mismo, generando ondas con menor frecuencia (por la gran longitud de onda); es decir, más graves.</p>	<p>Reproductiva (Tanto en la explicación como en el dibujo utiliza lenguaje formal para representar la relación inversa entre la longitud de onda y la frecuencia con el fin de explicar el cambio de tonalidad en la situación planteada).</p>
<p>Representación gráfica</p>	

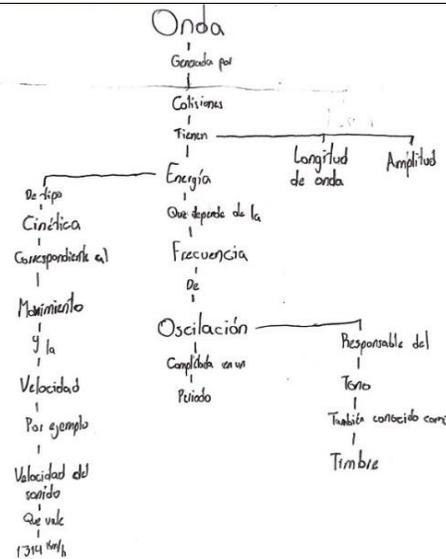
A continuación, en la Tabla 61, se presentan los esquemas construidos por P4 y P5 a partir de conceptos asociados a las ondas sonoras:

Tabla 61

Etapas de dominio conceptual IV P4 y P5

Participante	Evidencia	Etapa de dominio conceptual
P4		<p>Cuasi-reproductiva (no es posible identificar claramente las relaciones entre los conceptos)</p>

P5



Reproductiva (la mayoría de las articulaciones establecidas entre los conceptos son acertadas y da cuenta del fenómeno de ondas sonoras)

Del diagnóstico puede concluirse que tanto las explicaciones de P4 como las de P5 se ubican en la etapa de dominio conceptual reproductivo, pues en la mayor parte de las situaciones utilizaron acertadamente los conceptos para explicar los fenómenos en cuestión.

Actividad: Interactuando con una simulación sobre las características del sonido

Tabla 62

Etapas de dominio conceptual V P4 y P5

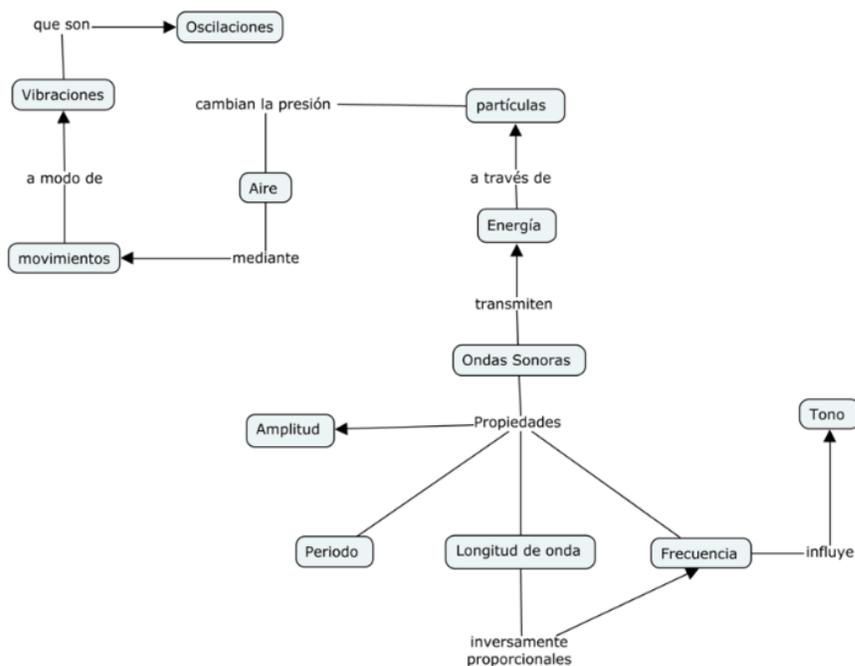
Evidencia	Etapa de dominio conceptual
<p>Similitudes: Las ondas se mueven en forma circular. Se repite el mismo movimiento cada cierto tiempo. Hay un desplazamiento de una vibración (energía).</p>	<p>Reproductiva (utilizan acertadamente los conceptos de la ciencia para explicar las diferencias y similitudes del movimiento ondulatorio en ambos medios).</p>
<p>Diferencias: Las vibraciones viajan más rápido en agua, y la densidad varía más rápido en el aire.</p>	<p>Reproductiva (en las conclusiones realizadas por los participantes puede notarse un grado importante de apropiación conceptual en el que hacen alusión al medio de propagación de la onda y a las relaciones entre frecuencia, longitud de onda y amplitud).</p>
<p>Conclusiones del laboratorio virtual Mientras más amplitud, las vibraciones ejercen más presión en el aire. La velocidad del sonido en el mismo medio siempre es la misma. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia.</p>	<p>Reproductiva (en las conclusiones realizadas por los participantes puede notarse un grado importante de apropiación conceptual en el que hacen alusión al medio de propagación de la onda y a las relaciones entre frecuencia, longitud de onda y amplitud).</p>

La presión es directamente proporcional a la amplitud, por lo que sus expresiones se enmarcarían en la etapa de dominio conceptual reproductiva.

Actividad: organizador gráfico sobre las ondas sonoras

Figura 23

Esquema sobre ondas sonoras construido por P4 y P5



En el esquema inicial de P4 no es posible identificar con claridad la relaciones entre los conceptos, plantea más una descripción y una representación gráfica de las propiedades de las ondas sonoras. Por su parte P5 presenta un esquema con un nivel de complejidad mayor, en este se pueden resaltar las siguientes afirmaciones sobre la naturaleza de las ondas sonoras:

- Las ondas son generadas por colisiones que tienen energía cinética.
- La energía de las colisiones depende de la frecuencia de oscilación.

No obstante, el participante equipara el tono con el timbre, lo cual da cuenta un concepto en proceso de desarrollo pues son características distintas de las ondas sonoras.

En el mapa elaborado al final por P4 y P5 se pueden identificar importantes cambios en la estructura jerárquica del mismo y en la precisión de las relaciones que establecieron

entre los diferentes conceptos. Identifican como propiedades de las ondas sonoras la amplitud, la frecuencia, la longitud de onda y el periodo y reconocen los siguientes principios:

- Las ondas transmiten energía a través de partículas que cambian la presión del aire.
- La frecuencia tiene una influencia directa en la tonalidad.
- Las vibraciones son oscilaciones en las partículas del aire.
- La frecuencia presenta una relación inversa con la longitud de onda.

La identificación de dichas propiedades y principios permiten enmarcar las explicaciones de los participantes P4 y P5 en una etapa de dominio conceptual reproductiva.

Actividad: Historia de una partícula

A partir de esta actividad se empezaron a identificar explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa. Por lo anterior la información fue analizada a partir de la subcategoría descrita en la Tabla 25.

Tabla 63

Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire

Evidencia	Nuevos sentidos al significado social del fenómeno	Nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno
Para estos 15 (cumpleaños), varias partículas de diversos compuestos fueron invitados, incluyendo las de aire y agua, que se disponían a conquistar a la quinceañera en la fiesta con sus voces y movimientos. El día de la fiesta, las dos partículas asistieron. La quinceañera bajó las escaleras y comenzó a sonar el vals. Bailó con todas las partículas, quienes seguían muy bien la música, yendo al ritmo del compás, exceptuando por la de agua, pues bailaba con una velocidad mayor a la de la música. Después de comer, por fin comenzó la fiesta. Todas las partículas bailaban con mucha energía, tanto así que, al moverse, las partículas invitadas se propagaban mediante oscilaciones y cambiaban la presión del salón. Para animar un poco la fiesta, el DJ propuso hacer una batalla de rap donde el que ganara,	Inicialmente los participantes ponen las partículas en el contexto de un cumpleaños estableciendo algunas diferencias entre la naturaleza y proveniencia de estas. También le asignan a una de las partículas el papel de la joven que está cumpliendo años. Les atribuyen actividades como alimentarse. Les otorgan características diferentes a las partículas de agua y aire y hacen que interactúen.	Las participantes explicitan la diferencia en las velocidades de propagación del sonido en el aire y el agua. De igual manera dan cuenta de su comprensión sobre el mecanismo de propagación de las ondas por medio de la transferencia de energía de una partícula a otra y asocian ello al hecho de que en el medio se produzcan cambios de presión debidos a las

podría salir con la quinceañera. Agua y Aire se postularon de primeros y empezó la batalla. Aire cantaba en un tono muy agudo, tanto que su frecuencia lograba aturdir a los demás invitados, pero agua no se dejó intimidar y cantó con su grave voz.

Aunque ambas se escuchaban diferente, sus voces lograban hacer ondas de la misma longitud, pues una era más aguda, pero iba más lento, mientras que con la otra pasaba el caso contrario.

En medio de la fiesta, dos partículas extrañas se infiltraron y todas las partículas empezaron a correr, pero fueron alcanzadas...

oscilaciones de dichas partículas.

Establecen una relación de proporcionalidad directa entre la frecuencia y el tono atribuyéndole también propiedades de intensidad.

Establecen una interesante comprensión de la manera en que la oscilación de una partícula se ve afectada por el medio en el que se propaga.

Representación:



Enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=E9XAvbXl06M>

Actividad: ¿Cómo se ve el sonido?

En esta actividad también se pudo evidenciar la transición a la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa. P4 y P5 construyeron una página web en la que las figuras y las características de los sonidos se fusionan, se conectan dos campos semánticos diferentes que dan lugar a una representación de las propiedades de las ondas, para este caso, de la frecuencia y la amplitud. Además, la herramienta presenta la opción de “ver” una canción a partir de los cambios que genera el sonido en términos de frecuencia y la amplitud; se establece en este sentido una relación novedosa entre el significado y el sentido social del fenómeno. En la Figura 23 se muestra el producto en funcionamiento mientras se reproduce una canción.

Figura 24*Interfaz del producto elaborado por P4 y P5*

5.2.4.2 Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad

En este apartado se realizará una breve descripción de las características generales del producto elaborado por P4 y P5, así como de los instrumentos tecnológicos utilizados para su construcción. También se presentan algunos aspectos asociados al proceso de elaboración, se revisa que el producto cuente con las condiciones establecidas desde el principio y se hace una evaluación a partir de los criterios formulados por Kharkhurin (2014), relacionados con la novedad, utilidad, estética y autenticidad.

El producto de P4 y P5 consistió en una página web que constaba de una figura geométrica que cambiaba de forma según las propiedades de la onda sonora percibida, específicamente de la amplitud y de la frecuencia. Dicho movimiento se podía generar de dos maneras, una por sonidos externos producidos por las personas o un determinado evento, el otro a partir de un repertorio de canciones incluidas en la página. A continuación, en la Tabla 64, se presentan algunos fragmentos en los que los participantes describen cómo fue el proceso de ideación y construcción del proyecto.

Tabla 64*Proceso de construcción del artefacto de P4 y P5*

Pregunta	Respuesta de la participante
----------	------------------------------

¿Cuáles fueron las ideas iniciales?	Inicialmente tuvimos la idea de desarrollar una página con un círculo en la mitad que cambiara de forma por la acción de sonidos externos.
¿Cómo cambiaron las ideas iniciales?	Las ideas iniciales permanecieron. Solo las sofisticamos un poco más,
¿Cómo fue el proceso de construcción del producto?	Al inicio que no estábamos programando aún, por ejemplo, pensábamos: va a ver un circulito, va a ver una página de introducción una de ellas va a ser con micrófonos y otra con archivos, esa fue la estructuración de la página (...). Después digamos, la idea (...) era que uno pudiera desde el computador arrastrar un archivo y que la página lo pudiera entender, pero eso requería un dominio, así que había que cambiar el plan. Ahí también, hablé con P4 para que creara un catálogo de música, entonces ya se cargaban unas canciones predeterminadas y después la persona podía elegir una de ellas y se reproducía.
¿Cómo está conformado?	La página web tiene dos pestañas por decirlo así, en una se encuentra la información sobre el proyecto y en la otra el círculo que muestra los cambios de frecuencia y amplitud en los sonidos que percibe.
¿Cómo pueden las personas interactuar con este artefacto?	Las personas pueden generar diferentes sonidos con sus voces o con objetos o solicitar una canción de las que dispone la página para observar las distintas amplitudes y frecuencias durante la reproducción.
¿Por qué este producto permite “ver” el sonido?	Porque el círculo cambia su forma según la amplitud y la frecuencia de la onda que perciba.
¿Qué propiedades del sonido permite ver? ¿De qué manera?	Frecuencia y amplitud.
¿Cómo está integrado el arte en el producto?	En el diseño de la página y el contraste de los colores.
Tecnologías utilizadas	<p>CSS (Cascading Style Sheets): es un lenguaje de diseño utilizado para describir la presentación de un documento escrito en un lenguaje de marcado, como HTML. Se utiliza para definir la apariencia y el formato de una página web, incluidos aspectos como el diseño, los colores, las fuentes y otros aspectos visuales.</p> <p>JavaScript: es un lenguaje de programación de alto nivel. Se utiliza para crear contenido web interactivo. Con JavaScript, los desarrolladores pueden crear funcionalidades dinámicas en las páginas web, como efectos visuales interactivos, animaciones, manipulación del contenido de la página en tiempo real, validación de formularios e interacción con el usuario.</p> <p>Python: es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y generalmente de propósito general. Es conocido por su sintaxis clara y legible, lo que lo hace ideal para principiantes y también apreciado por programadores experimentados.</p> <p>Canva: es una herramienta de diseño gráfico en línea que permite a los usuarios crear una amplia gama de diseños. La plataforma ofrece una interfaz intuitiva y fácil de usar, junto con una amplia gama de plantillas predefinidas, elementos gráficos, fuentes y herramientas de edición.</p>

En la Tabla 65 se observa el cumplimiento de las condiciones establecidas para la construcción del producto y en la Tabla 66 el resultado de evaluación de creatividad del artefacto construido.

Tabla 65*Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto*

Condición	Características del producto
Incorporar elementos de carácter conceptual	El producto permite identificar características de las ondas sonoras como la frecuencia y la amplitud.
Contemplar integralmente el uso de la tecnología	El producto es una página web, así que incorpora integralmente la tecnología.
Tener en cuenta elementos conceptuales o técnicas asociadas al arte	Es posible identificar elementos asociados al arte en el diseño y equilibrio de los elementos que constituyen la página, además de los contrastes de colores y los efectos visuales que se generan por las características de las ondas sonoras percibidas.

Tabla 66*Evaluación del producto de los participantes P4 y P5*

Criterio	Producto
Novedad	Para este caso el producto aporta algo nuevo, pues los participantes P4 y P5 construyeron una página web, la cual contenía un círculo cuya forma cambiaba en función de la amplitud y la frecuencia de las ondas que eran generadas por un agente externo o por algunas de las canciones que tenían incorporadas en la página.
Utilidad	El producto es útil, pues cumple con el objetivo de observar las propiedades de las ondas sonoras haciendo uso de la tecnología. Específicamente la frecuencia y la amplitud.
Estética	Es estético, pues actúa como unidad de sentido que permite comprender señales abstractas del entorno para este caso asociadas a la frecuencia y a la amplitud. Además, la construcción de este producto implicó la articulación de diferentes lenguajes de programación como CSS, Java Script, Python y el programa de diseño Canva. Esto hace que adquiriera un nivel importante de complejidad. La herramienta fue valorada positivamente tanto por parte de sus creadores y de aquellos que tuvieron la oportunidad de interactuar con la página
Autenticidad	El producto que construyeron P4 y P5 da cuenta de algunos rasgos de sus personalidades relacionadas con la pasión por la música en el caso de P4 y el interés manifestado por P5 hacia la matemática, la física y la programación. P4 se encargó del diseño de la interfaz con todo lo que ello implica y P5 realizó el trabajo concerniente a la programación incorporando las ecuaciones matemáticas necesarias para que el cambio en las formas de las representaciones fuera acorde a la señal física percibida.

En la Figura 25 puede observarse a P4 y P5 presentando su producto frente a la clase.

Figura 25

P4 y P5 presentando el producto construido frente a la clase



5.2.4.3 Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica

Como se mencionó anteriormente, P4 y P5 trabajaron de manera conjunta en el desarrollo de las actividades; se pudo observar la forma en la que llegaban a consensos antes de ejecutar una idea. Dado que ambos tenían un buen dominio conceptual, la colaboración se vio reflejada principalmente en el manejo de las herramientas tecnológicas, dado que P5 asumía un papel protagónico en lo que tenía que ver con los procesos de programación y, por su parte, P4 se encargaba de aportar ideas relacionadas con la estructura y distribución de los diferentes elementos en la página que iban a construir (diario de campo).

P4 valora el apoyo de su compañero en el proceso del acto creativo. Indica que contribuyó:

en cuanto a mejorar ideas. Por ejemplo, yo tenía la idea de mostrar dos círculos, uno que mostrara como el volumen solamente y otro que mostrara la onda y mi compañero tuvo la idea de poner uno dentro del otro para tenerlo todo en la página y que así se mostraran los dos a la vez. (entrevista)

Lo anterior de cuenta de cómo a través de la interacción social la articulación de las ideas se ven materializadas en acciones específicas que ponen de manifiesto un trabajo

conjunto. Además, el estudiante reconoce sus virtudes y limitaciones, identificando la manera en la que más contribuyó al proceso “el apoyo mío fue más desde lo creativo y lo estético y mi compañero más desde lo técnico” (grupo de discusión). Es importante resaltar este aspecto, pues la interacción al parecer permite concatenar habilidades para materializar ideas en un acto creativo concreto. Por su parte P5, quien trabajó con P4, indica que “al inicio que no estábamos programando aún, por ejemplo, pensábamos: va a ver un circulito, va a ver una página de introducción, una de ellas va a ser con micrófonos y otra con archivos, esa fue la estructuración de la página que es lo de generar ideas, la hicimos juntos. De igual manera el participante hizo explícito cómo trabajaron de manera colaborativa para resolver los problemas que se iban presentando:

Después digamos, la idea (...) era que uno pudiera desde el computador arrastrar un archivo y que la página lo pudiera entender, pero eso requería un dominio, así que había que cambiar el plan. Ahí también, hablé con P4 para que creara un catálogo de música, entonces ya se cargaban unas canciones predeterminadas y después la persona podía elegir una de ellas y se reproducía. Esa fue la improvisación después de que vimos que no podíamos soltar archivos (entrevista).

El estudiante plantea que recurrieron a la improvisación, la cual se identifica como una característica importante de la creatividad en tanto implica modificar las formas de proceder previas en función de los recursos que se tienen a disposición y de los consensos a los que se llega en la interacción con el otro. Luego, P5 reconoce sus habilidades y las de su compañero, así como la manera en la que pueden contribuir al abordaje del problema en cuestión: “mi compañero se encargó de la parte estética, de hacer que se viera bonita”, “mi compañero era más de la parte estética y yo de la funcionalidad” (grupo de discusión). Lo anterior pone de manifiesto el hecho de que en la interacción social emergen auténticos actos creativos en los que se ven reflejadas las habilidades y formas de ver el mundo de los sujetos involucrados.

Respecto al apoyo en la comprensión de conceptos, P4 y P5 consideraron que ambos presentaban una buena apropiación conceptual. Ante esto vale la pena mencionar que P4 es músico y P5 presenta un gran interés por la física, por lo que ha recibido cursos y tutorías

extraescolares, lo que hace que presente cierto nivel de dominio del tema en cuestión. P4 menciona que “en la comprensión de algunos conceptos, yo siento que estábamos en las mismas condiciones” (entrevista). Por otra parte, P4 y P5 tenían destrezas en el manejo de diferentes herramientas tecnológicas, así que cada uno contribuyó desde sus respectivas habilidades. P4 indica que su compañero sabía manejar varios tipos de tecnología y en esta medida, cuando se le pregunta de qué manera le ayudó su compañero en el proceso creativo comenta: “me apoyó con la manipulación de herramientas tecnológicas (...) porque yo no sé mucho de CSS, de HTML ni de Python ni de JavaScript” (entrevista). Por su parte P5 indica que P4 “ayudó haciendo uso de Canva que fue el programa con el que hizo la introducción, que era la primera ventana con la que se encontraba la persona en la página” (entrevista). Puede observarse cómo ambos participantes ponen en juego sus destrezas con la tecnología en torno a un fin común.

En cuanto al papel de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad, pudo notarse que tanto P4 como P5 presentaban importantes destrezas en el manejo de las herramientas utilizadas en el desarrollo de las actividades. Fue interesante observar que, para la construcción del producto final, P5 se encargó de construir el código de programación para el funcionamiento de la página y P4, haciendo uso de Canva, participó en asuntos como el contraste de los colores en la página y la distribución y el diseño de los elementos interactivos. Sus conversaciones daban cuenta de la manera en cómo aprovechaban las posibilidades que les ofrecía la herramienta para alcanzar el objetivo en cuestión (diario de campo).

P4 y P5 mencionan específicamente que “Google no implica el uso de la creatividad porque uno solo busca lo que necesita explícitamente y ya” (P4, entrevista). P5 señala al respecto que “no, no implican el uso de la creatividad porque solo son un mecanismo para facilitar la búsqueda de información, en lugar de ir página por página buscando artículos” (entrevista), este último hablando de ChatGPT. En cuanto al uso de la simulación P5 señala que no implica el uso de la creatividad “porque tiene una forma muy directa de usarlo, no había que pensar mucho para usarlo.

Respecto a la elaboración del mapa mental, P4 indica que, si bien no fue su actividad favorita, considera que sí requerían el uso de la creatividad “No me gustan mucho (los mapas mentales), pero sí implicaban creatividad porque cada uno relacionaba los conceptos según

lo que sabía previamente” (entrevista). Es interesante que otro aspecto que destaca este participante tiene que ver con el hecho de que sus compañeros, considerando los mismos conceptos, podían relacionarlos de manera diferente, principalmente por los conocimientos que habían construido en etapas anteriores; esto pone de manifiesto otra característica de la creatividad asociada a la identidad y al bagaje conceptual del que se dispone.

En cuanto a la actividad en Chrome Music Lab, puede decirse que P4 y P5 se mostraron bastante implicados y motivados. La finalidad de esta, era que pudieran “jugar” un poco con los conceptos de manera creativa sin un abordaje conceptual riguroso, debido a esto P5 señala que esta tecnología “Sí implica la creatividad, pero no le encontré mucho sentido a la misma” (entrevista). P4 por su parte da cuenta de una característica de una tecnología que implica la creatividad y es el grado de libertad que presenta para la creación de diferentes cosas, específicamente señala que “aunque tenía unas instrucciones entre comillas para usarse, da mucha libertad de crear lo que uno quiera” (entrevista).

El producto elaborado por P4 y P5 también ofrecía la posibilidad de poner canciones de diferentes géneros para identificar las frecuencias y amplitudes implicadas; fue un producto con un alto nivel de complejidad. Ante la pregunta de si estas herramientas implicaban el uso de la creatividad P4 responde

eso sí completamente, porque no hay como una forma específica de hacerse, solo las ideas que tuvimos, las tuvimos, como desde cero, casi no había cosas preestablecidas y ya después las plasmamos en la página, pero sí, muy creativo. (entrevista)

Nuevamente el participante resalta el aspecto relacionado con el grado de libertad de la herramienta en la medida que no tenía parámetros establecidos y se podían desarrollar ideas desde el inicio. Su compañero P5 hace una descripción del proceso creativo con las herramientas que vale la pena traer a colación, pues el nivel de detalle permite identificar la manera de abordar los problemas que se presentaron en el camino y la forma en que fueron solucionados:

cuando se va a hacer un programa con funcionalidad, la primera vez que uno piensa cómo debería hacerlo para poder que funcione no suele dar el resultado, entonces hay

que buscar otros métodos o cambiar distintas cosas para poder que digamos corra en un computador (...), o si, definitivamente no puede correr, encontrar una alternativa en cuanto a código en cuanto a aplicación, por ejemplo a mí no me corría si abría un archivo pero después investigué y al abrir el localhost desde mi computador sí me daba para correr el programa, el localhost es (...) la ubicación del archivo. Eso es abrir un archivo directamente. Pero cuando yo voy a abrir un código que tiene la capacidad de leer el sonido en el micrófono del computador no se puede abrir de la misma forma porque los ordenadores no soportan la lectura de micrófono por temas de seguridad. (grupo de discusión)

Puede observarse que P5 presenta importantes habilidades digitales que le permiten flexibilizar su pensamiento para resolver los problemas que se van presentando, al parecer esta es una habilidad que demandan las tecnologías que favorecen la creatividad. Específicamente el artefacto construido por P4 y P5 se constituyó en un claro proceso de modelación científica en la medida que hubo una identificación del fenómeno; la formulación del problema relacionado con la manera de representar la frecuencia y la amplitud de las ondas sonoras, el desarrollo del modelo basado en principios de la física y en algoritmos para calcular y visualizar estas propiedades; la calibración del programa de manera que efectivamente diera cuenta del fenómeno en cuestión y finalmente los procesos de análisis e interpretación, dado que a partir de las diferentes representaciones los estudiantes tuvieron la oportunidad de entender la relación entre frecuencia y amplitud y sacar conclusiones al respecto.

5.2.4.4 Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica

Desde la actividad diagnóstica se observó que tanto P4 como P5 presentaban un buen nivel de apropiación conceptual, por tanto, en el desarrollo de las actividades se pudo notar cómo afianzaban los conceptos y los transformaban en función de las actividades que se proponían. Ambos se vieron bastante implicados en las actividades donde se les proponía poner en juego su creatividad y resignificar en diferentes contextos los conceptos de la ciencia asociados a las ondas sonoras, especialmente en la historia de la partícula y en la construcción del artefacto final (diario de campo).

En cuanto al aprendizaje de la física, P4 establece un paralelo entre la educación STEAM y el enfoque tradicional, señalando que el hecho de tener que aplicar los conocimientos en la elaboración de un producto final que aborda un problema específico, requiere que los conceptos sean entendidos más a fondo:

para un examen uno se memoriza una fórmula o cualquier cosa así o como una relación y la réplica y ya; pero para un proyecto como estos uno tiene que entender bien cómo funcionan las cosas porque va a hacer algo con eso y si no entiende cómo funciona entonces no va a funcionar cuando lo haga. (grupo de discusión)

Puede observarse claramente que el participante hace explícito un elemento diferenciador entre el enfoque STEAM y el tradicional; desde este último los conceptos carecen de sentido en tanto la única finalidad que tienen es reproducirlos de la manera más fielmente posible. Por el contrario, desde STEAM, los conceptos adquieren mayor importancia en tanto deben ser aplicados en un contexto específico, para este caso en la construcción de un producto que permitiera “ver” las propiedades de las ondas sonoras.

Así mismo, P4 indicó que le hubiera gustado pasar de largo la etapa formativa, pues ya tenía nociones claras sobre el concepto de ondas que se estaba abordando. Por lo anterior, se le preguntó si consideraba que era factible brindar todas las actividades desde el principio para que cada uno eligiera si saltarse o no ciertas etapas. El participante respondió lo siguiente: “Sí, aunque eso podría llevar a que personas que creen que lo tienen claro no lo tengan claro de verdad y después se salten un paso necesario para que salgan bien los

proyectos, entonces no estoy seguro de esa respuesta” (entrevista). Es interesante su respuesta en tanto reconoce que, si bien él puede tener ciertos conocimientos respecto al tema, para algunos de sus compañeros son necesarias las actividades de la etapa formativa de manera que puedan alcanzar una buena apropiación conceptual.

Si bien la mayor parte de los participantes valoró positivamente su aprendizaje en física, específicamente sobre el concepto de ondas sonoras, P4 y P5, teniendo en cuenta que ya habían trabajado en otros espacios el tema en cuestión, no consideraron que el proceso haya generado algún cambio respecto a lo que ya sabían. Lo anterior puede identificarse a partir de las siguientes expresiones: “No tuve la oportunidad de ver la diferencia entre el enfoque STEAM y el enfoque de siempre porque ya conocía bien el tema” (entrevista, P4) y “No aprendí nada nuevo, tampoco me confundí. En general solo fue como un repaso” (entrevista, P5).

Puede mencionarse al respecto que en términos de física los estudiantes no consideran que haya habido un cambio significativo en su aprendizaje. No obstante, el producto elaborado por estos participantes que fue una página web interactiva, implicó la aplicación de los conceptos y el manejo de herramientas de programación y de diseño para realizar las respectivas configuraciones, estos procesos no son tenidos en cuenta como aprendizajes por los participantes, quizá por concebir la física únicamente como la acumulación de diferentes conceptos y principios científicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta esta postura de los participantes puesto que es necesario seguir indagando por la relación entre la educación STEAM y los procesos de conceptualización, para este caso en el campo de la educación científica, específicamente de la física.

En cuanto al desarrollo de la creatividad, P5 menciona que sí favoreció su desarrollo en la medida que en las actividades planteadas “había que encontrar una relación creativa entre los conceptos para desarrollar el trabajo final” (grupo de discusión). P4 coincide al afirmar que “las actividades planteadas para desarrollar los conceptos eran actividades bastante libres que te dejaban plantear tus ideas de la manera que gustaras y de la manera que tú entendieras” (grupo de discusión).

P4 y P5 expresan respectivamente que el proceso demandó creatividad en tanto había que relacionar los conceptos de manera creativa en función del producto final que se les proponía construir; lo anterior da cuenta de la importancia de que la situación planteada

posibilite la articulación divergente de los conceptos científicos en el producto final. Además, P5 indica que una de las características de las actividades de la propuesta STEAM es que demandan “encontrar una relación creativa entre los conceptos” (entrevista). Al preguntarle a qué se refería con ello señala que a “una forma en la que se puedan juntar (los conceptos) bajo la misma temática que no se haya leído en algún texto” (entrevista). El estudiante identifica que las creaciones son inéditas mientras no se puedan encontrar como tradicionalmente se plantean.

Por su parte, P4 menciona un aspecto bastante importante para que se puedan dar los actos creativos en la escuela y es el grado de libertad que los profesores dan para alcanzar un mismo objetivo de diferentes formas, resaltando la importancia de ello en torno a la implicación emocional que suscita esta libertad otorgada. P4 realiza una reflexión profunda de lo que observó en el trabajo de sus compañeros:

Una de las cosas buenas de este método de enseñanza (STEAM) es que les da libertad a las personas de que con los conocimientos que adquirieron en las fases iniciales, diseñen según lo que aprendieron, según sus preferencias y según su personalidad y sus gustos, en este caso una forma de mostrar a los demás lo que entendieron. Todos los proyectos están muy “tintados”, por decirlo así, de los grupos que lo hicieron. Digamos P5 y yo hicimos una página, P6 y su compañero hicieron una especie de juego interactivo, (...) P2 y sus compañeros hicieron un juego en Fornite, todos los proyectos están como muy “tintados” de la personalidad de las personas que los hicieron y entonces la metodología da como mucho espacio para que usen su creatividad de la forma en que mejor saben (P4, grupo de discusión)

La reflexión que hace P4 da pie para resaltar otro factor asociado a la creatividad y es el hecho de que permite que las personas desde sus formas de ver el mundo expresen su conocimiento, reflejándose en los actos creativos que llevan a cabo, diferentes rasgos de su personalidad e identidad.

En términos generales, del caso 4 puede decirse que fue evidente cómo las habilidades artísticas favorecieron su desempeño en las diferentes actividades, principalmente en aquellas que implicaban una transformación de los significados de la ciencia en diferentes

contextos. Se vio bastante implicado en las actividades propuestas lo que hizo que fuera notable una evolución en términos de las etapas de dominio conceptual. La interacción con su compañero fue bastante prolífera y se apoyó en las diferentes herramientas tecnológicas para avanzar en los objetivos propuestos para cada actividad. P4 encontró en la propuesta una oportunidad para poner de manifiesto sus destrezas musicales y para expresar creativamente los conceptos asociados a las ondas sonoras.

Respecto al caso 5 puede afirmarse que si bien solo afianzó algunos conceptos que ya había abordado antes, la propuesta le permitió resignificarlos en diferentes contextos; tarea en la que se vio bastante implicado, especialmente en la construcción de la historia de la partícula y del producto final. El carácter abierto de estas actividades permitió que P5 pusiera en juego su creatividad a través de la interacción con su compañero de trabajo y las posibilidades que le ofrecían las herramientas tecnológicas en cuestión, específicamente en términos de programación. En este sentido, puede señalarse que P5 tuvo la oportunidad de explorar otras habilidades como el pensamiento computacional y el trabajo colaborativo.

5.2.5 Caso Participante 6

El participante 6 tiene 14 años, presenta gran afinidad por la matemática y la programación. En ocasiones se le dificulta el trabajo en equipo; sin embargo, tiene buena relación con sus compañeros. Regularmente manifiesta agrado por la física y participa activamente de las actividades que se proponen en clase.

5.2.5.1 Internalización de significados en física en términos de las etapas de dominio conceptual, desde la espontánea hasta la reproductivo-creativa

Las expresiones de P6 fueron caracterizadas a partir de las etapas de dominio conceptual descritas en la Tabla 25 en el marco de algunas de las actividades presentadas en la Tabla 24.

Actividad: Diagnóstico

Tabla 67

Etapas de dominio conceptual I P6

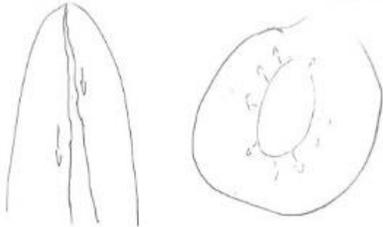
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>Similitudes: Involucran el movimiento de agua.</p> <p>Diferencias: En una el agua fluye hacia todas las direcciones, mientras que la otra fluye en una sola. En una el agua fluye constantemente y en la otra el agua se mantiene mayormente estancada.</p>	<p>Espontánea (son explicaciones que no incorporan conceptos científicos en tanto surgen de la descripción general de lo que observan en la situación planteada)</p>
Representación gráfica	

Tabla 68

Etapas de dominio conceptual II P6

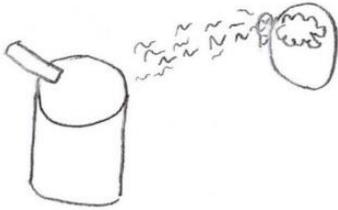
Evidencias	Etapas de dominio conceptual
<p>El tambor al ser golpeado vibra y hace vibrar el aire y esa vibración del aire llega hasta tus oídos y hacen vibrar alguna parte del oído, y esta vibración es enviada al cerebro e interpretada para convertirse en lo que escuchamos.</p>	<p>Reproductiva (entiende el sonido como una onda que se propaga a través de vibraciones en las partículas del aire. Además, va un poco más allá de la explicación solicitada dando cuenta de la manera en la que la onda interactúa con el oído y la respectiva respuesta en términos cerebrales).</p>
Representación gráfica	

Tabla 69

Etapas de dominio conceptual III P6

Evidencias	Etapas de dominio conceptual
Algo sobre la forma del pitillo hace que se escape aire de tal manera que el pitillo y el aire vibren y produzcan ese sonido. Entre más grande el pitillo, vibra más masa y se mueve más el aire, lo cual resulta en una onda más larga y un sonido más grave.	Reproductiva (hace explícito tanto en el enunciado como en la representación gráfica el uso de conceptos propios de las ondas sonoras para explicar el cambio en la tonalidad).
Representación gráfica	

A continuación, se presenta el esquema construido por P6 a partir de conceptos asociados a las ondas sonoras:

Tabla 70

Etapas de dominio conceptual IV P6

Evidencia	Etapa de dominio conceptual
	Reproductiva (las articulaciones establecidas entre conceptos son acertadas y coherentes)

Del diagnóstico se puede afirmar que las explicaciones de P6 se ubican en una etapa de dominio conceptual reproductiva, pues hace alusión a conceptos científicos y los articula de manera pertinente para explicar las situaciones que se plantean.

Actividad: Interactuando con una simulación sobre las características del sonido

Tabla 71

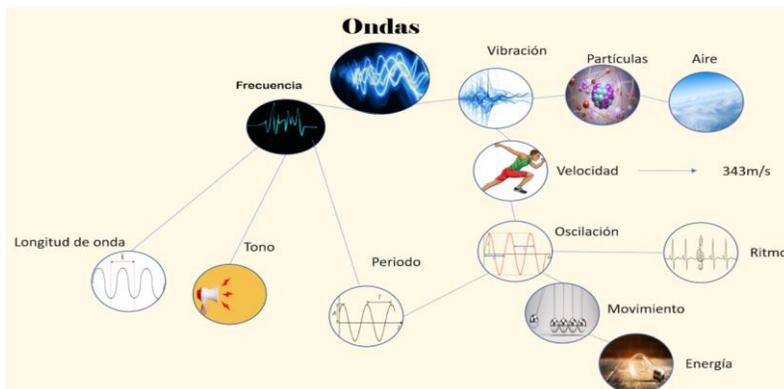
Etapas de dominio conceptual V P6

Evidencia	Etapa de dominio conceptual
<p>Similitudes: Las ondas se disipan a medida que cubren distancia. Presentan un desplazamiento de vibración. El punto de emisión es el de mayor amplitud.</p>	Reproductiva (utiliza acertadamente los conceptos de la ciencia para explicar las diferencias y similitudes del movimiento ondulatorio en ambos medios).
<p>Diferencias: La longitud de onda en el agua es mayor que en el aire.</p>	
<p>Conclusiones del laboratorio virtual La amplitud es qué tanto varía la presión en la vibración. La energía se pierde mediante la distancia. La onda tiene dos factores: la frecuencia y la amplitud. La onda necesita un medio para transmitirse.</p>	Reproductiva (utiliza conceptos científicos de manera pertinente para justificar sus explicaciones y establece relaciones acertadas entre diferentes variables implicadas en el fenómeno en cuestión).

Actividad: organizador gráfico sobre ondas sonoras

Figura 26

Esquema sobre ondas sonoras construido por P6



En la comparación entre ambos esquemas se pueden identificar nuevas relaciones entre los conceptos. En el esquema inicial aparecen las siguientes:

- Las ondas tienen longitud de onda, frecuencia y periodo, las cuales se constituyen en propiedades que definen el tono.
- El tono depende de la presión.
- La onda es un movimiento, específicamente una oscilación que tiene energía.

En el mapa construido posteriormente pueden identificarse nuevas relaciones entre conceptos:

- Las ondas se generan por vibraciones en las partículas del aire.
- La oscilación es un movimiento que transmite energía.

Puede observarse cómo el participante incorpora nuevas relaciones con una mayor precisión conceptual y riqueza lingüística. Por tanto, es posible seguir ubicando sus explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductiva.

Actividad: Historia de una partícula

A partir de esta actividad se empezaron a identificar explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa. Por lo anterior la información fue analizada a partir de la subcategoría descrita en la Tabla 72.

Tabla 72

Explicaciones en la etapa de dominio conceptual reproductivo-creativa en la actividad historia de una partícula de aire

Evidencia	Nuevos sentidos al significado social del fenómeno	Nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno
Apenas estábamos entrando y ya sentía una leve presión al estar todos juntos, cuando empezó a sonar la música, iniciaron con una pieza de música clásica la cual era muy variada pero siempre con un muy buen timbre, había momentos en que apenas sentíamos el movimiento, mientras nos deslizábamos suavemente a cada lado con el ritmo. Después	P6 le atribuye a la partícula un estado de incomodidad. De igual manera es clara la personificación cuando habla de la agrupación de partículas.	A través de diferentes expresiones P6 da cuenta de que entiende las ondas sonoras como cambios de presión en el aire. Es notable la comprensión que presenta frente al hecho

aumentaba el volumen, la amplitud y la frecuencia con la que sonaba cada nota y sentía cómo nos agrupábamos en grandes tumultos solo para alejarme breve e inmediatamente volver a otro.

Posteriormente, decidieron continuar con algo de jazz, era un toque más suave y relajante. Las otras partículas y yo oscilábamos lentamente con el grave tono por la mayor longitud de onda de la onda. Y, para terminar, tocaron heavy metal. Esos sonidos casi violentos me hacían vibrar para un lado y para otro hasta que ya no reconocía el ritmo. Solo pensaba en lo juntos que estábamos todos a pesar de haber tantos espacios vacíos.

Al fin se detuvo la música, ya estaba muy agitado de tanta intensidad, pero todo se calmó y pudimos esparcirnos a una distancia decente unos de otros.

de que las ondas son oscilaciones en las partículas del aire.

Establece una relación entre la tonalidad y las características de la oscilación.

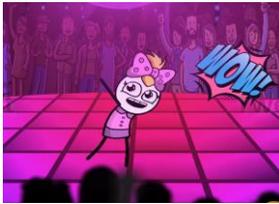
Da cuenta de la distribución de las partículas en el aire en la propagación de onda, fenómeno en el cual hay zonas de mayor y menor densidad.

Explica el comportamiento de las partículas cuando no hay una determinada perturbación en el medio

Enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=MriLNMudBtw>

Representación:



P6 utilizó la aplicación TweenCraft para representar la historia, lo que le permitió elegir escenarios y personajes con voces y movimientos determinados. Diseñó un escenario donde la partícula baila de manera diferenciada según el tipo de música. Al llegar a casa, la partícula permanece quieta al no haber sonidos que perturben el medio, representando la ausencia de vibraciones en el aire. En la Figura 27 se muestra a P6 en el proceso de construcción del producto audiovisual.

Figura 27

P6 en el proceso de construcción del producto audiovisual

**Actividad: ¿cómo se ve el sonido?**

En esta actividad también se pudo identificar una transición de una etapa de dominio conceptual reproductiva a una reproductivo-creativa. P6 elaboró un videojuego en Unity, realizando una interesante combinación de colores, sonidos y posiciones, puede decirse que otorgó nuevos sentidos al significado social del fenómeno cuando a determinados colores le asignaba sonidos específicos con el fin de que la persona que no podía escuchar tuviera la opción de reconocer los objetos o eventos según el color y el ambiente en el que se encontraban, así como la dirección de proveniencia de estos. Además, establece nuevas relaciones entre el significado y el sentido del fenómeno; pues los sonidos aparecen en diferentes ambientes y pueden ser identificados según un sistema de coordenadas, algo totalmente nuevo que parte de la imaginación e ingenio del participante. En la figura x se presenta una de las interfaces del videojuego construido.

Figura 28

Interfaz del videojuego elaborado por P6



En conclusión, los resultados dan cuenta de cómo P6 transitó de una etapa reproductiva a una reproductivo-creativa.

5.2.5.2 Características de los productos creativos desde un marco transcultural de la creatividad

En este apartado se realiza una breve descripción de las características generales para cada producto, así como de los instrumentos tecnológicos utilizados para su construcción. También se presentan algunos aspectos asociados al proceso de elaboración, se revisa que el producto cuente con las condiciones establecidas desde el principio y se hace una evaluación a partir de los criterios formulados por Kharkhurin (2014), relacionados con la novedad, utilidad, estética y autenticidad.

El juego construido por P6 consistió en un juego en el que la persona podía elegir diversos escenarios como la ciudad, el bosque o el circo. Dado que la intención era ver el sonido, la persona ingresaba un sistema de coordenadas y seleccionaba un evento, por ejemplo, el tráfico. Lo que hacía el juego era mostrar un círculo de un color determinado según el evento, de esa manera la persona podía ver de qué sonido se trataba e identificar de dónde provenía. La idea original eran unas gafas que permitían ver el sonido a partir de colores que correspondían a diferentes sonidos y que dichas gafas contaran con un sensor de coordenadas que indicara de dónde provenían.

A continuación, en la Tabla 72 se presentan algunos fragmentos en los que P6 describe cómo fue el proceso de ideación y construcción del proyecto.

Tabla 73*Proceso de construcción del artefacto de P6*

Pregunta	Respuesta de la participante
¿Cuáles fueron las ideas iniciales?	Inicialmente teníamos pensado hacer unas gafas con un micrófono que detectaba los sonidos a su alrededor y mostraba indicadores de dónde venían y sus propiedades físicas.
¿Cómo cambiaron las ideas iniciales?	El boceto inicial del producto se llevó a cabo como se tenía pensado. Se tenía la duda desde el principio en qué plataforma se realizaría, pero después decidimos que se haría en Unity (plataforma que se utiliza para crear juegos).
¿Cómo fue el proceso de construcción del producto?	Utilizando el lenguaje de programación C# se programaron tres escenarios a los que la persona podría ingresar, luego se configuró un sistema de coordenadas y opciones de sonidos para que las personas pudieran seleccionar, ingresar dos coordenadas (una en Y y otra en X) y así ubicar la proveniencia del sonido.
¿Cómo está conformado?	El videojuego tiene una primera interfaz que muestra tres escenarios que son el circo, la ciudad y el bosque y la opción de salir. Dependiendo de la selección de la persona se van a habilitar las otras interfaces donde se podrá seleccionar el sonido según el ambiente en el que se encuentre.
¿Cómo pueden las personas interactuar con este artefacto?	Las personas eligen un sonido en cada ambiente e ingresa un sistema de coordenadas.
¿Por qué este producto permite “ver” el sonido?	Los sonidos se ven representados en diferentes colores según el evento/objeto que lo produzca.
¿Qué propiedades del sonido permite ver? ¿De qué manera?	Ninguna especialmente, solo el sonido en general.
¿Cómo está integrado el arte en el producto?	En el diseño del videojuego y en los colores utilizados para representar los sonidos.
Tecnología utilizada	P6 utilizó Unity, un motor de videojuegos multiplataforma desarrollado por Unity Technologies que utiliza normalmente el lenguaje de programación C#. Se utiliza para crear videojuegos en 2D, 3D, realidad virtual y realidad aumentada para una amplia gama de plataformas, incluyendo dispositivos móviles, computadoras de escritorio, consolas de videojuegos y la web.

En la Tabla 73 se observa el cumplimiento de las condiciones establecidas para la construcción del producto y en la Tabla 74 el resultado de evaluación de creatividad del artefacto construido.

Tabla 74*Cumplimiento de condiciones establecidas para la elaboración del producto*

Condición	Características del producto
------------------	-------------------------------------

Incorporar elementos de carácter conceptual	El producto permite identificar parcialmente las características de las ondas sonoras pues no da cuenta de propiedades específicas de las ondas sino del sonido en general.
Contemplar integralmente el uso de la tecnología	El producto es un videojuego, así que incorpora integralmente la tecnología.
Tener en cuenta elementos conceptuales o técnicas asociadas al arte	Es posible identificar elementos asociados al arte en el diseño y equilibrio de los elementos que constituyen el videojuego, además de los contrastes de colores y los efectos visuales que se generan durante la interacción con la página.

Tabla 75*Evaluación del producto del participante P6*

Criterio	Producto
Novedad	Para este caso el producto aporta algo nuevo el participante construyó un videojuego en el que la persona puede asociar ciertos colores a eventos y objetos específicos que generan sonidos determinados. Además, quien interactúa con el juego pueden establecer un sistema de coordenadas para identificar de dónde proviene el sonido.
Utilidad	El producto es parcialmente útil, pues no cumple a cabalidad con el objetivo del producto que era el de observar las propiedades de las ondas sonoras.
Estética	Es parcialmente estético por no presentar explícitamente las propiedades de las ondas sonoras, esto hace que la unidad de sentido sea difusa y por ende la expresión del fenómeno que se quiere explicar. Vale la pena resaltar que la interfaz generada es visualmente agradable y de fácil interacción. Además, el videojuego fue valorado positivamente por P6 y por aquellos que tuvieron la oportunidad de interactuar con la herramienta.
Autenticidad	El participante P6, al igual que P5 es un apasionado por la matemática, esto hizo por ejemplo que su experiencia le permitiera programar un sistema de coordenadas que señalara el lugar de proveniencia del sonido. Además, presenta destreza utilizando lenguajes de programación. Esta forma de ver e interpretar el mundo se ven reflejadas en el artefacto final construido.

En la Figura 29 se puede observar a P6 presentando el funcionamiento del videojuego junto a su compañero.

Figura 29

P6 presentando el videojuego a estudiantes de otros grados



5.2.5.3 Papel de la interacción social y las herramientas en el desarrollo de la creatividad científica

En relación con la interacción social, P6, pese a que normalmente no le gusta trabajar en equipo, encontró un apoyo importante en su compañero de trabajo. Principalmente en la generación y mejora de las ideas que se le ocurrían (diario de campo).

P6 indica además que, si bien al principio había una idea común para el producto final, esta se vio afinada con ayuda de los aportes de su compañero:

Desde el inicio sabíamos que queríamos hacer algo con el color, sabíamos que queríamos representar el sonido con el color, pero ya después mi compañero dio la idea de las gafas porque teníamos que ayudar a ver las ondas a las personas que no escuchaban, entonces, ahí se podía ver representado el sonido en el día a día. (entrevista)

Lo anterior da cuenta de cómo a través de la interacción social la articulación de las ideas se ven materializadas en acciones específicas que ponen de manifiesto un trabajo conjunto.

En cuanto al papel de las herramientas en el desarrollo de la creatividad, se pudo observar a P6 explorando las diferentes posibilidades que le ofrecían las herramientas tecnológicas. Especialmente en el producto final se observó cómo P6 buscaba diferentes medios en internet para construir el producto que deseaba, en ocasiones se mostró un poco frustrado, pero al final pudo construir el código que necesitaba para cumplir con el objetivo de representar a través de un artefacto las propiedades de las ondas sonoras. En las demás herramientas utilizadas pudo observarse que P6 se adaptaba fácilmente a las características de estas y se apropiaba de su contenido conceptual para después transformarlo en las actividades que así lo posibilitaron.

Específicamente, P6 indica que la inteligencia artificial podría implicar en cierta medida la creatividad puesto que, para obtener una respuesta acertada por parte de ChatGPT, es necesario pensar en alternativas de preguntas, esta acción, según el participante, implicaría, en cierta medida, un acto creativo. Al plantearle la pregunta de si esta tecnología implica o no procesos creativos el participante responde: “No tan directamente, pero digamos como para uno pensar en qué tiene que decirle (...) para que él diga lo que uno quiere que diga, porque uno a veces dice la pregunta literal y le responde otra cosa”. El participante pone de manifiesto algo importante al resaltar la necesidad de una disposición mental crítica para interactuar con la herramienta. Respecto al uso de la simulación menciona que no implicaba tanto la creatividad “pues es simplemente un programa (...) donde tú mueves numeritos y pasan cosas en la pantalla”. En relación con la construcción del organizador gráfico, P6 señala la posibilidad de generar diferentes articulaciones como una característica de la creatividad, al preguntársele si la construcción del esquema implicó o no la creatividad responde: “Sí, claro. Tienes que conectar conceptos, hay cosas que parecen ser muy independientes y hay que pensar cómo conectarlas” (entrevista). Además, indica cómo en la construcción del mapa mental se ve reflejado el profundo vínculo que hay entre la creatividad y ciertos procesos de aprendizaje “con el mapa es mucho más fácil relacionar los conceptos porque, como tú fuiste el que se las ingenió como para conectarlos, ya como que te queda más grabado” (entrevista).

Respecto a la herramienta utilizada para la construcción de la historia de la partícula, P6 indica que el hecho de crear una historia requiere de mucha creatividad y resalta que para ponerlo por ejemplo en TweenCraft, el programa de animación utilizado implica trascender

las finalidades únicamente académicas. P6 indica que sí se requirió de creatividad puesto que había que “escribir la historia y (...) hacer que todo en el programa funcione” (entrevista). Al preguntársele qué implicaba poner los conceptos de la física en la animación el participante responde: “pensarlo más allá de una cosa académica” (entrevista). Al parecer el estudiante cuando habla de lo “académico” se refiere a la aproximación al concepto únicamente en el contexto de la física, haciendo explícita la necesidad de ponerlo en el marco de escenarios alternativos y cercanos a la cotidianidad.

P6 utilizó el programa Unity para la construcción del producto final, cuando se le pregunta si la herramienta implica o no el uso de la creatividad comenta:

bastante, primero me tocó aprender a hacer lo del código y todo eso, después de haber tenido una idea de hacer unas gafas que ayudaran a las personas sordas a ver el sonido (...) construirlo de verdad fue difícil, ver que estaba pasando, si había algún error, si no funcionaba algo, había que mirar si pasaba algo para buscar cómo arreglarlo. - ¿Qué elementos tenías que articular para que funcionara? – “Pues como, cada sonido qué color tenía – es decir, colores sonidos, posición”. (grupo de discusión)

Puede observarse que la tecnología le permitió establecer relaciones entre campos semánticos aparentemente distantes como son el color y el sonido. Además, P6 pone de manifiesto que el lenguaje de programación permitió la construcción del producto final, lo cual da cuenta de las relaciones que pueden establecerse entre el pensamiento computacional y la creatividad.

5.2.5.4 Pertinencia de la educación STEAM en el aprendizaje de la física y la creatividad científica

Mediante el proceso de observación se pudo evidenciar la manera en la que P6 iba enriqueciendo su discurso a medida que se desarrollaba la propuesta, dando cuenta de una apropiación conceptual cada vez más avanzada. Además, el carácter abierto de las actividades le permitió expresarse creativamente, especialmente haciendo uso de herramientas de programación (diario de campo).

A continuación, se da a conocer la valoración que hace P6 del enfoque educativo STEAM en relación con su aprendizaje. Inicialmente plantea un paralelo de lo que significa aprender desde un enfoque tradicional y lo que ha implicado hacerlo desde el enfoque STEAM. P6 señala que “en lo tradicional, es un examen donde usted muestra si entendió, cuál es la definición de frecuencia y aquí (desde el enfoque STEAM), en vez de que usted (el profesor) evalúe si aprendimos con un examen normal, lo evalúas con otras actividades como el proyecto final” (entrevista).

En torno a la etapa formativa que hizo parte de la propuesta, P6 señala que “es necesaria una base teórica, sí, no es como, vaya y haga el proyecto y ya, no sabes nada todavía. Debe haber una parte de teoría y aprender desde cada materia independiente y luego, unificar eso en el proyecto” (entrevista). P6 hace explícita la necesidad de abordar el problema a partir de un fundamento teórico que permita otorgarle sentido y validez, además, entiende la etapa formativa como un momento para adquirir los insumos mediante los cuales se podrá llevar a buen término el proyecto en cuestión.

Finalmente, P6 añade que “el enfoque STEAM, en vez de hacernos probar qué aprendimos con exámenes y preguntas directas, nos hace probar qué aprendimos aplicando los conceptos a otras actividades” (grupo de discusión). Lo anterior da cuenta de la potencialidad que presenta este enfoque en relación con la contextualización de los conceptos y sus marcos de aplicación.

En cuanto al desarrollo de la creatividad, P6 menciona que la educación STEAM la favorece “porque las actividades alternativas te hacen pensar más en cómo aplicar los conceptos aprendidos”. Según P6 el proceso demandó creatividad en tanto había que articular los conceptos de manera creativa en función del producto final que había que construir. Lo anterior da cuenta de la importancia de que la situación planteada posibilite la articulación divergente de los conceptos científicos. Además, al preguntarle por cuál o cuáles de las actividades les había llamado más la atención, el participante P6 responde: “me gustó más el trabajo final porque recogía elementos de todo el proceso, por ejemplo, lo del timbre para poner cada sonidito, pues sí, la frecuencia y demás conceptos” (grupo de discusión). Ello da cuenta de una característica de la creatividad y es que esta parte de una experiencia estética que finaliza con la unificación de diferentes elementos incorporados y articulados en una determinada unidad de sentido, la cual en este trabajo tuvo que ver con el producto elaborado.

Del caso 6 puede decirse en términos generales que hubo una importante evolución en las etapas de dominio conceptual, en las cuales pasó de explicaciones que se quedaban en el plano de lo reproductivo a unas más conscientes en las que transformaba los significados de la ciencia en diferentes contextos, por ejemplo, en la construcción del producto final. Además, se pudo evidenciar un trabajo colaborativo y un uso crítico de las herramientas tecnológicas para el alcance de los objetivos. En general, P6 se vio bastante implicado en las actividades y resaltó que encontró en la propuesta una oportunidad para expresar su creatividad, especialmente a través de lenguajes de programación.

6. Discusión

Respecto a los procesos de internalización, puede señalarse que, si bien los participantes utilizaron una serie de conceptos científicos en el ejercicio argumentativo de las situaciones planteadas, las explicaciones inicialmente se ubicaron en las primeras etapas de dominio conceptual (Barbosa y Baptista, 2018) y, además, pudo notarse que todos ellos reconocían que el sonido estaba asociado a un movimiento ondulatorio o de vibración. Sin embargo, algunos no identificaban el aire como medio que al ser perturbado transmite la oscilación hasta los oídos de la persona. Según Bravo et al. (2009) estos problemas están relacionados con “la ausencia en sus esquemas mentales de los conceptos de propagación, medio de propagación y propiedades elásticas del medio” (p. 416). Vale la pena mencionar que desde la perspectiva sociocultural las explicaciones de los participantes no se consideran erróneas sino en proceso de desarrollo. Barbosa y Baptista (2018) dicen en este sentido que tener conciencia de ello “evita caer en el dualismo fatalista de bien o mal que marca el sistema de evaluación, y que excluye a aquellos alumnos que no reproduzcan el conocimiento estrictamente científico” (p. 59).

Cabe resaltar que la etapa reproductiva evidenciada en las explicaciones de los participantes se alcanzó principalmente gracias a la interacción con la simulación sobre ondas sonoras y a la construcción del organizador gráfico. En este sentido, Moreira (2009) señala que los instrumentos construidos por los seres humanos traen consigo una carga cultural; para el caso de la simulación, este capital está asociado al conocimiento científico del cual el sujeto se apropia de manera paulatina.

En las actividades finales de la propuesta, específicamente en la historia de la partícula y la construcción del producto final, los diferentes casos lograron dar cuenta de su apropiación conceptual a partir de las nuevas relaciones que elaboraron entre el significado del fenómeno y el sentido de este. Baptista y Barbosa (2018) señalan que este tipo de expresiones que dan cuenta de los conceptos de la física y a la vez crean nuevas formas a través del lenguaje, son el resultado de un aprendizaje significativo de los conceptos e ideas de la física. Afirman que en este contexto el estudiante “es capaz de aplicar dicho

conocimiento a otros contextos o situaciones y/o al usar su propio lenguaje para explicar un aspecto físico presente en un determinado objeto de estudio” (p. 56).

Los diferentes casos pudieron asignar nuevos sentidos al significado social del fenómeno de ondas sonoras, por ejemplo, en la actividad de la historia de la partícula ubicaron las partículas en contextos estratégicos que les permitían dar cuenta de cómo estas experimentaban cambios de presión. También les atribuyeron emociones, sensaciones y gustos, lo cual pone de relieve un claro ejercicio de personificación que permite una comprensión del fenómeno físico desde comportamientos humanos. Respecto a las nuevas relaciones que los casos establecieron entre el significado y el sentido social del fenómeno en esta actividad, mediante la narrativa construida y en la representación digital de la misma, los participantes llevaron a contextos diversos y dispares las propiedades y relaciones entre las variables que dan cuenta del fenómeno de ondas sonoras. Esto es consistente con lo encontrado por Barbosa y Baptista (2018). En su estudio, algunos estudiantes lograron trascender la imitación de la información al crear situaciones específicas y originales teniendo como base los conceptos de la física.

Los diferentes casos utilizaron su imaginación para personificar las partículas de aire y para dar cuenta del concepto de ondas sonoras en diferentes escenarios. Según Barbosa y Baptista (2018) estos vínculos entre la imaginación y los conceptos de la ciencia enriquecen el pensamiento creativo de los seres humanos. La relevancia de la imaginación en la creatividad científica reside en su capacidad para generar representaciones en diversos sistemas simbólicos, los cuales funcionan como intermediarios entre los fenómenos de la realidad física y los conceptos científicos. Asimismo, la imaginación amplía la experiencia del individuo, la cual, a pesar de ser subjetiva, mantiene una conexión con el carácter objetivo inherente a la ciencia (Gurgel y Pietrocola, 2011a). Lo anterior da cuenta de la concepción de escuela que presentan Steiner y Moran (2003), quienes la conciben como un lugar que brinda la oportunidad de aprender a utilizar la imaginación, controlarla y apropiarse de contenidos científicos e información culturalmente organizada. Se considera que el carácter abierto y poco pautado de las actividades permitió que los estudiantes se apropiaran y construyeran un mundo lingüístico que les permitía transformar los significados de la ciencia (Kao et al., 2017).

Respecto a la evaluación de los productos desde el marco transcultural de la creatividad, la mayoría de los trabajos fueron novedosos pues aportaban algo nuevo, tanto mediante las articulaciones que establecían entre tecnologías para dar cuenta del fenómeno de ondas sonoras, como por la forma de representarlo. De igual manera, a excepción de P6, los productos cumplieron con el atributo de utilidad pues abordaban el problema planteado relacionado con la posibilidad de “ver” las propiedades de las ondas sonoras. Así mismo, puede afirmarse que fueron estéticos por el hecho de presentar escenarios atractivos para quienes interactuaban con ellos y porque la mayoría dio cuenta de algunas de las propiedades de las ondas sonoras. Por último, los productos construidos fueron auténticos dado que ponían de manifiesto la forma de concebir el mundo de cada uno de los participantes, así como su apropiación conceptual y experiencia con el manejo de herramientas tecnológicas. En este sentido, el marco transcultural planteado por Kharkhurin (2014) fue pertinente en la medida que permitió valorar los trabajos de los participantes de manera íntegra. Lo anterior coincide con lo hallado por Weng et al. (2022), quienes señalan que este marco ha demostrado su utilidad para comprender los trabajos creativos de los estudiantes de secundaria y que no está limitado a este contexto escolar específico.

Respecto al papel de la interacción social en el desarrollo de la creatividad se encontró que adquiere especial importancia en la medida en la que en el espacio de aprendizaje los significados circularon y se transformaron continuamente. Pudo identificarse que la interacción social contribuye a la creatividad desde la generación de ideas, el mejoramiento de estas, el apoyo en términos de apropiación conceptual y del manejo de las herramientas tecnológicas. Lo anterior coincide con lo hallado por Halim et al. (2020), quienes indican que la interacción social estimula la generación de nuevas ideas y mejora el desarrollo intelectual de los sujetos.

Los participantes mencionaron de manera recurrente que sus compañeros les dieron ideas que a ellos no se les hubiesen ocurrido. Al parecer la colaboración desempeña un papel crucial en tanto trae a colación elementos que no habían sido puestos en consideración para el abordaje de cuestiones que surgen en el marco de procesos creativos. Lo anterior está en consonancia con lo planteado por Schrage (1990), pues entiende la colaboración como un proceso de creación y descubrimiento en el que dos o más individuos con habilidades que

pueden complementarse, interactúan entre sí para adquirir una comprensión compartida que no la hubieran podido obtener desde sus respectivas individualidades.

Además, los participantes resaltaban el hecho de que podían contribuir desde sus respectivas habilidades y experiencia. Es importante resaltar este aspecto, pues la interacción al parecer permite concatenar habilidades para materializar ideas en un acto creativo concreto. Steiner (2000), al estudiar las colaboraciones creativas encontró que la generación de ideas surge en el marco de conversaciones significativas que les permite alcanzar nuevas percepciones por parte de los implicados. Lo anterior sugiere que en la interacción social emergen auténticos actos creativos en los que se ven reflejadas las habilidades y formas de ver el mundo de los sujetos involucrados. Respecto a esto, Elisondo (2016) encontró que tanto en su forma cotidiana como eminente, la creatividad es siempre un proceso social que surge en el marco de diálogos, interacciones y prácticas sociales compartidas.

Por otra parte, es importante resaltar que los actos creativos se vieron condicionados por las herramientas que tenían los participantes a disposición y por los consensos a los que debían llegar en la interacción con el otro. En este sentido, Csikszentmihalyi (1998) y Fischer et al. (2005), mencionan que la creatividad puede entenderse en términos de la comunicación y la colaboración y, además, plantean que los procesos creativos son producto de la socialización y la interacción social.

De igual manera los participantes dieron cuenta de cómo sus compañeros les ayudaron a solucionar diferentes situaciones que les impedían alcanzar el objetivo trazado. Al respecto, Aguilar y Pifarre (2019) mencionan que “las capacidades de creatividad colaborativa son muy demandadas en la actual sociedad global y digital del conocimiento y deben aplicarse teniendo en cuenta a todos los estudiantes para darles a todos la oportunidad de desempeñar un papel activo” (p. 123).

A partir de las consideraciones anteriores puede señalarse que la interacción social proporciona un entorno estimulante que puede fomentar la creatividad al exponer a las personas a una variedad de ideas, recursos, contradicciones y desafíos que pueden potenciar un proceso creativo que trasciende la individualidad. En este orden de ideas, Karwowski y Lebuda (2016) señalan que la creatividad va más allá de los atributos intrapsíquicos de quien crea y, además, no solo depende de factores sociales, sino que está inmersa en la cultura y se

convierte en un fenómeno totalmente social en el que los instrumentos, para este caso, las tecnologías, desempeñan un papel crucial en los actos creativos.

Respecto al papel de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad, puede decirse que el nivel de flexibilidad para modificar el contenido y la cantidad y diversidad de elementos que ponían a disposición favorecían los procesos de modelación creativa en ciencias, a través de la cual los estudiantes tenían la posibilidad de representar y resignificar los conceptos científicos.

Específicamente en la actividad de la historia de la partícula, las tecnologías utilizadas sirvieron como medio para aportar nuevas perspectivas a los conceptos científicos, principalmente mediante la personificación que hicieron de la partícula de aire y además les permitió llevar el fenómeno a contextos aparentemente dispares o lejanos mediante escenarios que creaban a partir de las posibilidades que les ofrecía la herramienta. Algunas características que vale la pena resaltar de dichas tecnologías son la facilidad en el acceso y el espectro de posibilidades que ofrecían para realizar diferentes tipos de representaciones, fomentando la expresión, el diseño y la narrativa.

El artefacto final construido por P4 y P5 se constituyó en un claro proceso de modelación científica en la medida que hubo una identificación del fenómeno, la formulación del problema relacionado con la manera de representar la frecuencia y la amplitud de las ondas sonoras, el desarrollo del modelo basado en principios de la física y en algoritmos para calcular y visualizar estas propiedades; la calibración del programa de manera que efectivamente diera cuenta del fenómeno en cuestión y finalmente los procesos de análisis e interpretación, dado que a partir de las diferentes representaciones los estudiantes tuvieron la oportunidad de entender la relación entre frecuencia y amplitud y sacar conclusiones al respecto. En relación con lo anterior, Davies y Gilbert (2003), mencionan que los procesos de modelación científica se posicionan como auténticos actos creativos que además permiten establecer relaciones entre la ciencia y la tecnología. Al respecto, Aguilar y Pifarre (2019) añaden que este tipo de tecnologías ayudan a generar, modificar y evaluar ideas y en consecuencia favorecen nuevas formas de creación de conocimiento en el ámbito científico.

Además, los artefactos construidos por P4, P5 y P6 ponen de manifiesto las relaciones que pueden establecerse entre el pensamiento computacional y la creatividad. Burgos et al. (2016) señalan que el pensamiento computacional “amplía nuestras facultades a niveles

insospechados con la ayuda de las herramientas informáticas donde la imaginación y la creatividad encuentran el terreno fértil para las ideas en mundos virtuales” (p. 154).

En cuanto a la valoración que hacen los participantes de la propuesta STEAM al aprendizaje de la física, es posible resaltar que varios de ellos pusieron de manifiesto las desventajas de la educación tradicional y las posibilidades de este nuevo enfoque. Frente a esto, Gross y Gross (2016) señalan que las dificultades en el aprendizaje de la física se deben a que los métodos tradicionales no son eficaces para ayudar a los estudiantes a comprender correcta e íntegramente los diferentes conceptos científicos.

Los participantes mencionan que desde el enfoque educativo STEAM es posible trascender de una perspectiva transmisionista del conocimiento en la que el sujeto asume una actitud pasiva frente al mismo, a una constructivista y construccionista en la que el estudiante se implica en su proceso de aprendizaje conectando los fenómenos físicos con la vida real. Esto adquiere especial importancia, pues tal y como señalan Bustamante y Balanzátegui (2019), en la enseñanza de la física son constantes las dificultades con las que los estudiantes se encuentran para realizar conexiones entre los temas conceptuales de la física y los fenómenos de la vida cotidiana. Además, los participantes destacaron el importante nivel de autonomía que les posibilita este enfoque, de tal manera que su aprendizaje se da mediante un proceso consciente y, por tanto, significativo. Respecto a esto, Cuervo y Reyes (2021) señalan que STEAM es un enfoque abierto que respeta la individualidad y les permite a los estudiantes aprender de manera integral.

Además, el hecho de que los conocimientos adquiridos en el desarrollo de la propuesta fueran a ser utilizados en el artefacto final como respuesta a una problemática específica, hizo que estos adquirieran más sentido para los participantes. Lo anterior está en consonancia con los postulados del paradigma construccionista bajo el cual se sustenta la educación STEAM, dado que desde esta mirada

el aprendizaje es entendido como un proceso continuo, variable y particular, que se construye y reconstruye a medida que el individuo interacciona de manera dinámica con el mundo físico, social y cultural en el que está inmerso y en la construcción de objetos que atiendan a la necesidad de solucionar un problema a través de procesos

de investigación y diseño, siendo esta interacción y construcción las claves en la producción de conocimiento. (Zamorano, et al., 2018, p. 5)

Fue recurrente en las expresiones de los participantes la necesidad de entender a profundidad los conceptos, pues esto iba a determinar la calidad del producto final que iban a construir. Lo anterior da cuenta de una característica de la creatividad y es que esta parte de una experiencia estética que finaliza con la relación de diferentes elementos incorporados y articulados en una determinada unidad de sentido (Dewey, 1988), la cual en este trabajo estuvo relacionada con el artefacto final construido.

Respecto a la educación STEAM en el desarrollo de la creatividad, los participantes pusieron de manifiesto que una de las principales diferencias entre la educación tradicional y el enfoque STEAM es que este último favorece el desarrollo de la creatividad, dado el grado de libertad que caracterizaba las actividades planteadas y la forma de evaluar los aprendizajes. Al respecto, Cheng et al. (2022) indican que varios estudios han analizado la relación entre la educación STEAM y la creatividad, encontrando una asociación positiva entre ambas en las diferentes etapas de escolaridad.

Por su parte, P4, P5 y P6 expresan que la propuesta STEAM demandó creatividad en tanto había que articular los conceptos de manera creativa en función del producto final que debían construir, esto da cuenta de la importancia de que la situación planteada posibilite la articulación divergente de los conceptos científicos en el producto final. Sanabria y Arámbaro (2017) señalan que la creatividad es relevante cuando se aplica a un contexto específico, para este caso relacionado con la construcción del producto final.

Se encontró que los participantes se veían implicados constantemente en situaciones en las que debían articular fenómenos aparentemente inconexos o bien llevar a contextos dispares conceptos relacionados con la física. Lo anterior hace referencia a lo que plantea Steiner y Morán (2003), en cuanto a darle un nuevo sentido al significado social del fenómeno; es decir, a lo ya conocido. Esta asignación de nuevos sentidos a los significados de la ciencia requiere de importantes niveles de apropiación conceptual. Así, los participantes pusieron de manifiesto que la creatividad es un acto consciente de aprendizaje que trasciende con creces el hecho de memorizar datos y replicar contenido. En relación con lo anterior, algunos trabajos (Amin et al., 2021; Boyle, 2021; Rahmawati et al., 2021) coinciden en que

los procesos de aprendizaje en física se ven favorecidos desde el enfoque STEAM por implicar a los estudiantes en actividades mediante las cuales deben aplicar los conceptos de la ciencia a contextos reales usando su creatividad. Además, teniendo en cuenta que los actos creativos son actos conscientes, estos dan cuenta de determinados rasgos de personalidad de los individuos, lo cual se vio reflejado en la marcada diferencia entre los productos finales construidos por los casos. Respecto a esto, Kharkhurin (2014) indica que un producto es considerado creativo cuando expresa el yo interior de un individuo y relaciona sus propios valores y creencias con el mundo, a este atributo lo denomina autenticidad. Lo anterior hace explícita la importancia de los actos creativos en la escuela, en tanto actos conscientes a los que subyacen experiencias profundas de aprendizaje que parten de la forma en la que los sujetos conciben el mundo.

Las actividades planteadas en la propuesta STEAM posibilitaron que los participantes pusieran en juego su creatividad mediante la manipulación de los materiales que tenían a disposición y la interacción con sus compañeros y profesor. Al respecto, Sánchez (2019) señala que una de las competencias clave en la educación STEAM está asociada con la creatividad y la innovación, destacando el fomento del pensamiento creativo en los estudiantes mediante la resolución original e imaginativa de diversas situaciones o problemas en un contexto específico.

Lo anterior pudo evidenciarse principalmente en el proceso de construcción del producto final. Respecto a ello puede decirse que, en algunos casos, como lo ocurrido con P1 y P3, el artefacto que inicialmente habían plasmado en el boceto o ideas originarias cambió de manera considerable. Esto se ve manifestado en algunas expresiones como “nos dimos cuenta de que era complicado tomar el sonido de nuestro ambiente y que se mostrara y al mismo tiempo vibrara, así que decidimos que lo mejor sería hacer una aplicación” (P1, entrevista). Por su parte, P3 expresa que inicialmente habían considerado trabajar con líquido no Newtoniano, pero luego “nos topamos con un experimento de agua y sonido en donde el agua cambiaba de forma dependiendo de la frecuencia de las vibraciones del bafle, y este nos pareció más adecuado” (P3, entrevista). Es importante resaltar cómo los procesos creativos son cambiantes y se adaptan a las condiciones establecidas; al parecer el hecho de que el enfoque STEAM configure espacios abiertos de experimentación personalizados hace que la creatividad de los estudiantes se vea favorecida. Lo anterior coincide con lo hallado por

Cuervo y Reyes (2021), quienes afirman que la educación STEAM privilegia y promueve un conocimiento integrado y contextualizado a la realidad social del individuo.

P1 por su parte se apoya en el profesor y en personas externas para tomar decisiones respecto a la tecnología más adecuada para realizar el artefacto en cuestión: “Buscamos varias páginas con las cuáles podríamos hacer la aplicación, el profesor nos dijo dos y finalmente le preguntamos a alguien aparte que nos dio el nombre de una página donde sería fácil hacer la aplicación” (entrevista). Posteriormente hace alusión a los elementos que decidieron incorporar en la versión final del producto: “Después de experimentar decidimos qué sonidos íbamos a poner, buscamos las imágenes y grabamos las ondas con una aplicación que el profesor nos dijo, llamada “Phyphox” (entrevista). Es importante mencionar estos aspectos, pues cobra relevancia el papel que la interacción social, los espacios de experimentación, la tecnología y el objetivo trazado tienen en los procesos creativos, regulando, abriendo posibilidades y estableciendo condiciones que orientan el diseño del producto en un determinado sentido.

P3 menciona que en el proceso de construcción del artefacto se presentaron algunas dificultades: “iniciamos el proceso de construcción, pero, nos dimos cuenta de que no ocurría nada, incluso intentamos con un baffle más grande, con una maguera más larga y con más agua, nada parecía cambiar” (P3, entrevista). Finalmente pone de manifiesto la manera en la que encontraron la solución indicando que para poder visualizar el efecto de la frecuencia en el agua debían utilizar las cámaras de los celulares por la manera en la que estas capturan imágenes del entorno. Cabe resaltar de esta narración que los procesos creativos implican también dificultades que desencadenan una serie de acciones como la búsqueda de recursos para dar una posible solución. Lo anterior da cuenta de la importancia de la motivación en los procesos de experimentación en el marco de propuestas STEAM. Respecto a esto, Conradt y Bogner (2020) señalan que la creatividad está estrechamente relacionada con la motivación de los sujetos. Este proceso de resolución de problemas también se vio evidenciado en el producto construido por P4 y P5:

la idea (...) era que uno pudiera desde el computador arrastrar un archivo y que la página lo pudiera entender, pero eso requería un dominio, así que había que cambiar el plan. Ahí también, hablé con P4 para que creara un catálogo de música, entonces ya se

cargaban unas canciones predeterminadas y después la persona podía elegir una de ellas y se reproducía. (P5, entrevista)

Puede señalarse entonces a partir de las narrativas de P3, P4 y P5, que en el marco de la educación STEAM la creatividad implica la resolución de problemas y hacer uso de los recursos que se tienen a disposición para llegar a una solución. Los artefactos construidos por los participantes dan cuenta de auténticos productos STEAM en la medida que los casos se vieron implicados en la construcción de objetos que respondían a la necesidad de solucionar un problema mediante procesos de investigación y diseño (Zamorano, et al. 2018). Además, Rahmawati et al. (2021) y Wilson et al. (2021) señalan que la educación STEAM implica a los estudiantes en actividades como la exploración de desafíos y problemas del mundo real, en experiencias estéticas con el conocimiento y el manejo de tecnologías.

Vale la pena mencionar que los diferentes participantes pusieron de manifiesto la manera en la que consideran que han incorporado el arte en el artefacto final. La mayoría de ellos (P1, P2, P4, P5 y P6), hace alusión a que el arte estuvo involucrado en el proceso mismo de diseño. Específicamente P1, P4 y P5 se refieren al contraste y a la elección de los colores y, finalmente P3 menciona que estuvo integrada en los efectos visuales generados por el movimiento del agua. En torno a esto, Rahmawati et al. (2019) mencionan que la integración del arte en el aprendizaje STEM favorece la creatividad y la innovación por parte de los estudiantes en tanto se implican en desafíos y problemas del mundo real. Cabe mencionar que en esta investigación el arte no fue incorporado como un elemento decorativo (Couso, 2021), sino como experiencia estética (Hammer, 2014); es decir, los estudiantes se vieron implicados en la construcción de unidades de sentido (productos finales) que daban cuenta de un determinado fenómeno, para este caso asociado a las ondas sonoras.

Otro asunto interesante que emergió fue el hecho de que hubo una identificación de la educación STEAM como un enfoque que tiene en cuenta las articulaciones disciplinares que se reconocen actualmente en las dinámicas culturales (Cilleruelo y Zubiaga, 2014; Stoelinga et al., 2015; Gross y Gross, 2016; Taylor, 2016). Podría decirse que desarrollar este tipo de propuestas en la escuela conlleva a que los estudiantes identifiquen la importancia de las disciplinas STEAM y en consecuencia posiblemente se motiven a desarrollarse profesionalmente en alguna de ellas.

STEAM favorece la creatividad en la medida en que los diferentes casos para abordar el problema en cuestión, se vieron implicados en un proceso de ideación y materialización de estas ideas, siendo flexibles a la hora de resolver los problemas que se iban presentando y articulando elementos semánticamente distantes, también modelando los fenómenos físicos mediante tecnologías que les permitieron construir los productos finales, considerados originales, pues nunca se habían hecho de esa forma y valiosos en la medida que sirvieron para entender los conceptos de ondas sonoras; de esa manera permitieron identificar otras dimensiones didácticas del contenido en cuestión.

7. Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el desarrollo de la creatividad científica en el aprendizaje de las ondas sonoras desde una perspectiva sociocultural y sistémica a partir de una propuesta de enseñanza enmarcada en la educación STEAM.

En relación con los procesos de internalización de significados en física, pudo observarse la transición que los participantes hicieron desde etapas inconscientes en la que sus explicaciones se quedaban en el plano de lo descriptivo y lo concreto, hasta interpretaciones conscientes en las que no solo utilizaban conceptos científicos, sino que también les asignaban nuevos sentidos en diferentes contextos.

Los nuevos sentidos al significado social del fenómeno y las nuevas relaciones que los participantes establecieron entre el significado y el sentido de dicho fenómeno dan cuenta de un aprendizaje significativo por parte de los estudiantes. De esto puede derivarse una conclusión importante: la creatividad en la educación en ciencias adquiere especial relevancia en tanto da cuenta de un proceso de apropiación y transformación de significados pertenecientes a un determinado campo conceptual.

Respecto al papel de la interacción social, se puede mencionar que aportó a la creatividad desde la generación de ideas, el mejoramiento de estas, el apoyo en términos de apropiación conceptual y del manejo de las herramientas tecnológicas implicadas en el proceso creativo. La interacción entre los estudiantes de los diferentes grupos y de estos con el profesor desempeñó un papel fundamental en los actos creativos. Lo anterior está en consonancia con lo hallado por Siew et al. (2015) y Sidek et al. (2020), quienes explican que la interacción social permite la inspiración creativa, hacer conscientes las funciones mentales básicas, la generación de ideas novedosas y potenciar el desarrollo intelectual de los estudiantes.

Se puede concluir además que la interacción social crea un ambiente enriquecedor que favorece la creatividad al exponer a las personas a una diversidad de ideas, recursos, contradicciones y obstáculos que fomentan el proceso creativo; de esta manera se puede entender la creatividad como un fenómeno dialógico y no únicamente intrapsíquico.

En cuanto al papel de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de la creatividad, es importante mencionar que estas actuaron como andamios mediante los cuales fue posible

poner en juego el potencial creativo (Kao, et al., 2017). Además se identificaron algunas características de estas que al parecer favorecen la creatividad tales como su interactividad y dinamismo, el espectro de posibilidades que presentan para construir diferentes tipos de representaciones y en este sentido propiciar la modelación científica, el apoyo a la resolución creativa de problemas, la opción de modificar los parámetros de un programa desde estadios iniciales y el hecho de posibilitar la articulación de disciplinas y campos y/o fenómenos aparentemente dispares. Por lo anterior se conciben las tecnologías como auténticos instrumentos de mediación cultural que le permiten al sujeto apropiarse y transformar los significados, para este caso de la ciencia.

En torno a la evaluación de los artefactos elaborados por los participantes, se puede mencionar que el proceso de construcción en el marco de la propuesta STEAM da cuenta de cómo se fueron configurando las ideas y algunos elementos de la forma en que se materializó el artefacto final. Esto pone de manifiesto la importancia de generar actividades de carácter abierto en las que el estudiante tenga la posibilidad de expresarse libremente, ponderando posibles soluciones y seleccionando aquellas que considera viables en términos de los recursos que tiene a disposición y del objetivo que persigue. El planteamiento anterior, permite cuestionar mitos referentes a que solo los artistas pueden ser creativos y que la creatividad es un talento de un grupo selecto de personas (Conradty y Bogner, 2020).

Por otra parte, el marco transcultural de la creatividad planteado por Kharkhurin (2014), se constituye en una herramienta con gran potencial para valorar los productos creativos, considerando que permite dar cuenta de elementos referentes tanto a la calidad creativa del producto (novedad y utilidad) como a factores asociados a las formas mediante las cuales el sujeto concibe el mundo (estética y autenticidad). En esta medida se considera un enfoque que permite hacer un análisis integral de los productos creativos desarrollados por los sujetos.

En relación con las articulaciones teóricas entre las perspectivas sociocultural y sistémica de la creatividad, se concluye que concebir la creatividad como un fenómeno sociosistémico le permite al profesor identificar los factores involucrados en el desarrollo de esta, así como su papel de mediador cultural que apoya al sujeto que crea mediante el suministro insumos materiales e inmateriales y, además, valida los actos creativos e incorpora los cambios generados por estos en el conocimiento científico escolar, identificando de esta

manera nuevas dimensiones del conocimiento didáctico del contenido y permitiendo que las siguientes generaciones tengan acceso a un capital cultural transformado.

Por otra parte, respecto a la pertinencia de la educación STEAM en el desarrollo de la creatividad y el aprendizaje de la física puede señalarse que esta favorece la implicación de los estudiantes en la construcción de artefactos que dan cuenta de su creatividad y de su proceso de aprendizaje en tanto sitúa a los sujetos en un contexto en el que tienen la oportunidad de abordar problemas a partir de la forma en que conciben el mundo y de las habilidades de diferente índole con las que cuentan. En este sentido el paradigma constructorista se posiciona como una perspectiva pertinente para fundamentar la educación STEAM, en la medida que posibilita configurar espacios de aprendizaje en los que el sujeto tiene la oportunidad de desarrollar productos creativos para abordar problemas y en el proceso aprender sobre un tema específico, en este caso relacionado con las ondas sonoras.

En el proyecto STEAM los participantes tenían como objetivo elaborar un producto que le permitiese a una persona con discapacidad auditiva ver las propiedades de las ondas sonoras. En este sentido puede decirse que la propuesta promovió el objetivo político de STEAM asociado a la inclusión. Además, se considera que los participantes contaron con la posibilidad de alfabetizarse científica y tecnológicamente en la medida que tuvieron la oportunidad de trabajar de manera colaborativa, resolver problemas, tomar decisiones fundamentadas, argumentar, usar de manera crítica diferentes tipos de tecnología, comunicarse eficazmente y materializar ideas a partir de los recursos que tenían a disposición. De esta manera, como señala Domenech (2019), STEAM adquiere un papel especial como herramienta de emancipación ciudadana y no es solo algo que únicamente obedece a intereses económicos estratégicos.

El presente estudio realiza aportes desde diferentes dimensiones a la didáctica de las ciencias que vale la pena sintetizar. A nivel teórico, se consolida el Modelo Sociosistémico de la Creatividad en la Escuela para el estudio y promoción de la creatividad en las clases de ciencias; desde la dimensión epistemológica, la creatividad científica, desde una perspectiva sociocultural y sistémica, les permite a los estudiantes implicarse en procesos de indagación en los que el conocimiento se construye de manera colaborativa y es sometido constantemente a procesos de validación. Lo anterior podría favorecer una visión de la ciencia como un sistema cultural en constante evolución; en cuanto a la didáctica, se propone

una articulación teórica entre el construccionismo de Seymour Papert y el concepto de experiencia estética de John Dewey para orientar el diseño de propuestas STEAM, un enfoque que según la literatura revisada adolece de un posicionamiento pedagógico claro. Respecto a la enseñanza, el profesor dispone de espacios para la circulación del conocimiento y actúa como mediador cultural brindando insumos materiales y simbólicos para la emergencia del aprendizaje y, en relación con el aprendizaje, el estudiante se apropia de los significados de la ciencia transformándolos mediante instrumentos culturales como las tecnologías y les otorga a estos un sentido desde sus respectivas cosmovisiones.

Las consideraciones anteriores ponen de manifiesto la necesidad de generar escenarios de aprendizaje donde los estudiantes tengan la posibilidad de desarrollar su creatividad en la educación científica; de manera que puedan concebir la ciencia misma como un acto creativo en construcción en el cual pueden tener parte. La creatividad es desarrollable y no es cualidad únicamente de mentes brillantes (Rufaida y Nurfadilah, 2021); una importante implicación para la educación en ciencias donde el conocimiento en ocasiones parece pertenecer a un grupo selecto y su aparente objetividad impide concebir la ciencia como un sistema cultural en evolución.

7.1 Limitaciones

Como limitaciones de este estudio se podría hacer alusión al hecho de que los artefactos fueron desarrollados por grupos de estudiantes. Si bien los casos en cuestión presentaron un papel protagónico, es complejo identificar integralmente la manera en que sus pares contribuyeron al producto creativo.

Otra limitante estuvo relacionada con los pocos dispositivos disponibles (una grabadora de voz y una cámara) para hacer la recolección de la información; en ocasiones se llevaban a cabo discusiones al interior de los diferentes grupos que hubiese sido valioso registrar con el fin de obtener mayor volumen de información y así enriquecer los resultados del estudio.

Además, se considera que otra limitación de este trabajo es también su grado de replicabilidad ya que se requiere de una infraestructura institucional apropiada. Además, algunos estudiantes tenían características muy particulares, por ejemplo, el gusto por la matemática, la física, la programación y la música.

7.2 Recomendaciones

Para un próximo estudio se sugiere definir previamente las competencias específicas que se trabajarán desde cada una de las disciplinas implicadas. De esa forma puede ser más fácil identificar la manera en la que dichas competencias se ponen de manifiesto en el desarrollo de las actividades y los posibles ejes articuladores entre las diferentes disciplinas.

La experiencia estética fue la estrategia utilizada para articular la ciencia y el arte en esta investigación. Los estudiantes mediante las fases de anticipación, desarrollo y unidad se vieron implicados en el desarrollo de un artefacto que se constituyó en la unidad de sentido a partir de la cual los sujetos podían apropiarse, transformar y comunicar un fenómeno del mundo, alusivo en este caso a las ondas sonoras. Sin embargo, es necesario establecer de manera explícita en próximas investigaciones cuáles serían las competencias específicas del arte que se trabajarían a lo largo de la propuesta de intervención. Para ello, sería ideal vincular profesores de otras áreas a la propuesta teniendo en cuenta su nivel de experticia en las mismas y la posibilidad de desarrollar competencias propias de las áreas en los estudiantes. De esa manera se podrían alcanzar niveles más complejos y profundos de articulación disciplinar.

7.3 Perspectivas abiertas de investigación

Algunas de las cuestiones que quedan abiertas para futuros estudios relacionados con la creatividad en la educación en ciencias son: ¿Qué relaciones hay entre el pensamiento crítico y el pensamiento creativo en el marco de la educación científica? ¿Cuál es el papel de la evaluación en los procesos creativos en la enseñanza de las ciencias? ¿De qué manera las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial afectan los procesos creativos de los sujetos? ¿Qué estrategias de andamiaje se pueden utilizar para promover y apoyar los procesos creativos de los estudiantes en el marco de la educación científica? ¿De qué manera los episodios históricos de la ciencia ponen de manifiesto los componentes de la creatividad científica?

La creatividad en la escuela puede concebirse como un fenómeno sociosistémico que enriquece el sistema cultural escolar y que prepara a los estudiantes para realizar cambios estructurales en una sociedad ávida de sujetos creativos que contribuyan a la solución de las problemáticas que enfrentamos actualmente como humanidad. En este sentido, es necesario

orientar los esfuerzos al estudio y la promoción de la creatividad, la cual se posiciona como parte fundamental en los procesos formativos de los ciudadanos de la presente época.

Del presente trabajo se derivó el artículo *Productos creativos sobre el fenómeno de ondas sonoras en el marco de la educación STEAM*, el cuál fue aprobado para publicación en la Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información. Además de ello, se derivaron dos ponencias. La primera titulada “La educación STEAM y el desarrollo de la creatividad: una revisión sistemática” presentada en el marco del 9º Seminario de Enseñanza en las Ciencias Naturales, desarrollado en la Universidad Surcolombiana en Neiva, Colombia. La segunda, con el nombre de “Productos creativos sobre el fenómeno de ondas sonoras en el marco de la educación STEAM”, será presentada en la International Conference in Information Technology & Education (ICITED), que se llevará a cabo en julio de 2024 en Recife, Brasil.

8. Referencias

- Aberg, K. C., Doell, K. C., & Schwartz, S. (2017). The “Creative Right Brain” revisited: Individual creativity and associative priming in the right hemisphere relate to hemispheric asymmetries in reward brain function. *Cerebral Cortex*, 27(10), 4946-4959.
- Abraham, A. (2013). The promises and perils of the neuroscience of creativity. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 246.
- Aguilar, D., & Pifarre Turmo, M. (2019). Promoting social creativity in science education with digital technology to overcome inequalities: A scoping review. *Frontiers in Psychology*, 10, 440654.
- Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic literature review. *Education Sciences*, 11(7), 331.
- Alexopoulos, A. N., Paolucci, P., Sotiriou, S. A., Bogner, F. X., Dorigo, T., Fedi, M., ... & Scianitti, F. (2021). The colours of the Higgs boson: a study in creativity and science motivation among high-school students in Italy. *Smart Learning Environments*, 8(1), 1-23.
- Amabile, T. M. (1983). The social psychology of creativity: a componential conceptualization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45, 357-376.
- Amin, A. M., Sulsilah, H., Laurently, F., Samsudin, A., & Suhandi, A. (2021). What do students need during Covid-19? A need analysis of augmented reality with STEAM worksheet (AR-STEAM) in electromagnetic induction. *In Journal of Physics: Conference Series*, 2098 (1), 012028.
- Anderman, E. M., Sinatra, G. M., & Gray, D. L. (2012). The challenges of teaching and learning about science in the twenty-first century: Exploring the abilities and constraints of adolescent learners. *Studies in Science education*, 48(1), 89-117.
- Andreotti, E., & Frans, R. (2019). The connection between physics, engineering and music as an example of STEAM education. *Physics Education*, 54(4), 045016.
- Astutik, S., & Prahani, B. K. (2018). Developing teaching material for physics based on collaborative creativity learning (ccl) model to improve scientific creativity of junior high school students. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 8(2), 91-105.
- Astutik, S., Mahdiannur, M. A., & Prahani, B. K. (2019). Improving science process skills of junior high school students through the implementation of collaborative creativity learning (CCL) model in physics learning. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1171, (1), 012006).
- Baeza Correa, J. (2008). El dialogo cultural de la escuela y en la escuela. *Estudios pedagógicos*, 34(2), 193-206.
- Barbosa, R. G., & de Lourdes Batista, I. (2018). Vygotsky: um Referencial para Analisar a Aprendizagem e a Criatividade no Ensino da Física. *Revista Brasileira de pesquisa em Educação em Ciências*, 49-67.

- Bassachs, M., Cañabate, D., Nogué, L., Serra, T., Bubnys, R., & Colomer, J. (2020). Fostering critical reflection in primary education through STEAM approaches. *Education sciences*, 10(12), 384.
- Baughman, W. A. & Mumford, M.D. (1995). Process-analytic models of creative capacities: Operations influencing the combination and reorganization processes. *Creativity Research Journal*, 8, 37-62.
- Beghetto, R. A., & Kaufman, J. C. (2013). Fundamentals of creativity. *Educational leadership*, 70(5), 10-15.
- Bequette, J. W., & Bequette, M. B. (2012). A place for art and design education in the STEM conversation. *Art education*, 65(2), 40-47.
- Bertalanffy, L. von. 1969: General Systems Theory: a critical review. En W. Buckley (Ed.); *Modern systems research for the behavioral scientist*. Chicago, Adline. (Ed. Orig. 1962).
- Bertrand, M. G., & Namukasa, I. K. (2020). STEAM education: student learning and transferable skills. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 13(1), 43-56.
- Boyle, J. (2019). The butterfly brigade: MakeHer take flight and bring making into lower secondary school science. *Physics Education*, 54(5), 055007.
- Bravo, S., Pesa, M. A., y Caballero, M. C. C. (2009). Representaciones de alumnos universitarios sobre propagación de ondas mecánicas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 27(3), 405-420.
- Burgos, J. B., Salvador, M. R. A., & Narváez, H. O. P. (2016). Del pensamiento complejo al pensamiento computacional: retos para la educación contemporánea. *Sophia: Colección de 204orean204ng de la educación*, (21), 143-159.
- Bustamante, E. B., y Balanzátegui, M. E. L. (2019). Análisis del Efecto de la Aplicación de Estrategias de Aprendizaje Activo para mejorar las Habilidades STEAM en una clase del Principio de Pascal. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 3306.
- Cáceres, N. M., & Sapuyes, N. B. (2019). La educación STEM/STEAM como alternativa para las reformas educativas: una aproximación a su estado del arte desde la perspectiva filosófica. En G. Castillo (Ed.), *Educación: Stem /Steam. Apuestas hacia la formación, impacto y proyección de seres críticos* (pp. 13-27). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés.
- Cacheiro, M.L (2011). Recursos Educativos TIC de información. *Revista de Medios y Educación* 39, 69-81.
- Campbell, D.T. (1960). Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes. *Psychological Review*, 67, 380-400.
- Capuano, V. (2011). El uso de las TIC en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 2(2), 79-88.
- Casado Fernández, R., & Checa-Romero, M. (2020). Robótica y Proyectos STEAM: Desarrollo de la creatividad en las aulas de Educación Primaria. *Pixel-Bit*, (58), 52-68

- Casado Fernández, R., & Checa-Romero, M. (2023). Creatividad, pensamiento crítico y trabajo en equipo en educación primaria: un enfoque interdisciplinar a través de proyectos STEAM. *Revista complutense de educación*, 34(3), 630-640.
- Domenech, J. C. (2019). STEM: Oportunidades y retos desde la Enseñanza de las Ciencias. *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciències de l'Educació*, (2), 154-168.
- Chang, C. Y., Du, Z., Kuo, H. C., & Chang, C. C. (2023). Investigating the Impact of Design Thinking-Based STEAM PBL on Students' Creativity and Computational Thinking. *IEEE Transactions on Education*, 66(6), 673-681.
- Cheng, L., Wang, M., Chen, Y., Niu, W., Hong, M., & Zhu, Y. (2022). Design My Music Instrument: A Project-Based Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics Program on The Development of Creativity. *Frontiers in Psychology*, 12.
- Chien, Y. H., & Chu, P. Y. (2018). The different learning outcomes of high school and college students on a 3D-printing STEAM engineering design curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16, 1047-1064.
- Cilleruelo, L., & Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la Educación STEAM. Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. *Jornadas de Psicodidáctica*, 18.
- Coll, C. (2004). Psicología de la educación y prácticas educativas mediadas por las tecnologías de la información y la comunicación. Una mirada constructivista. *Sinéctica*, (25).
- Connor, A. M. (2020). Creative technologies: A retrospective. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 13(6), 1- 23.
- Connor, A. M., Karmokar, S., & Whittington, C. (2015). From STEM to STEAM: Strategies for Enhancing Engineering & Technology Education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 5(2), 37-47.
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2018). From STEM to STEAM: How to monitor creativity. *Creativity Research Journal*, 30(3), 233-240.
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2019). From STEM to STEAM: Cracking the code? How creativity & motivation interacts with inquiry-based learning. *Creativity Research Journal*, 31(3), 284-295.
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: Effects on students' creativity and motivation. *Smart Learning Environments*, 7(1), 1-20.
- 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.
- Corbi, A., & Burgos, D. (2017). Open distribution of virtual containers as a key framework for open educational resources and STEAM subjects. *Electronic Journal of e-Learning*, 15(2), 126-136.
- Couso, D. (2017). ¿Por qué estamos en STEM? Un intento de definir la alfabetización STEM para todo el mundo y con valores. *Revista Ciències*, 34, 22.

- Couso, D., Casal, J. D., Rodríguez, C. S., Simó, V. L., & Grimalt-Álvaro, C. (2022). Perspectivas, Metodologías y Tecnologías en el despliegue de la educación STEM. *Ciències*, 22, 44.
- Csikszentmihalyi, M. & Wolfe, R. (2014). New conceptions and research approaches to creativity: Implications of a systems perspective for creativity in education. In M. Csikszentmihalyi (Ed.), *The Systems Model of Creativity* (pp. 161-184). Springer.
- Csikszentmihalyi, M. (1988a). Society, culture and person: a systems view of creativity. En R. J. Sternberg, (Ed.); *The nature of creativity: contemporary psychological perspectives*. Cambridge University Press.
- Csikszentmihalyi, M. (1997). *Flow and the Psychology of Discovery and Invention*. New York: Harper Perennial Press.
- Csikszentmihalyi, M. (1998). Creativity and genius: A systems perspective. In A. Steptoe (Ed.) *Genius and the mind: Studies of creativity and temperament* (pp. 39-66). Oxford: Oxford University Press.
- Csikszentmihalyi, M. (1999). Implications of a systems perspective for the study of creativity. En R. J. Sternberg, (Ed.); *Handbook of creativity*. Cambridge University Press.
- Csikszentmihalyi, M. (2010). *Creativity. Flow and the Psychology of Discovery and Invention*. Harper: New York, NY, U.
- Cuervo, D. A. C., & Reyes, R. A. G. (2021). Aporte de la metodología STEAM en los procesos curriculares. *Revista Boletín Redipe*, 10(8), 279-302.
- Dafermos, M. (2018). Developing creativity in science: The case of Vygotsky. *Rethinking Cultural-Historical Theory: A Dialectical Perspective to Vygotsky*, 215-242. Springer.
- Davies, T., & Gilbert, J. (2003). Modelling: Promoting creativity while forging links between science education and design and technology education. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 3(1), 67-82.
- De Bono, E. (2010). *Lateral Thinking. Creativity Step by Step*. Harper Perennial: New York, NY, USA.
- De la Torre, S., Morais, M., & Tejada, G. (2010). *Investigar y evaluar la creatividad. Modelos y alternativas*. Santiago: Educreate.
- Develaki, M. (2020). Comparing Crosscutting Practices in STEM Disciplines: Modeling and Reasoning in Mathematics, Science, and Engineering. *Science & Education*, 29(4), 949-979.
- Dewey, J. (1958). *Art as experience*. New York: Perigee Books (original work published 1934).
- Dewey, J. (1988). *The quest for certainty*. In J. A. Boydston (Ed.), *John Dewey: The later works, 1925–1953*, Vol. 4. Carbondale, IL: Southern Illinois University Press (Original work published 1929).
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., y Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167.

- Domínguez Osuna, P. M., Oliveros Ruiz, M. A., Coronado Ortega, M. A., & Valdez Salas, B. (2019). Retos de ingeniería: enfoque educativo STEM+ A en la revolución industrial 4.0. *Innovación educativa*, 19(80), 15-32.
- Egan, K. (1994). *Fantasia e imaginación, su poder en la enseñanza primaria: una alternativa a la enseñanza y el aprendizaje en la educación infantil y primaria* (Vol. 30). Ediciones Morata.
- Eisner, E. (2008). Art and knowledge. *Handbook of the arts in qualitative research: Perspectives, methodologies, examples, and issues*, 4.
- Elisondo, R. (2016). Creativity is always a social process. *Theories–Research–Applications*, 3(2), 194-210.
- ElSayary, A., Zein, R., & Antonio, L. S. (2022). Using Interactive Technology to Develop Preservice Teachers' STEAM Competencies in Early Childhood Education Program. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(2), 1-12.
- Engelman, S., Magerko, B., McKlin, T., Miller, M., Edwards, D., & Freeman, J. (2017). *Creativity in authentic STEAM education with EarSketch*. In Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education (pp. 183-188).
- Erol, A., Erol, M., & Başaran, M. (2022). The effect of STEAM education with tales on problem solving and creativity skills. *European Early Childhood Education Research Journal*, 31(2), 243-258.
- Fernández, L. (2006). Fichas para investigadores ¿Cómo analizar datos cualitativos? *Butlletí LaRecerca*, 1-13
- Fernández-Morante, C., Fernández-de-la-Iglesia, J. D. C., Cebreiro, B., & Latorre-Ruiz, E. (2022). ATS-STEM: Global Teaching Methodology to Improve Competences of Secondary Education Students. *Sustainability*, 14(12), 6986, 1-13.
- Fischer, G., Giaccardi, E., Eden, H., Sugimoto, M., & Ye, Y. (2005). Beyond binary choices: integrating individual and social creativity. *International Journal of HumanComputer Studies*, 63, 482-512.
- Gallagher, D., & Grimm, L. R. (2018). Making an impact: The effects of game making on creativity and spatial processing. *Thinking skills and creativity*, 28, 138-149.
- Galton, F. (1869). *Hereditary genius*, New York: MacMillan.
- García-Carmona, A. (2020). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4 (2), 35-50.
- García, J. J. (1998). *Didáctica de las Ciencias Resolución de Problemas y Desarrollo de la Creatividad*. Facultad de Educación – Universidad de Antioquia.
- Ghiso, A. (1999). Acercamientos: el taller en procesos de investigación interactivos. *Estudios sobre las culturas contemporáneas*, (9), 141-153.

- Girod, M., Rau, C. & Schepige, A. (2003). Appreciating the beauty of science ideas: teaching for aesthetic understanding. *Science Education*, 87, 574-587.
- Greca, I. M., & Meneses Villagr a, J.  . (2018). *Proyectos STEAM para la Educación Primaria: Fundamentos y aplicaciones prácticas*. Dextra.
- Gresnigt, R., Taconis, R., van Keulen, H., Gravemeijer, K., & Baartman, L. (2014). Promoting science and technology in primary education: a review of integrated curricula. *Studies in Science Education*, 50(1), 47-84.
- Gross, K., & Gross, S. (2016). Transformation: Constructivism, design thinking, and elementary STEAM. *Art Education*, 69(6), 36-43.
- Guba, E., & Lincoln, Y. S. (2005). Paradigmatic controversies, contradictions, and emerging confluences. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln, *The Sage handbook of qualitative research* (3rd ed., pp. 191-215). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Guilford, J. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444-454.
- Gurgel, I., & Pietrocola, M. (2011). O papel da imagina o no pensamento científico: análise da cria o científica de estudantes em uma atividade didática sobre o espalha-mento de Rutherford. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 91-122.
- Guyotte, K. W., Sochacka, N. W., Costantino, T. E., Kellam, N. N., & Walther, J. (2015). Collaborative creativity in STEAM: Narratives of art education students' experiences in transdisciplinary spaces. *International journal of education & the arts*, 16(15), 1-39.
- Hadzigeorgiou, Y., Fokialis, P., & Kabouropoulou, M. (2012). Thinking about creativity in science education. *Creative Education*, 3(5), 603.
- Haim, K., & Aschauer, W. (2022). Fostering scientific creativity in the classroom: The Concept of Flex-Based Learning. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(3), 196-230.
- Halim, A., Haji, A. G., & Nurfadilla, E. (2020). Effect of inquiry learning methods on generic science skills based on creativity level. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1460 (1), 12118.
- Hammer, S. (2014). Science, art, and aesthetics: An interdisciplinary approach to abstract reasoning. *European Scientific Journal*, 1, 72-76.
- Harris, A., & De Bruin, L. R. (2018). Secondary school creativity, teacher practice and STEAM education: An international study. *Journal of Educational Change*, 19, 153-179.
- Hawkins, J., Yamada, A., Yamada, R. & Jacob, W. (2018). *New Directions of STEM Research and Learning in the World Ranking Movement A Comparative Perspective*. Cham, Suiza: Palgrave Macmillan.
- Herro, D., & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: implications for teacher educators. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438.

- Houtart, F. (2006). *La ética de la incertidumbre en las Ciencias Sociales*. Editorial de Ciencias Sociales.
- Hoyos, C. (2000). *Un modelo para investigación documental: guía teórico – práctica sobre construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación* (1st ed.). Señal Editora.
- Hsiao, H. S., Chen, J. C., Chen, J. H., Zeng, Y. T., & Chung, G. H. (2022). An Assessment of Junior High School Students' Knowledge, Creativity, and Hands-On Performance Using PBL via Cognitive–Affective Interaction Model to Achieve STEAM. *Sustainability*, 14(9), 5582.
- Hu, W., & Adey, P. (2002). A Scientific Creativity Test for Secondary School Students. *Int. J. Sci. Educ*, 24 (4), 389–403.
- Huang, P.S., Peng, S.L., Chen, H.C., Tseng, L.C., & Hsu, L.C. (2017). The Relative Influences of Domain Knowledge and Domain-General Divergent Thinking on Scientific Creativity and Mathematical Creativity. *Thinking Skills and Creativity* 25, 1–9.
- Hunter-Doniger, T. (2021). Early childhood STEAM education: the joy of creativity, autonomy, and play. *Art Education*, 74(4), 22-27.
- Iammartino, R., Bischoff, J., Willy, C., & Shapiro, P. (2016). Emergence in the U.S. Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) workforce: an agent-based model of worker attrition and group size in high-density STEM organizations. *Complex and Intelligent Systems*, 2(1), 23–34.
- Isrokatun, I., Anggita, D., Purwono, B. S., Sunaengsih, C., & Syahid, A. A. (2021). Scaffolding in conceptual science. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1402 (4), 044079.
- Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active learning augmented reality for STEAM education – A case study. *Education Sciences*, 10(8), 198.
- Jiménez, E., Artilés, C., Rodríguez, C., y García, M. (2007). *Adaptación y baremación del test de pensamiento creativo de Torrance: expresión figurada*. Educación Primaria y Secundaria. Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias: España.
- John-Steiner, V. (2000). *Creative collaboration*. New York: Oxford University Press.
- John-Steiner, V., & Moran, S. (2003). Creativity in the Making: Vygotsky's Contemporary Contribution to the Dialectic of Creativity & Development. En R. K. Sawyer (Ed.), *Creativity and development* (pp. 61-90). Oxford University Press.
- Kao, G. Y. M., Chiang, C. H., & Sun, C. T. (2017). Customizing scaffolds for game-based learning in physics: Impacts on knowledge acquisition and game design creativity. *Computers & Education*, 113, 294-312.
- Karabey, B., Koyunkaya, M. Y., Enginoglu, T., & Yurumezoglu, K. (2018). Discovering complementary colors from the perspective of STEAM education. *Physics Education*, 53(3), 035001.

- Karwowski, M., & Lebuda, I. (2016). The big five, the huge two, and creative self-beliefs: a meta-analysis. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(2), 214.
- Katanosaka, T., Khan, M. F. F., & Sakamura, K. (2023). Design and Implementation of a Gamification-Based Web Application for Learning High-School Physics. In 2023 14th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI) (pp. 200-205). IEEE.
- Kaufman, J. C., & Beghetto, R. A. (2009). Beyond big and little: The Four C Model of Creativity. *Review of General Psychology*, 13, 1–12.
- Kawulich, B. (2006). La observación participante como método de recolección de datos. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research [On-line Journal]*, 6(2), 82-189.
- Kharkhurin, A. V. (2014). Creativity. 4in1: Four-criterion construct of creativity. *Creativity research journal*, 26(3), 338-352.
- Kim, E. S., Chu, H. E., & Song, J. (2023). Development and impact of an intercultural STEAM program on science classroom creativity. *Asia-Pacific Science Education*, 1, 1-36.
- 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.
- Kind, P. M., & Kind, V. (2007). Creativity in science education: Perspectives and challenges for developing school science. *Studies in Science Education*, 43 (1), 1-37.
- Lage-Gómez, C., & Ros, G. (2023). How transdisciplinary integration, creativity and student motivation interact in three STEAM projects for gifted education? *Gifted Education International*, 39(2), 247-262.
- Land, M.H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Comput. Sci*, 20, 547–552.
- Lee, J. C., Wang, C. L., Yu, L. C., & Chang, S. H. (2016). The effects of perceived support for creativity on individual creativity of design-majored students: A multiple-mediation model of savoring. *Journal of Baltic Science Education*, 15(2), 232.
- Leroy, A., & Romero, M. (2021). Teachers' Creative Behaviors in STEAM Activities With Modular Robotics. In *Frontiers in Education*, 6, 152.
- Lou, S. J., Chou, Y. C., Shih, R. C., & Chung, C. C. (2017). A study of creativity in CaC2 steamship-derived STEM project-based learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(6), 2387-2404.
- Lu, S. Y., Lo, C. C., & Syu, J. Y. (2022b). Project-based learning oriented STEAM: The case of micro-bit paper-cutting lamp. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(5), 2553-2575.

- Lu, S. Y., Wu, C. L., & Huang, Y. M. (2022). Evaluation of disabled STEAM-students' education learning outcomes and creativity under the UN sustainable development goal: project-based learning-oriented STEAM curriculum with micro: bit. *Sustainability*, 14(2), 679.
- Lubart, T. I. (1999). Creativity across cultures. In R.J Stenberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (p. 339-350). Cambridge University Press.
- Madeali, H., & Prahani, B. K. (2018). Development of multimedia learning-based inquiry on vibration and wave material. In *Journal of Physics: Conference Series*, 997 (1), 012029.
- Maeda, J. (2013). STEM + Art = STEAM. *STEAM J. 1*, 34.
- Manrique-Losada, B., Gómez-Álvarez, M. C., & González-Palacio, L. (2020). Estrategia de transformación para la formación en informática: hacia el desarrollo de competencias en educación básica y media para la Industria 4.0 en Medellín-Colombia. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (39), 1-17.
- Massoudi, M. (2003). Can scientific writing be creative? *Journal of Science Education and Technology*, 12(2), 115-128.
- McKlin, T., Magerko, B., Lee, T., Wanzer, D., Edwards, D., & Freeman, J. (2018). *Authenticity and personal creativity: How EarSketch affects student persistence*. In Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (pp. 987-992).
- Mena, A y Méndez, J. (2009). La técnica de grupo de discusión en la investigación cualitativa. Aportaciones para el análisis de los procesos de interacción. *Revista Iberoamericana de Educación: organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura*, 1-7.
- Mierdel, J., & Bogner, F. X. (2020). Simply InGEN I ous! How creative DNA 211orean211ng can enrich classic hands-on experimentation. *Journal of microbiology & biology education*, 21(2), 1-10.
- Miller, A. L., & Dumford, A. D. (2016). Creative cognitive processes in higher education. *Journal of Creative Behaviour*, 50(4), 282–293.
- Ministerio de Educación Nacional (2019). Orientaciones curriculares para la educación artística y cultural en educación básica y media. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-411706_recurso_2.pdf.
- Moreira, M. A. (2009). *Subsidios teóricos para el profesor investigador en enseñanza de las ciencias*. Porto Alegre, Brasil.
- Napal, M. F., & Ripa, M. I. Z. (2019). *STEM. La enseñanza de las ciencias en la actualidad*. Madrid: Dextra Editorial.
- Nurulsari, N., & Suyatna, A. (2017). Development of soft scaffolding strategy to improve student's creative thinking ability in physics. In *Journal of Physics: Conference Series*, 909, (1), 012053.
- Oner, A. T., Nite, S. B., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2016). From STEM to STEAM: Students' beliefs about the use of their creativity. *The STEAM Journal*, 2(2), 1-14.

- O'Quin, K., & Besemer, S. P. (2006). Using the creative product semantic scale as a metric for results-oriented business. *Creativity and Innovation Management*, 15(1), 34-44.
- Ortiz-Revilla, J., Sanz-Camarero, R., & Greca, I. M. (2021). Una mirada crítica a los modelos teóricos sobre educación STEAM integrada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 13-33.
- Ozkan, G., & Topsakal, U. U. (2017). Examining Students' Opinions about STEAM Activities. *Journal of Education and Training Studies*, 5(9), 115-123.
- Ozkan, G., & Umdu Topsakal, U. (2021). Exploring the effectiveness of STEAM design processes on middle school students' creativity. *International Journal of Technology and Design Education*, 31, 95-116.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Park, J. H., Niu, W., Cheng, L., & Allen, H. (2021). Fostering creativity and critical thinking in college: A cross-cultural investigation. *Frontiers in Psychology*, 12, 1-12.
- Pascale, P. (2005) ¿Dónde está la creatividad? Una aproximación al modelo de sistemas de Mihaly Csikszentmihalyi, *Arte, familia y sociedad*, 17, 61-84.
- Pérez, M., y Esper, L. B. (2005). Algunos problemas en la conceptualización de ondas mecánicas. *Enseñanza de las Ciencias, (Extra)*, 1-6.
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking skills and creativity*, 31, 31-43.
- Pifarre, M. (2019). Using interactive technologies to promote a dialogic space for creating collaboratively: A study in secondary education. *Thinking Skills and Creativity*, 32, 1-16.
- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Sociolinguistic Studies*, 3(1), 1-42.
- Piríz Giménez, N., López Larrama, M. N., & Tucci, J. (2023). *Enseñanza de las ciencias desde las Aulas Creativas*. ANEP CFE.
- Poincaré, H. (1912). *The foundations of science*. Nueva York, Science Press.
- Polmart, P., & Nuangchalem, P. (2023). Promoting Productive Thinking and Physics Learning Achievement of High School Students through STEAM Education. *Online Submission*, 3(1), 27-35.
- Pontes, A. (2005^a). Aplicaciones de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación en la educación científica. Primera parte: funciones y recursos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 2(1).
- Prahani, B. K., Suprpto, N., Rachmadiarti, F., Sholahuddin, A., Mahtari, S., & Siswanto, J. (2021). Online Scientific Creativity Learning (OSCL) in Science Education to Improve Students' Scientific Creativity in COVID-19 Pandemic. *Journal of Turkish Science Education*, 18, 77-90.

- Pulgar, J., & Spina, A. (2019). Problem Solving Processes and Group Effectiveness on a Creative Task: A case study in Physics Education. *EdArXiv Preprints*, 1-18.
- Rahmawati, Y., Utomo, E., & Mardiah, A. (2021). The integration of STEAM-project-based learning to train students critical thinking skills in science learning through electrical bell project. *Journal of Physics: Conference Series*, 2098 (1), 012040.
- Rendón Uribe, M. A. (2009). Creatividad y cerebro: bases neurológicas de la creatividad. *Aula*, 15, 117-135.
- Resnick, M. (2001). *Revolutionizing learning in the digital age*. In *The Internet and the university: 2001 forum*, 45-64.
- Romo, M. (1987). Treinta y cinco años del pensamiento divergente: teoría de la creatividad de Guilford. *Estudios de psicología*, 7(27-28), 175-192.
- Root-Bernstein, R. S. (1996). The sciences and arts share a common creative aesthetic. In R. Cohen (Ed.), *The elusive synthesis: Aesthetics and science* (pp. 49-82). Advisory Board.
- Rufaida, S., & Nurfadilah, N. (2021). The effectiveness of hypercontent module to improve creative thinking skills of prospective physics teachers. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1918 (2), 022022.
- Salmi, H., Thuneberg, H., Bogner, F. X., & Fenyvesi, K. (2021). Individual creativity and career choices of pre-teens in the context of a Math-Art learning event. *Open Education Studies*, 3(1), 147-156.
- Sanabria, J. C., & Arámburo-Lizárraga, J. (2017). Enhancing 21st century skills with AR: Using the gradual immersion method to develop collaborative creativity. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 487-501.
- Sánchez, E. (2019). La educación STEAM y la cultura «maker». *Padres y Maestros/Journal of Parents and Teachers*, (379), 45-51.
- Saorín, J. L., Melian-Díaz, D., Bonnet, A., Carrera, C. C., Meier, C., & De La Torre-Cantero, J. (2017). Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 188-198.
- Sarnita, F., Irawan, A., Prayogi, S., & Asy'ari, M. (2021). The effectiveness of guided inquiry learning tools in increasing students' activities and creative thinking skills. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1816 (1), 012102.
- Sarnita, F., Irawan, A., Prayogi, S., & Asy'ari, M. (2021). The effectiveness of guided inquiry learning tools in increasing students' activities and creative thinking skills. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1816, No. 1, p. 012102). IOP Publishing.
- Sawyer, R. K. (2003a). Introduction. In R. K. Sawyer (Ed.), *Creativity and development* (pp. 3–11). Oxford: Oxford University Press.
- Schrage, M. (1990). *Shared minds: The new technologies of collaboration*. New York: Random House.

- Shen, S., Wang, S., Qi, Y., Wang, Y., & Yan, X. (2021). Teacher suggestion feedback facilitates creativity of students in STEAM education. *Frontiers in Psychology*, 12.
- Sidek, R., Halim, L., Buang, N. A., & Arsad, N. M. (2020). Fostering scientific creativity in teaching and learning science in schools: A systematic review. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran IPA*, 6(1), 13-35.
- Sierra, D. H., Rojas, J. G., y García, Á. R. (2019). Implementando las metodologías STEAM y ABP en la enseñanza de la física mediante Arduino. *Memorias de Congresos UTP* (pp. 133-137).
- Siew, N. M., Chong, C. L., & Lee, B. N. (2015). Fostering fifth graders' scientific creativity through problem-based learning. *Journal of Baltic Science Education*, 14(5), 655.
- Simó, V., Couso, D., Simarro Rodríguez, C., Garrido Espeja, A., Grimalt-Álvaro, C., Hernández Rodríguez, M. I., y Pintó, R. (2017). El papel de las TIC en la enseñanza de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *Enseñanza de las Ciencias, (Extra)*, 691-698.
- Sousa, D. A. y Pilecki, T. (2018). *From STEM to STEAM: Brain-compatible strategies and lessons that integrate the arts*. Corwin Press.
- Stake, R. E. (1995), "The art of Case Study Research". Sage Publications: London.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos (5ª ed.)*. España: Ediciones Morata.
- Sternberg, R. J. (2009). The nature of creativity. *The Essential Sternberg: Essays on intelligence, psychology and education*, 103-118.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1995). Investing in creativity. *Psychological inquiry*, 4(3), 229-232.
- Stoelinga, S. R., Silk, Y., Reddy, P., & Rahman, N., (2015). *Final evaluation report: Turnaround arts initiative*. Washington, DC: President's Committee on the Arts and the Humanities.
- Stroud A., Baines L. (2019). Inquiry, Investigative Processes, Art, and Writing in STEAM. In M. Khine & Areepattamannil S. (eds), *STEAM Education*. Springer, Cham.
- Tan, W. L., Samsudin, M. A., Ismail, M. E., & Ahmad, N. J. (2020). Gender Differences In Students' Achievements In Learning Concepts Of Electricity Via Steam Integrated Approach Utilizing Scratch. *Problems of Education in the 21st Century*, 78(3), 423.
- Tan, W. L., Samsudin, M. A., Ismail, M. E., Ahmad, N. J., & Talib, C. A. (2021). Exploring the Effectiveness of STEAM Integrated Approach via Scratch on Computational Thinking. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(12), 2049.
- Taylor, P. C. (2016). *Why is a STEAM curriculum perspective crucial to the 21st century?* Murdoch University, Western Australia.

- Thuneberg, H. M., Salmi, H. S., & Bogner, F. X. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 153-160.
- Timotheou, S., & Loannou, A. (2021). Collective creativity in STEAM Making activities. *The Journal of Educational Research*, 114(2), 130-138.
- Torrance, E. P. (1962). *Guiding Creative Talent*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Torrance, E.P. (1966). *The Torrance Tests of Creative Thinking-Norms-Technical Manual Research*. Personnel Press: Princeton, USA.
- Torrecilla, F. J. S., & Ligorred, V. M. (2020). Arte contemporáneo y STEAM en la formación de maestros de educación primaria: Intersecciones arte y ciencia. *AusArt*, 8(1).
- Tran N. H., Huang, C. F., & Hung, J. F. (2021a) Exploring the Effectiveness of STEAM-Based Courses on Junior High School Students' Scientific Creativity. *Frontiers in Education*, 6(666792), 1-8.
- Tran, N. H., Huang, C. F., Hsiao, K. H., Lin, K. L., & Hung, J. F. (2021a). Investigation on the Influences of STEAM-Based Curriculum on Scientific Creativity of Elementary School Students. *In Frontiers in Education*, 341.
- Tran, N. H., Huang, C. F., Hsiao, K. H., Lin, K. L., & Hung, J. F. (2021b). Investigation on the Influences of STEAM-Based Curriculum on Scientific Creativity of Elementary School Students. *Frontiers in Education*, 6(694516), 1-8.
- Vasilachis de Gialdino, I. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Vygotsky, L. S. (1987). *The collected works of L.S. Vygotsky*, vol. 1 (R.W. Rieber & A.S. Carton, eds.). New York. Plenum Press.
- Vygotsky, L. S. (2004). Imagination & creativity in childhood. *Journal of Russian and East European Psychology*, 42(1), 7-97.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York, Harcourt Brace.
- Wandari, G. A., Wijaya, A. F. C., & Agustin, R. R. (2018). The Effect of STEAM-Based Learning on Students' Concept Mastery and Creativity in Learning Light and Optics. *Journal of Science Learning*, 2(1), 26-32.
- Wannapiroon, N., & Petsangsri, S. (2020). Effects of STEAMification Model in flipped classroom learning environment on creative thinking and creative innovation. *TEM Journal*, 9(4), 1647.
- Watts, M. (2001). Science and poetry: passion v. prescription in school science? *International Journal of Science Education*, 23(2), 197-208.
- Weisberg, R. W. (2006). Modes of expertise in creative thinking: Evidence from case studies. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 761-787). New York, NY: Cambridge University Press.

- Welti, R. (2002). Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(2), 261-270.
- Weng, X., Ng, O. L., Cui, Z., & Leung, S. (2022). Creativity development with problem-based digital making and block-based programming for science, technology, engineering, arts, and mathematics learning in middle school contexts. *Journal of Educational Computing Research*, 61(2), 1-25.
- Wilson, H. E., Song, H., Johnson, J., Presley, L., & Olson, K. (2021). Effects of transdisciplinary STEAM lessons on student critical and creative thinking. *The Journal of Educational Research*, 114(5), 445-457.
- Wittmann, M., Steinberg, R. y Redish, E. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves, *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.
- Wong, E. D., Pugh, K. J., & The Deweyan Ideas Group at Michigan State University. (2001). Learning science: A Deweyan perspective. *The Journal of Research in Science Teaching*, 38, 317-336.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the 216orean Association for Science Education*, 32(6), 1072-1086.
- Yazan, B. (2015). Three approaches to case study methods in education: Yin, Merriam, and Stake. *The qualitative report*, 20(2), 134-152.
- York, P., Zhang, S., Yang, M., & Muthukumar, V. (2022). Crochet: Engaging Secondary School Girls in Art for STEAM's Sake. *Science Education International*, 33(4), 392-399.
- Zamorano, T., Cartagena, Y. G., & González, D. R. (2018). Educación para el sujeto del siglo XXI: principales características del enfoque STEAM desde la mirada educacional. *Contextos: estudios de humanidades y ciencias sociales*, (41), 1-21.
- Zapata, M. (2012). *Recursos educativos digitales: conceptos básicos*. Recuperado el 25 de junio de 2020.
- Zhan, Z., Yao, X., & Li, T. (2022). Effects of association interventions on students' creative thinking, aptitude, empathy, and design scheme in a STEAM course: considering remote and close association. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-23.

9. Anexos

1 Actividad: Diagnóstico.

Proyecto: Ciencia Creativa: aproximaciones desde una perspectiva sociocultural en el marco de la educación STEAM.

De antemano, te agradecemos por participar de la investigación, tu aporte es muy importante para el desarrollo de este trabajo. A continuación, encontrarás situaciones asociadas a fenómenos ondulatorios, así como preguntas y actividades relacionadas con dichos fenómenos.

▪ Nombre: _____

➤ Lee con atención las siguientes situaciones:

- Se lanza una pequeña piedra en un lago y posteriormente se observan algunos anillos que van desde el lugar del impacto hasta la orilla.
- La masa de agua que salió hace algunos días del nacimiento de una montaña, ahora fluye a través de un gran río.

¿Qué diferencias y semejanzas identificas entre los fenómenos presentados en las dos situaciones anteriores?

Semejanzas	Diferencias

Representa mediante un dibujo las semejanzas y/o diferencias que crees que hay entre ambas situaciones.

- Imagina que alguien se encuentra a algunos metros de ti tocando un tambor. Explica desde el punto de vista físico cómo crees que el sonido hace para llegar desde el instrumento hasta tus oídos.
- Representa mediante un dibujo, lo que crees que sucede en este fenómeno desde el punto de vista físico.

➤ **Organizador gráfico**

Utiliza los siguientes términos para elaborar un mapa conceptual o mental mostrando las relaciones entre los conceptos. Puedes incluir otros conceptos que consideres relevantes sobre la temática.

- Longitud de onda
- Frecuencia
- Tono
- Oscilación
- Periodo
- Onda
- Velocidad del sonido
- Energía
- Movimiento
- Presión

➤ **Trabajo experimental**

Esta actividad se debe realizar en parejas o en tríos. No obstante, deben responder a las preguntas y realizar la representación gráfica de manera individual.

Descripción de la actividad: tienen a su disposición pitillos y tijeras. Realicen un corte en “V” en uno de los extremos del pitillo. Luego soplen a través del extremo en el cual hicieron el corte y a medida que soplan vayan cortando pequeñas partes del pitillo por el otro extremo. Desde el punto de vista físico ¿Qué crees que sucede en el fenómeno?

Representa mediante un dibujo, una gráfica, un mapa o cualquier otro tipo de esquema, lo que crees que sucede en este fenómeno desde el punto de vista físico.

2 Actividad: interactuando con una simulación sobre ondas sonoras

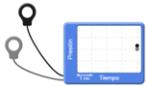
Proyecto: Ciencia Creativa: aproximaciones desde una perspectiva sociocultural en el marco de la educación STEAM.

Interactuando con una simulación sobre las características del sonido

Objetivo: Caracterizar el sonido desde el punto de vista físico a partir de la interacción con una simulación.

1. Construyan un cuadro comparativo en el que establezcan mínimo tres semejanzas y tres diferencias entre las ondas generadas en el agua y en el aire.
2. En la pestaña de “sonido” varíe la frecuencia e identifique lo que sucede con la tonalidad ¿Es una relación directa o inversamente proporcional? ¿por qué?
3. Asignen una frecuencia determinada, active la opción de onda y partícula. Posteriormente observe el movimiento que realizan las partículas. Tome un pantallazo y señale con algún distintivo las zonas de mayor y menor presión.

Puede ayudarse del medidor que detecta los cambios de presión respecto al tiempo.



4. Con la función partícula y onda activada, indique diferentes frecuencias y describa la forma en que varía el movimiento de las partículas ¿a qué crees que se debe esto?
5. Interactúe libremente con la simulación para identificar otros aspectos asociados a las propiedades del sonido. Describan las observaciones realizadas.
6. Planteen tres o más conclusiones a partir de las observaciones y ejercicios realizados con la simulación.

3 Consentimiento informado

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>Proyecto de investigación</p> <p><i>Creatividad Científica: aproximaciones desde una perspectiva sociocultural en el marco de la educación STEAM</i></p>
<p>FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIONES</p>	
<p>Lugar y fecha:</p>	
<p>Yo _____, identificado(a) con el número de cédula que aparece al pie de mi firma, actuando en calidad de acudiente: (padre_____, madre_____ u otro cuidador/a_____, por favor especifique cuál_____) de el/la adolescente:_____, concedo mi autorización para que participe en el proceso de recolección de información que se realizará por medio de entrevistas, grupos de discusión, conversaciones grupales y en otras actividades como talleres y encuentros de socialización, desde la investigación “<i>Ciencia Creativa: aproximaciones desde una perspectiva sociocultural en el marco de la educación STEAM</i>”, la cual tiene como objetivo “Analizar el desarrollo de la creatividad científica y el proceso de aprendizaje en física desde una perspectiva sociocultural vygotskiana, a partir de una propuesta de enseñanza enmarcada en la educación STEAM” y es llevada a cabo por Jhon Daniel Pabón Rúa en el marco del programa de Doctorado en Educación, de la Universidad de Antioquia.</p> <p>Tengo claro que no recibiremos ningún tipo de beneficio económico por la participación en el proceso de recolección de información.</p> <p>Uso de la información proporcionada por los participantes: Entendemos como imperativo y deber, hacer uso adecuado y discrecional de la información recolectada en el marco de esta investigación, con el único fin de lograr los objetivos del trabajo en cuestión. Las personas que hagan parte del presente estudio se comprometen a mantener absoluta confidencialidad respecto a las declaraciones de las demás personas con quienes interactúen en la discusión grupal.</p> <p>Cabe resaltar que se preservará la identidad de los participantes a través de seudónimos y no se realizará ningún tipo de divulgación de la información recolectada que ponga en evidencia la identidad de los participantes. La información producida será salvaguardada en medios físicos y electrónicos, y en este proceso, se cumplirá la norma colombiana al respecto (Decreto 1377 de 2013). Dichas producciones serán usadas solo con fines académicos e investigativos evitando sesgos y juicios de valor que afecten a los participantes. La información recolectada será archivada en formato digital en los computadores de los investigadores del proyecto, y será utilizada para los fines propuestos en esta investigación. Tampoco será vendida o cedida a terceras personas o entidades.</p>	

La participación es estrictamente voluntaria; en este sentido, el participante tiene derecho a negarse a participar o a suspender y dejar inconclusa su participación cuando así lo desee, sin tener que dar explicaciones ni sufrir consecuencia alguna por tal decisión.
Gracias por su atención y colaboración.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad de manera libre y espontánea.

Nombre	
Firma	
Cédula No	

4Asentimiento informado



Proyecto de investigación

Creatividad Científica: aproximaciones desde una perspectiva sociocultural en el marco de la educación STEAM

FORMATO DE ASENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN DE NIÑOS, NIÑAS Y JÓVENES EN INVESTIGACIONES

Lugar y fecha:

Estamos llevando a cabo una investigación que se llama *“Ciencia Creativa: aproximaciones desde una perspectiva sociocultural en el marco de la educación STEAM”* cuyo objetivo es “Analizar el desarrollo de la creatividad científica y el proceso de aprendizaje en física desde una perspectiva sociocultural vygotskiana, a partir de una propuesta de enseñanza enmarcada en la educación STEAM” y queremos invitarte a participar de manera voluntaria en esta investigación y que, en caso de aceptar nuestra invitación, te vincules a distintas actividades como grupos de discusión, conversaciones grupales, talleres, encuentros de socialización y entrevistas, las cuales se realizaran de manera concertada contigo y los demás integrantes. Además, es importante señalar que contaremos con la autorización de tu papá, mamá o de otra persona que actúe en calidad de acudiente o representante legal a tu nombre. Pero que, pese a contar con esta autorización, siempre podrás decidir si deseas participar o no, o en qué momento deseas retirarte de la investigación. También es importante que sepas que puedes responder o no a las preguntas que te hagamos sobre cualquier tema en particular, así mismo que toda la información que nos proporciones será confidencial y que tu nombre no será revelado en ningún momento.

Si aceptas participar, te pedimos que por favor pongas una (✓) en el cuadrado de abajo que dice “Sí quiero participar” y que escribas tu nombre y número de tarjeta de identidad.

Sí quiero participar

Nombre: _____

Nombre, firma y cédula de la persona que obtiene el asentimiento:
