



MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE EDUCACIÓN
SECUNDARIA OBLIGATORIA, BACHILLERATO, FORMACIÓN
PROFESIONAL Y ENSEÑANZA DE IDIOMAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2024-2025

**DESARROLLO DE LA COMPETENCIA STEM A
TRAVÉS DE LA MÚSICA EN EDUCACIÓN
SECUNDARIA**

**DEVELOPING STEM COMPETENCE THROUGH
MUSIC IN SECONDARY EDUCATION**

MÚSICA

PASTOR MARAZUELA, Jimena

Convocatoria: junio

Tutora: Arantza Campollo Urkiza

DECLARACIÓN RESPONSABLE SOBRE LA AUTORÍA Y USO ÉTICO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Departamento de Didáctica de las Lenguas, Artes y Educación Física Dña. Jimena Pastor Marazuela, estudiante del Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas en la Facultad de Educación - CFP de la Universidad Complutense de Madrid en el curso 2024-2025, como autora del trabajo fin de máster titulado Desarrollo de la competencia STEM a través de la música en Educación Secundaria, Developing STEM competence through music in Secondary Education y presentado para la obtención del título correspondiente, cuyo tutora es: Arantza Campollo Urkiza

DECLARO QUE:

El trabajo Fin de Máster que presento está elaborado y redactado por mí, es original y no se han utilizado herramientas generativas de texto a través de la Inteligencia Artificial. No copio, ni utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones de cualquier obra, artículo, memoria, o documento (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en las referencias bibliográficas. Así mismo declaro que los datos son veraces y que no he hecho uso de información no autorizada de cualquier fuente escrita de otra persona u otra fuente.

De igual manera, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estas directrices es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Madrid, a 30 de mayo de 2025

Fdo: Jimena PASTOR MARAZUELA

Contenido

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Competencias clave, una aproximación al término.....	6
2.2 Las competencias en las leyes de educación españolas.....	8
2.3 Evaluación de competencias.....	12
2.4 Interdisciplinariedad a través de la música	13
2.5 Música y matemáticas.....	16
3. OBJETIVOS.....	18
4. METODOLOGÍA	19
4.1 Materiales didácticos de la propuesta didáctica	22
4.2 Secuencia de la propuesta pedagógica.....	29
5. RESULTADOS.....	31
6. DISCUSIÓN	36
7. CONCLUSIÓN	37
7.1 Relación de los resultados con la profesión docente.....	38
7.2 Limitaciones del estudio	40
7.3 Futuras líneas de actuación	40
8. BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS.....	51

RESUMEN

La legislación educativa vigente en España (LOMLOE, 2020) organiza los contenidos del currículo en torno a competencias clave, destacando la transversalidad y la interconexión entre áreas de conocimiento. En este contexto, y considerando la naturaleza pluridisciplinar de la música, este estudio explora su potencial como nexo para la transferencia de aprendizajes hacia otras competencias clave, centrándose en la competencia en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, STEM.

El estudio se desarrolla en un centro público de la Comunidad de Madrid, con un grupo de estudiantes de 4º de ESO. La investigación adopta un enfoque de estudio de caso, utilizando un diseño cuantitativo. Se diseña para ello un programa de actividades musicales vinculadas a contenidos matemáticos propios de ese curso, como la geometría, la proporcionalidad y el razonamiento espacial, con el objetivo de evaluar el impacto de estas actividades en el desarrollo de la competencia matemática. La propuesta de actividades implementada a lo largo de varias sesiones y fundamentada en metodologías activas, se llevó a cabo en coordinación con los departamentos de Música y Matemáticas. Para valorar su pertinencia se utilizaron instrumentos cualitativos, teniendo en cuenta las percepciones de profesorado y alumnado, para posteriormente analizarlo y extraer conclusiones. Las evidencias del estudio, pese a las limitaciones, sugieren resultados positivos en la eficacia del uso de la música para la transferencia de conocimientos matemáticos, destacando igualmente el aumento de la motivación del alumnado y la autopercepción de utilidad de la asignatura, ofreciendo así nuevos puntos de vista pedagógicos desde un enfoque interdisciplinar.

PALABRAS CLAVE: competencias clave, educación secundaria, enseñanzas musicales, matemáticas.

ABSTRACT

The current educational legislation in Spain (LOMLOE 2020) organizes the curriculum contents around a set of key competences, highlighting transversality and interconnection between knowledge areas. Against this backdrop, and given music's inherently multidisciplinary nature, the present study explores its potential as a bridge for the transfer of learning to other key competences, focusing on the competence in science, technology, engineering and mathematics, STEM.

The research is carried out in a public school in the Community of Madrid, with a group of students in the 4th year of ESO. Adopting a case study approach and a quantitative design, the project introduces a program of musical activities linked to mathematical contents of that course, such as geometry, proportionality and spatial reasoning. It is designed to evaluate the impact of these activities on the development of mathematical competence. The intervention, delivered over several sessions and grounded in active methodologies, was implemented in coordination with the Music and Mathematics departments. Impact was assessed with qualitative instruments that captured both teachers' and students' perceptions and were later analysed to draw conclusions. Although the study has evident limitations, the evidence points to positive suggests positive results in the effectiveness of the use of music for the transfer of mathematical knowledge, also highlighting the increase in student motivation and self-perception of the usefulness of the subject, thus offering new pedagogical points of view from an interdisciplinary approach.

KEY WORDS: key competences, secondary education, music education, mathematics.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La educación española actual centra su práctica pedagógica en la adquisición de las competencias clave que se deben obtener durante la educación obligatoria para facilitar el desarrollo integral del alumnado (Jacobs, 2013). Este punto de vista ha orientado el currículo hacia una perspectiva más interdisciplinar, permitiendo que los contenidos se enseñen y aprendan desde múltiples contextos. Esta aproximación fomenta la interconexión entre distintas áreas y disciplinas, facilitando la adquisición de conocimientos de forma más significativa.

La música, como ámbito educativo, puede desempeñar un papel crucial en la transferencia e interacción de contenidos entre diversas asignaturas (Jaschke et al., 2018). Se convierte, así, en una herramienta útil para desarrollar competencias de manera transversal o interdisciplinar. Relacionar diferentes materias no solo favorece el aprendizaje integral, sino que también permite al alumnado comprender los temas desde distintos puntos de vista.

Desde este marco, el presente estudio plantea analizar la implementación de una intervención didáctico-musical con un enfoque interdisciplinar para promover el desarrollo de la competencia clave STEM. El objetivo es pasar de un enfoque meramente teórico a una aplicación práctica que permita demostrar el impacto de este tipo de intervención en el aprendizaje del alumnado.

El contexto educativo seleccionado para esta investigación es un centro público de la cuenca del Guadarrama. Este centro presenta características especialmente favorables para el desarrollo del proyecto, ya que combina las enseñanzas obligatorias con los estudios de conservatorio desde tercero de primaria hasta segundo de bachillerato. Este enfoque curricular otorga a la música un papel central en el aprendizaje, con una carga horaria mayor que la que ofrece el currículo ordinario. Además, la elevada carga lectiva de los estudiantes convierte la interdisciplinaridad en una estrategia clave para facilitar la integración y comprensión de los contenidos, permitiendo al alumnado avanzar simultáneamente en múltiples áreas.

Aunque resulta interesante explorar la transversalidad entre las competencias clave y la música en su conjunto, este estudio se centrará específicamente en un curso, 4º de la ESO, y en una única competencia clave: STEM desde las matemáticas. La elección de esta competencia se fundamenta en las limitaciones de tiempo, ya que la intervención se llevará a cabo durante un solo trimestre y con el curso ya iniciado. Además, los resultados de las pruebas de nivel censales realizadas en 2024 en el centro, revelaron que las matemáticas presentaron la media más baja y el mayor número de suspensos entre todas las asignaturas de 4º de la ESO, lo que subraya la necesidad de intervenir en este ámbito.

El proyecto aborda el diseño de una serie de actividades y tareas musicales para poder trabajar ámbitos como geometría, espacialidad y proporciones. Estas son competencias las cuales forman parte del currículo que debe adquirirse en este curso, según lo establecido en el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo y el Decreto 65/2022, de 20 de julio de la Comunidad de Madrid, por el que se establecen la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria.

La relación entre la música y otras áreas del conocimiento, como las matemáticas, ha sido objeto de estudio desde la época de Pitágoras, convirtiéndose en un tema recurrente en numerosas investigaciones (Abdounur, 2009). Si nos centramos exclusivamente en las publicaciones relacionadas con la aplicación de esta combinación en lo que se refiere a la educación, el número de publicaciones se reduce significativamente. Un análisis destacado es el de la doctora Ayça (2023), cuyo metaanálisis analizó la interacción práctica entre matemáticas y música desde la etapa de educación infantil hasta la universitaria. Sus hallazgos identificaron tres tipos principales de intervenciones: musicales principales (clases de música donde se canta, escucha y se compone), las intervenciones musicales instrumentales (donde se toca un instrumento) e intervenciones de música en las clases de matemáticas. Los resultados muestran que cualquier intervención musical tiene un efecto positivo en los resultados de los resultados académicos de matemáticas, siendo las clases integradas las que tienen mayor efecto con un 73% de alumnos que mejoran significativamente en sus calificaciones.

Otros estudios han explorado los efectos de estas prácticas, aunque suelen basarse en muestras más reducidas. Por ejemplo, investigaciones como las de An et al. (2013) y Silva y Santos (2017) se han centrado mayoritariamente en la educación primaria. En el caso de la educación secundaria, los estudios son más escasos y, por lo general, se han realizado en contextos extranjeros. Un caso relevante para el estudio del centro de la investigación, es el del Saint Anne High School en Copenhague, ya que es un centro que también combina estudios de secundaria con música (Henrik Reeh, 2017). En España, existe únicamente un estudio similar, aplicado en un colegio de primaria integrado (Gelabert Gual, 2023). En todas estas investigaciones, independientemente del contexto o tipo de intervención, se señala que la integración de música y matemáticas contribuye a mejorar la cognición numérica, convirtiéndose en una herramienta eficaz para el apoyo y la rehabilitación de estudiantes con bajo rendimiento en matemáticas (Silva & Santos, 2017).

Por ello, un estudio en el centro seleccionado resulta especialmente interesante, dado que no se ha llevado a cabo previamente ninguna investigación de carácter educativo sobre el mismo, ni sobre otros centros de secundaria españoles con características similares. Este estudio permitirá conocer y analizar si los planteamientos didácticos propuestos contribuyen a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la competencia clave matemática. Los resultados obtenidos podrán ofrecer una base para que los centros educativos españoles reflexionen sobre la mejora de sus métodos pedagógicos y sobre cómo optimizar los niveles de logro en las competencias curriculares, fomentando así prácticas educativas interdisciplinares, con un punto de vista más innovador y efectivo.

2. MARCO TEÓRICO

Actualmente y según la legislación vigente, el currículo español está centrado en el enfoque competencial. No es un término nuevo ya que hace algo más de medio siglo que el término irrumpió en el vocabulario pedagógico. Investigadores como Noam Chomsky o Jean Piaget sembraron las bases conceptuales que, con el tiempo, evolucionarían en un enfoque educativo centrado en la adquisición de

saberes, destrezas y actitudes aplicables a la resolución de problemas reales (Organista, 2007). El objetivo principal de este enfoque es el de adquirir saberes para poder desenvolverse en el contexto social actual, pudiendo resolver problemas de la vida eficientemente.

El hecho de ser un concepto con gran importancia en la educación ha llevado a los investigadores a querer definir la palabra y comprender la razón por la que se hace su uso en la educación. Algunos sugieren que se introduce por su similitud con el uso de la palabra en el mundo económico y empresarial, destacando además destaca además la dimensión axiológica que se adquiere al trasladarse al terreno educativo (Bolívar & Sarramona, 2015; Hernández-Bravo et al., 2014). Otra perspectiva entiende la competencia como una herramienta que permite desenvolverse en diferentes ámbitos de la vida que requieran habilidades y destrezas (Ardila Higuera, 2024; Moya & Luengo, 2010; Zabala, 2011), se basa entonces en el saber hacer, pertenecientes también de la teoría de la experiencia y la propuesta pedagógica de Dewey de 1997, para quien aprender significa actuar y reflexionar sobre la acción (Ruiz, 2013). En coherencia con ese planteamiento, la Declaración de Incheon y el marco de acción Educación 2030 de la UNESCO insisten en que las competencias deben *capacitar al alumnado para afrontar los desafíos complejos del siglo XXI* (UNESCO, 2016).

2.1 Competencias clave, una aproximación al término

La UNESCO, consciente de la pluralidad de acepciones, ha abierto un debate en torno a su aplicación educativa (Aguerrondo, 2009). La Real Academia Española por su parte recoge dos grandes definiciones: rivalidad y capacidad. Esta última alude a la aptitud o idoneidad para realizar una tarea o intervenir en un asunto. Asimismo, se habla de incumbencia u obligación, lo que sugiere una doble dimensión en el concepto (RAE, 2025). El Boletín Oficial del Estado, BOE, no define el término de forma aislada, sino que distingue entre competencias clave y específicas (Real Decreto 217/2022). Las primeras se consideran desempeños imprescindibles para el progreso académico y personal del

alumnado, mientras que las segundas se vinculan a los saberes básicos de cada área para realizar actividades concretas, en coherencia con la Recomendación europea 2018/C189/01. Pese a la diversidad de enfoques, existe consenso en que las competencias no son sinónimo de habilidad, sino de conocimientos, destrezas y actitudes, incluyendo en ocasiones valores cívicos, considerando entonces el carácter formador.

Históricamente, la noción de competencias se remonta a los años setenta, cuando comenzó a perfilarse una pedagogía de objetivos que situaba el aprendizaje bajo control del alumnado, aunque tardó en llegar a las aulas. El punto de inflexión se produjo en 1997 con el lanzamiento del informe PISA (Jiménez et al., 2023) impulsado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos, para evaluar el estado del alumnado al finalizar la enseñanza obligatoria (OCDE, 2003). Estas encuestas debían ser igualitarias en todos los países que se fuesen a realizar, permitiendo evaluar saberes de diferentes ámbitos de la manera más similar posible. Para marcar los ámbitos y la forma de analizar estas competencias, se desarrolló entonces el proyecto Definición y Selección de Competencias, DeSeCo. La red Eurydice acuña en ese momento la expresión competencias clave para referirse a aquellas necesarias y beneficiosas para toda la ciudadanía (Eurydice, 2002), mediante el informe se dictamina entonces que solamente unas competencias son las que se deben medir, siendo *considerada* “‘clave’, ‘nuclear’, ‘esencial’ o ‘básica’, debe ser necesaria y beneficiosa para todas las personas y para la sociedad en su conjunto” (Eurydice, 2002, p. 14).

El resumen ejecutivo del proyecto DeSeCo precisó tres macrocompetencias, que se convirtieron en referencia internacional para los sistemas de evaluación y los marcos curriculares. Pocos meses más tarde, la Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo y del consejo formalizó ocho competencias clave para el aprendizaje permanente, instando a los estados miembros a incorporarlas a sus políticas educativas (Official Journal of the European Union, 2006). Paralelamente, el proyecto Tuning concretó el concepto en la educación superior (Bolívar, 2010). De este modo, el término competencia pasa a formar progresivamente parte esencial de los sistemas educativos de la Unión Europea.

Doce años después, la Recomendación 2018/C189/01 actualizó el marco determinando como ejes transversales la ciudadanía global, la creatividad y la sostenibilidad.

En base a las orientaciones de la UNESCO, las competencias europeas persiguen tres grandes ejes: la interiorización de valores basados en los derechos humanos, la participación activa del alumnado en su propio aprendizaje y la capacidad de actuar ante situaciones complejas (UNESCO, 2015). Este planteamiento, recogido también en el Marco de Acción Educación 2030 y el informe Replantear la educación, desplaza el énfasis desde la mera transmisión de contenidos hacia la formación de ciudadanos críticos y responsables (UNESCO, 2016). Los objetivos competenciales se convierten en los fundamentos de la pedagogía, donde el alumnado debe comprender lo que se espera de él, planificar estrategias, ponerlas en práctica y revisar lo aprendido (UNESCO, 2017). La diferencia con la enseñanza que se centra en la exposición magistral del profesor, radica en que ahora el conocimiento se concibe como algo que se construye y se aplica, no solo como un repertorio que se memoriza.

En este contexto, la competencia se convierte en el eje central de los currículos europeos, buscando una cierta armonización que facilite la movilidad y el reconocimiento de aprendizajes, pero sin renunciar a la singularidad cultural de cada país (Consejo de la Unión Europea, 2018). Los análisis comparados muestran que los sistemas más avanzados combinan un marco común de competencias con adaptaciones locales que dialogan con su patrimonio, sus lenguas y sus prioridades socioeconómicas (Centro Europeo para el Desarrollo de la Formación Profesional [CEDEFOP], 2020). Como sintetizan Jiménez et al. (2023), la clave ya no está en uniformar contenidos, sino en acordar los desempeños esenciales que habilitan a cualquier ciudadano europeo para aprender a lo largo de la vida y convivir en sociedades democráticas.

2.2 Las competencias en las leyes de educación españolas

Desde la introducción en el sistema europeo, la evolución legislativa en España ha ido reflejando también este cambio de paradigma. La primera vez que se

incluye en la ley el concepto de competencia, es en el año 2006 con la Ley Orgánica 2/2006 (LOE), concretamente con el término de competencias básicas nombradas en un anexo. Con la Ley Orgánica 8/2013 (LOMCE) se renombra con competencias clave, apareciendo en el principio y desarrollándolas. Este cambio de terminología se hace para evitar caer en la malinterpretación del adjetivo “básico”, pudiendo ser considerado como competencias mínimas a obtener en las enseñanzas obligatorias (Campollo-Urkiza, 2019). Manso y Valle (2013) consideran que la ley con la palabra “clave” pretende dar un matiz de continuidad en el aprendizaje, sin mostrar un límite, mientras que Díaz Barriga (2010) resalta que se incluyen por las recomendaciones de la Unión Europea del 2006 y que posteriormente se materializó por medio de los currículums y aplicaciones en las aulas de los centros educativos y docentes. Esto último cobra sentido desde un punto de vista realista, puesto que el hecho de formar parte de la ley no supone que inmediatamente se aplique en el aula.

Con la entrada en vigor de la LOMLOE (2020), las competencias se sitúan en el núcleo del currículo. El perfil de salida explicita los logros que el alumnado debe alcanzar al final cada etapa obligatoria, de este modo, las competencias informan la programación, la práctica docente y la evaluación, alineando el sistema educativo español con los principios europeos. Estas competencias se tienen que tratar desde todas las áreas para poder asegurar su asimilación, ayudando así a su aplicación en diferentes situaciones reales. Este enfoque refuerza el sentido de trabajar desde diferentes materias conjuntamente para poder realizar proyectos que recojan mayor número de puntos de vista. De este modo se enriquece la manera de tratar un proyecto y por lo tanto la asimilación. Zabala y Arnau (2014) consideran que verlo de manera interdisciplinar permite así una educación integral para reforzar el pensamiento crítico y trabajo en equipo. En la propia ley vigente, desde un principio resalta la importancia de la transversalidad como medio para adquirir los conocimientos, igualando la importancia de todas las materias. Además, todas las áreas tienen que colaborar con todas las competencias clave.

Actualmente la ley de educación española recoge todas las competencias clave pertenecientes a las etapas educativas. Son la competencia en comunicación

lingüística (CCL), plurilingüe (CP), matemática y en ciencia, tecnología e ingeniería (STEM), digital (CD), personal, social y de aprender a aprender (CPSAA), ciudadana (CC), emprendedora (CE) y en conciencia y expresión culturales (CCEC). La elección de los ámbitos se fundamenta en la Recomendación del Consejo de la Unión Europea, lo que permite unificar la educación de los diferentes estados miembros. El Real Decreto 217/2022 subraya que estas competencias constituyen el referente último de la evaluación, de modo que todas las materias han de contribuir a su desarrollo. Para operativizarlas, los decretos incluyen descriptores operativos, enunciados que concretan las manifestaciones observables de cada competencia al finalizar la enseñanza obligatoria, lo que facilita concretar objetivos reales (BOE, 2022).

Junto a las competencias clave, cada asignatura formula sus competencias específicas, cuyo número varía según la materia. Estas declaran qué sabe hacer el alumnado dentro del campo disciplinar y se enlazan directamente con los criterios de evaluación. Tal como señalan Beltrán-Pellicer y Alsina (2022), las competencias específicas dialogan entre sí y con las competencias clave, construyendo un tejido competencial que solo se entiende de forma integrada. Además, la ley incluye criterios de evaluación de la materia como referentes para medir el nivel que se ha adquirido de las competencias específicas, dividiéndose en dos bloques, unas de primero a tercero, orientados al aprendizaje progresivo y otras solamente de cuarto, centrados en la aplicación avanzada y la autonomía personal. Esta gradación permite ajustar la evaluación al ritmo evolutivo del alumnado, manteniendo los mismos descriptores operativos como horizonte de logro (RD 217/2022, art. 25). En el BOE (2020) se especifica que éstas sirven como conexión entre el perfil de salida del alumnado y los saberes básicos de las asignaturas, así cada resultado debe vincularse a uno o varios descriptores operativos, justificarse con contenidos concretos y evaluarse mediante criterios graduados.

Para este trabajo nos centraremos en la competencia STEM, la que tiene como objetivo el uso de métodos científicos a través de conocimientos matemáticos, tecnológicos y científicos y CCEC, asociada estrechamente a la asignatura de música por su carácter creativo, artístico y de conciencia sobre manifestaciones

culturales. Recurriendo a competencias específicas tanto de matemáticas como de música.

A continuación, se muestran las competencias mencionadas junto un breve resumen de su descriptor operativo:

Tabla 1

Competencias clave STEM y CCEC.

STEM:	STEM 1: Razonamiento y resolución de problemas	STEM 2: Pensamiento científico
	STEM 3: Diseño y elaboración de proyectos tecnológicos	STEM 4: Comunicación científica y matemática
	STEM 5: Acción ética y sostenible	
CCEC:	CCEC1: Patrimonio y diversidad	CCEC2: Análisis crítico de las manifestaciones culturales
	CCEC3: Expresión creativa y emocional	CCEC4: Creación y emprendimiento cultural

El recorrido normativo desde la LOE de 2006 hasta la actual LOMLOE, consolida una idea de competencia que trasciende la mera acumulación de contenidos y descansa sobre tres pilares que se complementan: saber, saber ser y saber hacer. El primero remite al dominio de los conceptos y de los lenguajes propios de cada campo de conocimiento. El saber hacer alude a la capacidad de aplicar esos conceptos para resolver tareas y problemas concretos, relacionado con poner en práctica las destrezas. Por último, el saber ser se refiere a actitudes y valores que orientan la acción a realizar, vinculado por lo tanto a la parte emocional y social. Al entender estos tres ámbitos de forma integrada para definir las competencias, las leyes españolas se alinean con la tendencia europea de

entender la educación, no limitándose a una relación bidireccional entre profesor y alumnado de impartir conocimientos, sino de dar herramientas necesarias para aprender a lo largo de la vida.

2.3 Evaluación de competencias

Siguiendo el marco de la LOMLOE y sus Reales decretos de currículo (217/2022), se establece que la evaluación debe ser continua, formativa e integradora y que los referentes últimos, desde todas las materias, tiene que ser el grado de adquisición de las competencias clave (BOE, 2022). Frente a esta exigencia, el profesorado necesita adoptar un sistema de evaluación orientado a ello, garantizando la coherencia pedagógica del currículo y considerando todas las asignaturas de igual valor para considerar el grado de desempeño de cada competencia clave.

Para ello, se valoran las experiencias de aprendizaje relevantes y significativas, con cierto grado de verosimilitud, porque solo así se comprueba la capacidad real de transferir problemas de la vida cotidiana (UNESCO, 2016). De ahí que las tareas de evaluación deban emular situaciones reales como proyectos de diseño, retos sociales o productos artísticos y no limitarse a pruebas cerradas. Este enfoque, que hoy respalda también la OCDE en sus directrices sobre *student assessment* (2023), desplaza el foco de la calificación en base a lo sabido, hacia la comprensión de cómo se aprende y la ayuda necesaria para progresar. El rol del profesor se muestra como guía, y ya no está en el centro evaluar puros conocimientos, poniendo como mediador entre objetivos y alumnado, carácter activo. Conforme a ello, en el momento en el que en un mismo proceso se involucran varios profesores, permite recoger información desde distintos posicionamientos. El contexto de cada materia para tratar una misma competencia, permite a cada área disciplinar aportar evidencias específicas, aportando también múltiples fuentes de información y retroalimentación continua. Este enfoque permite desligarse de la tendencia de calificar exclusivamente contenidos, a favor de evaluar el proceso y la transferencia y adquisición real de competencias (Pitarch, 2023).

Partiendo de estas ideas, la colaboración entre departamentos converge para hacer la experiencia del alumno más enriquecedora y con sentido, luchando contra la parcelación real que existe, tratando los bloques de contenidos de manera estanca (Hernández-Bravo et al., 2014) lo que lleva a dar prioridad a las competencias específicas de la materia, así como guiarse de los criterios de evaluación asociados a ellas.

Se entiende por lo tanto que evaluar por competencias no se limita a medir el grado de conocimientos teóricos o prácticos sobre un temario, sino un motor de mejora para el alumnado. La evaluación desde el punto de vista de la ley, orienta así hacia los siguientes pasos, por lo que la comunicación entre el claustro y poder evaluar un ámbito desde diferentes puntos supone enriquecer la formación y poder aportar al alumnado herramientas que puedan aplicar con mayor facilidad en la vida cotidiana.

2.4 Interdisciplinariedad a través de la música

La integración disciplinar es una respuesta a las demandas de un currículo por competencias que persigue aprendizajes transferibles y contextualizados. Desde los primeros modelos de los años 90, donde se consideraba la integración curricular como la yuxtaposición temática o la fusión total de las materias (Fogarty, 1991; Jacobs, 1989), hasta las estrategias más recientes de sincronización de estándares y resultados (Rodrigo et al., 2019), la literatura coincide en que un enfoque interdisciplinar favorece la coherencia interna del currículo y la motivación del alumnado. En España, la LOMLOE insiste en el carácter transversal para adquirir las competencias clave y emplaza a todas las asignaturas a cooperar para su desarrollo. Esto cobra especial sentido cuando se vinculan áreas tradicionalmente percibidas como opuestas, como pueden ser arte y ciencia.

La música por su naturaleza es un área que permite asociarse a muchos ámbitos. La neurociencia ha demostrado que la práctica musical estimula redes cerebrales relacionadas con el razonamiento numérico y la memoria de trabajo

(Zuk et al., 2014, Perlovsky, 2010). Ello explica la transferencia positiva observada entre ambas áreas. Por su parte, investigadores de psicología (Rickard et al., 2012) y pedagogía (Campollo-Urkiza, 2019; Cárdenas et al., 2017) evidencian cómo científicamente, a partir de la práctica, la música ayuda a adquirir desempeños, habilidades específicas y desarrollar mejor otras áreas curriculares, incluyendo incluso sin haberlo ejercitado de forma explícita, gracias a la correspondencia estructural entre diferentes ámbitos (Moreno et al. 2011).

El marco teórico de la educación interdisciplinar aporta, además, argumentos de orden didáctico. Presentar conceptos en contextos significativos favorece la retención y la aplicación práctica (Majjul & Yanine, 2022). La música sirve como conexión de códigos semióticos, por ejemplo, la música y las matemáticas comparten la representación simbólica, con fracciones, proporciones, gráficas, lo que facilita el paso de lo concreto a lo abstracto (Cárdenas et al., 2017). La interdisciplinariedad permite trabajar proyectos más amplios, pudiendo aplicar desde el pensamiento divergente al rigor lógico en un mismo contexto.

La investigación reciente confirma los beneficios de esta convergencia en diferentes etapas educativas, destacando especialmente el aumento de la motivación (Blasco-Magraner et al., 2021), confianza en los saberes adquiridos y el refuerzo de habilidades socio-emocionales (Mato-Vázquez et al., 2019). En este sentido, un estudio de la Universidad de Barcelona demuestra que integrar actividades musicales centradas en prosodia y ritmo amplía la motivación lectora y la precisión en la decodificación de textos (Garví Ruiz et al., 2015). Por su parte, la experiencia de aula coordinada por Chao et al. (2015), mostró que la enseñanza conjunta de música y matemáticas incrementó la comprensión de los números y mejoró la actitud hacia las matemáticas. Tanto en España como en el extranjero, en la etapa de primaria es donde se encuentra un mayor número de publicaciones que evidencian experiencias y resultados positivos; prueba de estas evidencias son diseño de actividades como las de González Barroso (2015), diseñando proyectos que unen Lengua, Ciencias y Educación física con música para trabajar la motricidad gruesa y la lectoescritura; al igual que un proyecto chileno con PicaLab, quién desarrolló un software multimodal que vincula fracciones y alturas sonoras, obteniendo valoraciones muy positivas en

los resultados de categoría afectivo-emocional y en las dimensiones cognitivas (Thayer-Morel et al., 2018).

En la etapa secundaria, hay experiencias donde se tratan saberes de carácter más complejo, aunque las publicaciones, especialmente en España, son especialmente menos numerosas que en otras etapas educativas. Los ejemplos se encuentran con diferentes combinaciones de asignaturas, como lengua castellana y literatura, tratando el cante de las alegrías gaditanas para trabajar la métrica, retórica y patrimonio andaluz (Trigo Ibáñez et al., 2019); educación física, articulando secuencias coreográficas con bases musicales para regular emociones y aumentar el rendimiento académico global (Valero Esteban et al., 2024); educación plástica y visual, creando instalaciones sonoras y piezas audiovisuales para fomentar simultáneamente la percepción estética y la comprensión de principios físicos del sonido (Bicos, 2018); o matemáticas, tratando la trigonometría desde la experiencia de las ondas sonoras (Quinn et al., 2019), todos ellos con resultados muy satisfactorios.

Diversas revisiones apuntan la diferencia de número de implementaciones de este estilo de proyectos dependiendo de la etapa educativa a una causa estructural, ya que el maestro de primaria dispone de una visión holística del currículo y de formación específica en didáctica integrada, mientras que el profesorado de Secundaria procede de titulaciones universitarias diferenciadas, habiéndose especializado en una disciplina más concreta, lo que refuerza la compartimentación al impartir únicamente la materia de su especialidad (Álvarez, 2019; Perales & Cuevas, 2016) . Esta realidad explica la escasez de experiencias de integración música y matemáticas en la ESO. Es por ello que, Heredia (2018) plantea una mayor necesidad en buscar un pensamiento conectado entre asignaturas, para conseguir una interdisciplinariedad que se acerca a la realidad natural y social de las personas en la vida real.

2.5 Música y matemáticas

La relación de las matemáticas y la música lleva siglos siendo reconocida, siendo aún ámbito de interés, como muestran la cantidad de trabajos e investigaciones actuales. La literatura reciente describe música y matemáticas como dos dialectos de un mismo idioma, apoyándose en la presencia de parámetros comunes, como frecuencia, proporción o simetría, lo que facilita la transferencia de destrezas y tratar puntos comunes de una esfera a otra (Albonés & Milrud, 2011; Kashyap, 2020).

La formación tradicional clásica incluía a la música como medio vinculante y como parte esencial de la educación (Aquila, 2022). Un aspecto que convertía a la gente en personas cultas, un ámbito que les permitía comprender conocimientos y razonamientos de diversos ámbitos. Históricamente, desde el punto de vista de los compositores occidentales, se entiende este proceso evolutivo, pues, ya Pitágoras descubrió las razones simples que marcan las relaciones de los intervalos, inaugurando una concepción racional de la consonancia que aún subyace de los sistemas de afinación y creación de escalas. En el Barroco, muchas de las obras de J. S. Bach muestran proporciones áureas y series de Fibonacci en la estructura formal, lo que sugiere un interés explícito por la integración de las matemáticas (Bailey, 2021) que muchos compositores posteriores continuarán utilizando. Arnold Schönberg por su parte, sistematizó el dodecafonismo mediante permutaciones y transformaciones de series de doce sonidos, un procedimiento prácticamente algebraico; Xenakis por su parte llevó estos principios al extremo, llegando a componer con distribuciones gaussianas, cadenas de Markov y teoría de conjuntos, convirtiendo la probabilidad en materia sonora (Torres, 2014). Comprender este punto de vista de la unión que hay entre música y matemáticas, debería hacer por lo tanto natural su paso a las aulas, trazando puentes entre materias.

En cambio, en el ámbito educativo se han planteado diferentes propuestas didácticas para adquirir competencias matemáticas a través de la música, obteniendo resultados muy positivos (Tillman & Lesser, 2018). En Infantil,

trabajos inspirados en Cslovjcek y Linneweber-Lammerskitten (2011) integran conteo, seriación y geometría mediante juegos de palmas y percusión corporal, con mejoras significativas en la noción de número. En la enseñanza obligatoria, las intervenciones MusiMath y Academic Musica han conseguido que el alumnado de 4º de primaria mejore significativamente su comprensión de las fracciones cuando se presentan a través de patrones rítmicos (Azaryahu et al., 2019). Otra implantación de programas musicales ha estudiado cómo en secundaria quienes incluyen en su formación, programas musicales, obtienen mayor precisión en tareas de álgebra y geometría respecto a sus pares sin formación musical (Anderson, 2014). La convergencia aparece también en estudios españoles, como los realizados por López Rodríguez (2016), donde documenta progresos en seriación rítmica y estimación de magnitudes en niños de cero a tres años, mientras que Liern y Queralt (2008) relacionan práctica coral con mejor desempeño en resolución de problemas. Manuales como el de Harney (2020) proponen diseños de secuencias donde el alumnado construye escalas para explorar razones y porcentajes, o crear ritmos binarios y ternarios para reforzar las fracciones equivalentes, mientras que Sulzer (2021) explica la física y la aritmética que subyacen a la sonoridad musical. Los múltiples ejemplos abarcan un abanico grande de ramas matemáticas, pasando por la álgebra, geometría, cálculo, estadística, aritmética o trigonometría, lo que supone una variedad amplia para aplicar prácticas interdisciplinares con la música.

Se puede considerar además que la música actúa como herramienta transversal que incrementa la motivación y el rendimiento en matemáticas, especialmente en alumnado que tiene bajas expectativas sobre ese tipo de asignaturas (Fernández-Company et al. 2022). Aunque no todos los experimentos ofrecen resultados concluyentes, puesto que ciertos estudios apuntan a un efecto solamente pequeño-moderado, pero consistente en el logro matemático de quienes cursan música de forma continuada (Southgate & Roscigna, 2009).

Asumir que la música está estrechamente relacionada con las matemáticas puede implicar el rediseño de la programación para explotar su potencial conceptual. El enfoque STEAM refuerza esta visión, al situar las artes como catalizadoras del pensamiento crítico propio de las ciencias (Molina García,

2021). La incorporación de la letra A al acrónimo STEM corresponde a la palabra artes. Sin ser un mero gesto simbólico, responde a la convicción de que la creatividad y la sensibilidad estética potencian la innovación científica y el pensamiento crítico, difuminando barreras entre estas disciplinas (García-Mejía & García-Vera, 2020). Estas siglas aparecen de forma explícita a escala normativa europea, como en la LOMLOE (3/2020, Disposición adicional 25.4, o anexos 217/2022), pero la mayoría de textos internacionales de la Unión Europea siguen empleado la forma clásica STEM y solo aluden a STEAM en iniciativas programáticas. De este modo en España, aunque la LOMLOE anima a prácticas metodológicas globalizadoras, la implantación efectiva depende todavía de iniciativas de centro y de la capacitación del profesorado y se usa STEM cuando se describen competencias.

Tras realizar la revisión de la literatura correspondiente, es evidente que la música es un ámbito pluridisciplinar, lo que crea muchas conexiones con áreas diferentes. Además, se confirma que la música puede erigirse como puente para tratar los aprendizajes de las competencias en educación, pese a que la investigación en la ESO siga siendo escasa, sobre todo cuando se trata de diseñar actividades enlazadas con el ámbito STEM. Por ello, el siguiente trabajo pretende poner su propio grano de arena en esta línea, pudiendo contrastar las evidencias recogidas y compararlo con una aplicación práctica, ensanchando así el corpus de experiencias documentadas y ofreciendo datos sobre cómo la integración de propuestas puede reforzar la competencia STEM dentro de los márgenes y criterios que marca el currículo de Secundaria.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal de la investigación es conocer el trabajo interdisciplinar de la competencia matemática, ciencia, tecnología e ingeniería y la música.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Estudiar cómo la música puede influir en la adquisición de competencias clave STEM.

- Diseñar materiales didácticos específicos de la asignatura de música de manera interdisciplinar con la asignatura de matemáticas.
- Analizar la implementación de los materiales diseñados.

4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para de investigación es de corte cualitativo, pues busca comprender en profundidad un fenómeno educativo concreto. Esta elección responde a los rasgos que describen diferentes autores como particularidades de ese tipo de investigación, como buscar la descripción de un contexto particular, recogida de datos mediante técnicas abiertas e interactiva y usar un análisis inductivo de la experiencia de los propios participantes (Dorio et al., 2009; Sánchez Fontalvo et al., 2020). Este diseño permite describir la situación ordinaria del aula con la mínima interferencia posible, interpretar las actividades y expresiones de alumnado y profesorado y, a partir de ellas, valorar el alcance de la propuesta didáctica que se realiza después (Creswell, & Creswell, 2018). Dentro de este marco se opta, a partir de la clasificación de Stake, por un estudio de caso instrumental, idóneo para examinar en profundidad una unidad educativa única (Stake, 2010), como es un grupo de 4º de la ESO de un centro que integra enseñanzas musicales regladas y educación secundaria obligatoria. Los objetivos de los estudios de caso permiten establecer hipótesis en un contexto concreto, idea para estudiar un grupo pequeño, donde no se pueden aislar variables ni controlar el entorno, sino describirlo e interpretarlo para generar hipótesis aplicables a otras situaciones similares (Sabariego et al., 2009).

Las etapas a realizar se articulan en base a fases habituales de la investigación cualitativa, descritas por Sánchez (2020) como la reflexión exploratoria, planificación, entrada en el contexto, recogida y análisis de la información, retirada y redacción del informe. A partir de esta premisa, es necesario realizar un análisis del contexto y entorno del alumnado en primer lugar para la realización del diseño de actividades. Por ello, se ha partido de la observación de diferentes asignaturas de secundaria de diferentes cursos de un centro en el que todos los estudiantes son estudiantes de música de conservatorio, así como

de asignaturas musicales que tienen los mismos. Esto ha permitido conocer los comportamientos, inquietudes y reconocer los puntos para abordar adecuadamente la práctica docente. Se ha elegido llevar a cabo un proceso de enseñanza-aprendizaje para aumentar la motivación del alumnado y crear puntos de unión entre las asignaturas, con el fin de reforzar la adquisición de nuevos conocimientos y competencias clave (Olmedo Flores et al., 2024). Tras ello, se ha realizado un diseño de actividades en relación con la unidad didáctica de aprendizaje en la que se emplean, *Concertando las matemáticas*, adoptando un enfoque basado en la adquisición de la competencia clave STEM (matemática y en ciencia, tecnología e ingeniería) desde el área de música. Para el diseño inicial es fundamental que las propuestas se alineen con las estrategias de enseñanza-aprendizaje que se aplican en el centro. Resulta igualmente imprescindible analizar las técnicas didácticas del profesor titular, con el fin de valorar su idoneidad y detectar aspectos susceptibles de mejora: actitudes del alumnado según la materia, trabajo cooperativo, afinidad con el profesorado, etc. Junto a este diagnóstico, el profesor en prácticas actuará en doble rol, participante y observador no participante, para recoger datos y someterlos posteriormente a un análisis y extraer las conclusiones de la investigación.

Los materiales diseñados comprenden tres secuencias de aprendizaje, cada una compuesta por tres actividades interrelacionadas, pensadas para abordar los siguientes contenidos:

- Propiedades físicas del sonido.
- Construcción de escalas musicales.
- Composiciones musicales aleatorias.
- Funciones armónicas y formas musicales.
- Transformaciones motívicas, tanto musicales y como espaciales.

Estos materiales se elaboran para trabajar conjuntamente la asignatura de música y el departamento de matemáticas en el curso 4º de la ESO. El objetivo es que el alumnado genere conocimientos musicales a través de un enfoque interdisciplinar, especialmente con las matemáticas, y al mismo tiempo incrementar su motivación durante el proceso. Desde la perspectiva matemática se trabajan álgebra, el punto de vista matemática, se abordan contenidos de

álgebra, pensamiento computacional, combinatoria, probabilidad, giros en el plano, proporción y medida, convirtiéndose en categorías de análisis. Así se fomenta la transferencia de aprendizajes entre asignaturas y se fortalece la aplicación real de las competencias clave, al extrapolar los conocimientos a contextos distintos. Por otra parte, la investigación adopta una metodología activa, con una interacción continua entre alumnado, profesorado, material didáctico y entorno, involucrándose más el estudiante en el proceso de adquisición de conocimientos y produciendo aprendizajes de mayor durabilidad y relevancia (Arteaga et al., 2022).

El proyecto surge de la inquietud por dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Incrementa la motivación del alumnado una aproximación interdisciplinar entre Música y Matemáticas?
- ¿Es capaz el alumnado de vincular los contenidos musicales y matemáticos?
- ¿Se pueden diseñar materiales didácticos musicales que colaboren a la adquisición de competencias matemáticas?

La validez del estudio se apoya en una triangulación metodológica, que combina las fuentes del marco teórico, los instrumentos de recogida de datos y las entrevistas realizadas. Este procedimiento corresponde a la recomendación de contrastar datos de naturaleza distinta para aumentar la credibilidad y reducir el sesgo interpretativo (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015), además ofrece una visión poliédrica del fenómeno y cumple el principio de convergencia de evidencias (Yin, 2022). La revisión selectiva de literatura científica y la normativa vigente (LOMLOE 2022) permite situar la propuesta en el estado actual de la investigación, permitiendo cotejar los hallazgos empíricos. El diario de campo funciona como principal instrumento de recogida de datos, llevando a cabo un registro sistemático de lo ocurrido en el aula, con notas de descripción y reflexión, aportando a perspectiva de investigador participante (Espinoza Cid & Ríos Higuera, 2017). Por último, las conversaciones con los docentes sobre el desarrollo de las sesiones, percepción de la motivación y encaje curricular, así como las conversaciones con los estudiantes sirven como testimonio de una

visión interna, que contrasta tanto con la observación externa como con la literatura revisada.

4.1 Materiales didácticos de la propuesta didáctica

El punto de partida para diseñar los materiales didácticos fue la inquietud de tender conexiones entre la música y el resto de asignaturas. El centro elegido constituye un escenario singular: combina la oferta de enseñanzas artísticas musicales oficiales con la Educación Secundaria Obligatoria. La propuesta persigue dos objetivos: introducir actividades matemáticas de corte experiencial desde la música y ampliar la mirada sobre la música más allá de la mera interpretación.

En primer lugar, se mantuvo entrevistas con varios profesores titulares para seleccionar a quien quiera tomar parte en este proceso de coordinación docente de áreas. Se preguntó por la realización anterior de otros proyectos interdisciplinares, el tiempo que podrían emplear durante el periodo de marzo y abril a la realización de un programa que tuviese relación con la música, el temario a abordar durante los próximos meses y la motivación. A continuación, se llevaron a cabo observaciones no participantes tanto en clases de música como en asignaturas generales. El propósito era detectar variables clave para el diseño (motivación, actitud y dinámica del alumnado) a lo largo de la jornada escolar, abarcando grupos desde 1º de ESO hasta 1º de Bachillerato. Durante esta fase, se recopiló información sobre diferentes parámetros considerados útiles para la siguiente fase, como: el contexto del centro, el perfil del alumnado, los conocimientos musicales, el grado de implicación y motivación en el aula del alumnado y las estrategias pedagógicas habituales del profesorado. Todo quedó registrado al detalle en el diario de campo, actualizado cada día y enriquecido con conversaciones informales mantenidas con diferentes docentes en los cambios de clase o en la sala de profesores; estos intercambios resultaron especialmente interesantes para conocer la percepción del profesorado de la realidad del aula, sus objetivos educativos, sus estrategias y sobre el alumnado. También se registró conversaciones informales con los estudiantes tras ciertas

clases, anotando sus inquietudes. La fase inicial se sustenta en tres fuentes de información: revisión de la literatura teórica del campo a investigar, observación no participante y elaboración sistemática del diario de campo.

La segunda etapa se ha dedicado a la elaboración y puesta en marcha de la propuesta didáctica, es decir, al diseño de materiales específicos que den respuesta a las preguntas de investigación y encajen en la programación general anual de las asignaturas. Se seleccionó un único grupo de 4º de la ESO para realizar la unidad didáctica, junto a la asignatura de matemáticas académicas. Como punto de partida se revisaron experiencias ya publicadas que pudieran servir de referencia o inspiración, aunque correspondieran a otros cursos. El contenido se ajustó a las fortalezas del profesorado implicado y se procuró reforzar las debilidades de sus estrategias, buscando una conexión más fluida con el alumnado. Las notas del diario de campo orientaron tanto la planificación como la adaptación del material y ejecución en el aula, con la intención de optimizar los resultados. Posteriormente llevó a cabo la experiencia, recogiendo los datos tras cada sesión, completando unas listas de control evaluando al alumnado y tomando notas de los productos realizados por el alumnado durante las sesiones.

La fase final consiste en procesar la totalidad de los datos reunidos: entradas del diario de campo, evidencias recogidas en las rutinas de pensamiento de las actividades, autoevaluaciones del alumnado y listas de control realizadas y cumplimentadas por el docente. A partir de todo el material se extraen un conjunto de conclusiones y respuestas que articulan el impacto real de la propuesta.

A continuación, se presenta el cronograma de las fases de recogida de datos:

Tabla 2

Fases, técnicas e instrumentos de recogida de datos.

Ilustración 1

Fases metodología.



Fuente: Elaboración propia

FASE 1: OBSERVACIÓN INICIAL	FASE 2: DISEÑO Y APLICACIÓN DE UPD	FASE 3: ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES
Técnicas: observación no participante y conversaciones profesores y alumnos.	Técnicas: observación participante.	Técnicas: análisis de datos a partir de la aplicación de la UPD y la autoevaluación del alumnado.
Instrumentos: Diario de campo, entrevistas, literatura ya existente.	Instrumentos: Diario de campo, productos del alumnado, listas de control.	Instrumentos: Diario de campo, dianas y comentarios de autoevaluación por parte del alumnado.

Para esta propuesta didáctica interdisciplinar se han diseñado nueve actividades divididas en tres secuencias de aprendizaje, combinando recursos digitales, prácticas con los propios instrumentos de los estudiantes y materiales manipulativos físicos. Todas ellas están pensadas para que el alumnado construya el conocimiento de forma activa y significativa, explorando la música desde la experiencia sonora-musical y matemática, evitando un aprendizaje puramente memorístico. La literatura sobre el aprendizaje experiencial subraya que la manipulación directa de los contenidos favorece la comprensión profunda y la transferencia de lo aprendido (Arteaga et al., 2022; Freeman et al., 2014). El trabajo cooperativo vertebra cada tarea, ya que los estudiantes resuelven los retos en pequeños grupos, por parejas o consiguiendo un resultado conjunto de toda la clase, desarrollando tanto destrezas sociales como pensamiento lógico-creativo, pensamiento crítico, alineado con los descriptores operativos de la competencia clave STEM, donde los problemas se abordan desde la exploración, la argumentación y el diseño de soluciones.

SECUENCIA 1: Nada sale de la nada.

Para esta secuencia los alumnos enlazan las fracciones básicas, las proporciones y los números irracionales, unidades ya vistas en matemáticas, con la experiencia auditiva para comprender la construcción de las escalas y las propiedades físicas del sonido. Toda la secuencia se apoya principalmente en el aprendizaje basado en problemas y en el razonamiento, ya que se parte de contenidos familiares y se profundiza en su origen y sentido para fomentar la comprensión profunda y el porqué de dónde vienen propiedades de la música que tienen asimilado.

Actividad 1: La sesión comienza con la proyección de un breve clip donde Super Mario asciende por su célebre “escalera infinita”. Con la rutina de pensamiento Veo-Pienso-Me pregunto, guiada por el profesor, el grupo identifica los elementos musicales de la escena y formula la cuestión clave: ¿puede un sonido subir eternamente? Para investigarlo, se reproduce de nuevo el vídeo y se captura el audio en una web que captura sonido y representa el espectrograma. El alumnado observa cómo las frecuencias agudas se desplazan hacia arriba mientras otras, más graves, emergen y las sustituyen (ver anexo 1). Después,

algunos voluntarios tocan notas con distintos instrumentos para visualizar sus espectros en tiempo real. La discusión regresa a las preguntas iniciales y desemboca en la explicación del tono Shepard, la ilusión auditiva que hace sentir una escala en ascenso perpetuo.

Actividad 2: Se presenta teórica y físicamente las propiedades de los armónicos en base a los resultados de la actividad anterior. Las notas se relacionan con su medida en hercios, comprendiendo que no son números arbitrarios, sino divisores de la nota fundamental. Los estudiantes divididos por parejas deben calcular los hercios de las notas siguiendo la serie de quintas, teniendo en cuenta que la quinta es el primer armónico (diferente a la fundamental) que aparece en una nota. Para ello, se parte de la nota la igual a 440Hz y se consigue la frecuencia de su quinta multiplicando por 3 y dividiendo entre 2, y dividiendo de nuevo entre 2 si el resultado sobrepasa 880 (la octava); en el proceso van anotando cada valor obtenido, el nombre, situando el resultado sobre una línea o círculo con marcas proporcionales entre 440 y 880 (ver anexo 2). El juego continúa al detectar simetrías numéricas y llegando al final a la obtención nuevamente de la nota la, cerrando así el ciclo.

Actividad 3: Una vez obtenidas las notas y los hercios, se reproducen las frecuencias obtenidas y se realiza una nueva rutina de pensamiento “veo-pienso-me pregunto”. El oído percibe una pequeña desafinación y los hercios de la resultante no coincide exactamente con los 440hz de partida. Se muestra entonces una tabla con las frecuencias de la afinación temperada (ver anexo 3). Al contrastar ambos listados, el alumnado consta que sus números obtenidos no corresponden exactamente. Se explica entonces que sus números derivan de razones naturales, mientras que los de la tabla surgen del duodécimo de la raíz de 2. Con la calculadora pueden comprobar cómo esta constante reparte la octava en 12 partes iguales, compensado la leve, pero acumulativa, desviación de los números irracionales que aparece al encadenar quintas puras. La escala natural corresponde a la afinación no temperada y la que divide en partes iguales es la temperada. Se abre entonces un debate: ¿cuándo y por qué se adoptó el temperamento igual? Se revisan instrumentos barrocos y se habla sobre el cambio de los instrumentos frente a la afinación temperada, así como las razones

por la necesidad de cambiar. Se discute sobre los modelos que soportaron mejor la transición y cómo afectó a la práctica interpretativa. Se concluye con la aportación de ejemplos y explicaciones del alumnado según su especialidad instrumental.

SECUENCIA 2: Con las emes también se juega.

En la secuencia se asocian maneras de componer con juegos, comprendiendo el funcionamiento a través de la aplicación de cálculo de probabilidades, combinatoria y análisis armónico. La creación musical y las decisiones matemáticas se combinan mediante las actividades desde un punto de vista práctico, empleando estrategias de gamificación, aprendizaje cooperativo y aprendizaje basado en problemas.

Actividad 1: El profesor plantea al grupo de alumnos estar en el siglo XVIII y formar parte de un grupo de burgueses, deben plantear maneras divertirse mostrando su intelecto desde el punto de vista musical. Se explica posteriormente el éxito social de los juegos de dados y se presenta el juego de dados de Mozart, con las instrucciones y la matriz original. Los alumnos ponen en práctica el juego y se hace un paralelismo con lo que podría ser su aplicación en el reggaetón, presentando una tabla para formar frases siguiendo el mismo principio del juego de dados (ver anexo 4).

Actividad 2: Agrupando el alumnado en tríos, tienen que responder a preguntas sobre el juego de Mozart para constatar por ejemplo el número de versiones diferentes que hay o el tiempo que se requeriría para escucharlas todas. Se revisa entonces la regla de Laplace sobre la probabilidad y se calcula la probabilidad de que aparezca cada compás. Los alumnos conjuntamente al profesor analizan la parte musical de la matriz, evidenciando la duplicación de algunos compases, además, se analizan las estructuras seguidas. Se identifican los grados de cada compás, la estructura de las frases que aparecen y las cadencias obligadas que ordenan el discurso. Con la matriz delante, se hace una puesta en común a través de una rutina de pensamiento para tratar limitaciones que pone Mozart al azar de la música, ya que se ocultan estrategias que aseguran la musicalidad.

Actividad 3: Los estudiantes realizan un juego de dados, repartiendo a cada estudiante dos compases vacíos de la matriz, respetando la estructura de la armonía original de Mozart (ver anexo 5). Entre todos realizan una matriz, y siguiendo las mismas instrucciones que el juego de Mozart, se tiran los dados y la clase interpreta en conjunto su propio juego de azar musical.

SECUENCIA 3: Mirar la música con espejos.

En la secuencia se tratan los procedimientos de inversión, retrogradación, trasposición y aumento/disminución utilizados como recursos musicales y relativos a los giros en el plano en geometría. El hilo conductor parte del movimiento cultural, pasando por Bach y culmina en la música serial del siglo XX.

Actividad 1: De manera ordenada respetando la disposición en filas de la clase se realiza los alumnos realizan un movimiento sencillo de manera consecutiva. El profesor decide si la fila siguiente repite la dirección, la invierte o la desplaza a una columna. Se muestra cómo la misma lógica se puede utilizar en la música a partir de una melodía, pudiendo empezar en otra nota y hacer el mismo movimiento, invertir el orden de las notas, invertir los intervalos, etc.

Actividad 2: A través del bajo de las variaciones de Goldberg de Bach, se representan las últimas cuatro notas sobre una circunferencia dividida en 7 partes, donde parte corresponde a una nota. El ejercicio se realiza con diferentes variaciones con los diferentes tipos de transformaciones, obteniendo polígonos dentro de las circunferencias semejantes pero girados, en espejo, etc (ver anexo 6). Para provocar este razonamiento, se procede a una rutina de pensamiento respondiendo a las preguntas: ¿qué has observado? ¿qué piensas sobre ello? ¿qué preguntas te surgen? A partir de ello se asocian los conceptos con términos musicales (inversión, retrogradación, transporte) y con su equivalente geométrico (simetría, rotación, traslación). Se distribuye entonces una ficha con los primeros seis compases de la invención 1 de Bach y una cuadrícula cartesiana, donde el eje x corresponde a tiempo y el y a notas musicales (ver anexo 7). Por parejas localizan todas las apariciones del motivo principal, para después situar el motivo en la cuadrícula, creando un polígono por cada

aparición. Después, numeran las apariciones y el recurso musical que se ha empleado, el término geométrico y la fórmula matemática que corresponda.

Actividad 3: Se proyecta una matriz de Schönberg plantear una rutina de pensamiento: ¿cómo creéis que está construida? ¿qué operaciones reconocéis? (ver anexo 8) Una vez los alumnos hayan hablado, el profesor complementa la información, explicando cómo está planteada. Se plantea entonces si esta estrategia puede ser útil para analizar música del siglo XX. Por último, los estudiantes deben realizar un método nuevo de análisis que aúne música y algún ámbito matemático. Por último, se hace una puesta en común de las propuestas y se prueba su aplicación en alguna obra musical.

Durante todo el proceso se han ido rellenando por cada secuencia unas listas de control en base a lo visto y a lo estudiado (ver anexo 9), así como se anotaban los datos de mayor relevancia, incluyendo especialmente los comentarios de los alumnos mediante las rutinas de pensamiento. Igualmente, se recogen los datos de las dianas de autoevaluación que han realizado los alumnos y los comentarios sobre la experiencia (ver anexo 10). Con la información se elaboran las conclusiones obtenidas para analizarlas y concluir con los resultados obtenidos de la experiencia

4.2 Secuencia de la propuesta pedagógica

La unidad didáctica se desarrolla en cuatro sesiones de una hora, ampliables a cinco según la dinámica del grupo y la disponibilidad de los profesores. Las sesiones se reparten en dos semanas consecutivas (dos por semana) y siguen el orden previsto de actividades para garantizar la progresión de contenidos. Se reserva una quinta sesión opcional para profundizar en aspectos que requieran más tiempo. Cada clase incluye un margen de cinco minutos para ajustar los tiempos ante imprevistos. La metodología combina breves exposiciones teóricas, siempre precedidas de rutinas de pensamiento y participación de los estudiantes, con tareas prácticas que promueven la intervención activa del alumnado y para favorecer un aprendizaje significativo.

A continuación, se detalla la secuenciación de las actividades con los tiempos estimados.

Tabla 3

Secuenciación de las actividades

SA 1: nada sale de la nada	ACTIVIDAD 1	ACTIVIDAD 2	ACTIVIDAD 3
Una sesión de 1 hora. Se dedica la clase a la realización de las tres actividades.	25 minutos	25 minutos	10 minutos
SA 2: con las emes también se juega	ACTIVIDAD 1	ACTIVIDAD 2	ACTIVIDAD 3
Una sesión de 1 hora. Se dedica la sesión a la realización de las tres actividades, pudiendo ampliar la tercera actividad.	15 minutos	20 minutos	20 minutos. Esta actividad se puede ampliar en otra sesión para realizar una matriz más rica musicalmente y jugar más veces a interpretar la melodía.
SA 3: mirar la música con espejos	ACTIVIDAD 1	ACTIVIDAD 2	ACTIVIDAD 3
Dos sesiones de una hora. Se dedica una sesión a las dos primeras actividades y la totalidad de una sesión a la tercera.	15 minutos	40 minutos	Se dedicará una sesión individual a esta actividad. Sirviendo de actividad de cierre y estructuración de los conocimientos adquiridos.

5. RESULTADOS

Los resultados de la investigación que se exponen a continuación se articulan a partir de las categorías establecidas para el análisis de los datos y las preguntas de investigación. Estos responden a los distintos instrumentos de recogida de información, incluyendo observación participante y no participante, diarios de clase, listas de cotejo o autoevaluaciones de los alumnos. Las categorías de análisis definidas en la metodología se definieron en consonancia con los ámbitos de la competencia matemática y ciencias, tecnología e ingeniería implicados en la intervención: razonamiento proporcional y sentido de la medida, sentido algebraico, pensamientos computacionales y sentido estocástico. Sobre ellas se proyectan tres cuestiones clave: hasta qué punto el trabajo musical influye en la adquisición de la competencia matemática; la motivación del alumnado frente a la integración de ambas disciplinas y en qué medida la perspectiva transdisciplinar, aplicada en un centro con las particularidades del contexto estudiado, contribuye al desarrollo global de los estudiantes. A partir de estas premisas se presenta el cuerpo de resultados que a continuación se presentan.

El sentido algebraico se ha abordado mediante las tres secuencias didácticas diferentes, cada una profundizando en el contenido desde una perspectiva complementaria y manteniendo la música como hilo conductor. Para el alumnado, este enfoque no resultó novedoso, tanto en la asignatura de Análisis Musical como en otras materias afines ya habían trabajado ejercicios de naturaleza análoga, como se constata en el diario de la autora: “[...] durante la asignatura de Análisis Musical se realizan ejercicios de análisis en la partitura donde se distinguen las notas extrañas, los grados y las funciones armónicas de cada compás [...]. El modo de análisis básico para la segunda secuencia de aprendizaje se replica para mantener cohesión ente asignaturas [...]”. El reconocimiento y elaboración de secuencias numéricas o de patrones constituyen, de hecho, un elemento vertebrador de las estrategias docentes habitualmente empleadas en la mayoría de cursos en asignaturas de música del centro, el diario de la autora se recoge que: “[...] los alumnos dicen que en asignaturas de matemáticas, física y química, en análisis musical y en lengua, (dentro de ejercicios de análisis sintáctico) han hecho ejercicios de

reconocimiento de patrones, al igual que en otros cursos, sobre todo en lenguaje musical [...]”. No solamente para descifrar un texto musical, sino también para componer, improvisar o transcribir música. Este bagaje previo facilitó que los estudiantes partiesen con una destreza consolidada de la competencia algebraica, sobre todo en la identificación de regularidades, permitiendo entonces abordar conceptos de mayor complejidad sin dificultad significativa. Frente a esta situación, las sesiones se diseñaron, además, para situar el sentido algebraico como nexo explícito para reforzar la dimensión interdisciplinar. Desde la propia percepción del alumnado, la conexión con las matemáticas se mostró evidente y natural; esta coherencia conceptual incrementó su implicación, al constatar la utilidad de tender puentes entre ambas disciplinas.

El ámbito del pensamiento computacional se ha desarrollado en las sesiones a través del uso sistemático de cuadrículas, matrices y tablas, recursos que, lejos de ser ajenos al ámbito musical, han servido históricamente a numerosos compositores como soporte para organizar y transformar su material sonoro. Los estudiantes conocieron, por ejemplo, que la cuadrícula de Mozart o la matriz dodecafónica de Schönberg obedecen a la misma lógica que rige una hoja de cálculo: ordenar datos, aplicar reglas y obtener variaciones controladas, ellos mismos remarcan que: “[...] los compositores entonces se comportan en ocasiones como matemáticos y no como músicos para ser más efectivos, dejando la creatividad espontánea de lado [...]”. Esta constatación generó una empatía inmediata con la manera de analizar, al percibir que las herramientas que los compositores usaban pueden ser también para ellos herramientas. Han comprobado cómo se pueden transferir técnicas asociadas a las ciencias a la música y viceversa, cómo puede permitir la música servir como ejemplo de ámbitos científicos. De este modo, el pensamiento computacional no solo reforzó la comprensión de los procesos compositivos, sino que se reveló como un puente eficaz entre la creatividad musical y la resolución sistemática de problemas en contextos académicos diversos. Sin embargo, el hecho de no disponer del tiempo necesario para poder llevar a cabo todas las sesiones necesarias, ha supuesto una falta de resultados óptimos para que los estudiantes se pudiesen familiarizar correctamente con el contenido y por lo tanto afianzar las competencias claves. Aun así, el hecho de que todos los

participantes fueran músicos en activo con ocho años de estudios reglados resultó decisivo para hacer las sesiones más fluidas.

El sentido estocástico se trabajó mediante la exploración de la incertidumbre inherente a determinados procedimientos musicales, tomando como punto de partida los juegos de dados de Mozart y extendiendo el enfoque hacia prácticas aleatorias propias de la música de los siglos XX-XXI, se recoge en el diario de la autora que: “[...] los estudiantes han manifestado no haberse planteado antes un juego que uniese música y matemáticos de este modo, pero ahora dicen entender el sentido de aplicación práctica conocimientos matemáticos de probabilidad, ya que muestran resultados que denominan: con sentido, para cubrir dudas que se plantean [...]”. Al introducir tablas de probabilidad, el alumnado pudo cuantificar la aparición de motivos melódicos generados al azar, contrastar resultados experimentales con valores teóricos. Si bien la intención era la de profundizar desde el punto de vista de la música, para reforzar la parte interdisciplinar, al igual que con otras categorías, la falta de tiempo para llevar a cabo las sesiones necesarias provocó una falta de datos para poder extraer resultados realmente concluyentes.

La experiencia revistió un valor añadido en el momento de tratar de intérpretes y compositores en activo, “[...] equiparar la tabla de Mozart con el reggaetón ha tenido una muy buena acogida, ya que ha provocado risa y acercarse a lo que escuchan ellos [...]”. Al aplicar distribuciones equiprobables o ponderadas para seleccionar alturas, duraciones y dinámicas, los estudiantes apreciaron de forma tangible cómo la gestión de la incertidumbre se convierte en un motor creativo: la probabilidad no sólo diversifica, sino que orienta el discurso musical dentro de unos márgenes controlados. Esta constatación fortaleció la conexión emocional con las obras analizadas, pues reveló que la “casualidad” mozartiana o el azar disciplinado de Cage comparten fundamentos estadísticos idénticos a los que ellos mismos pueden emplear.

Más allá del aula de música, el tratamiento riguroso de datos y probabilidades resultó transferible a otras asignaturas. Varios alumnos señalaron que la construcción de tablas de contingencia y el cálculo de probabilidades los ayudaron a interpretar resultados de laboratorios en ciencias o a evaluar riesgos

en proyectos de Economía, como se recoge en una de las hojas de autoevaluación de los alumnos “[...] lo aprendido me parece útil para usarlo en otras asignaturas de las generales [...]”. De este modo, el sentido estocástico se evidenció como un eje transversal: potencia la creatividad musical al tiempo que desarrolla la competencia para analizar fenómenos inciertos en contextos académicos diversos.

El razonamiento proporcional y el sentido de la medida se abordaron a partir de la relación directa entre música y fracciones, proporciones y números racionales. Los intervalos pitagóricos, la creación de la escala y la relación entre las notas desde la medida física como hilo conductor para refrescar y profundizar temario estudiado durante el curso académico. Al inicio de las sesiones varios alumnos confesaron no recordar con claridad estos contenidos, incluso dudando si lo había estudiado; fue necesario por lo tanto recuperar conceptos básicos, siendo la música un elemento clave como medio de reforzamiento de los conocimientos. Al respecto, en el diario se anota que: “[...] al inicio de la sesión se ha preguntado si habían estudiado este curso los números irracionales, la mayoría ha dicho que no, o que les sonaba de algo, momento en el que ha interrumpido la profesora diciendo ¿cómo que no? [...] al final de la sesión se ha retomado la pregunta si conocían la parte matemática entonces de haberlo visto antes, a lo que han contestado que sí que habían visto algo, pero que ahora lo entendían [...]”. En cuanto se tradujeron las fracciones a sonidos (el 2:1 de la octava, el 3:2 del quinto grado), la comprensión de elementos básicos se volvió casi instantánea.

Trabajar con magnitudes físicas reales como es tratar la frecuencia en hercios o intensidades dinámicas, permitió a los estudiantes comprobar que la proporcionalidad no es una abstracción sino el fundamento mismo de la afinación, el timbre, el ritmo y la articulación musical. Esta constatación obligó a replantearse conocimientos que creían adquiridos: muchos se dieron cuenta de que sabían operar fracciones, pero no relacionarlo con problemas reales. Al “escuchar” una proporción, internalizaron la idea por ejemplo de que el doble de una medida en hercios no es más que hacer la octava inferior; de igual modo, entender que dos semicorcheas equivalen a una corchea forma parte de experimentar la aritmética. Cabe destacar que, mediante las secuencias de

aprendizaje, especialmente la primera, el razonamiento se pudo llevar a grados más altos de complejidad, correspondientes a su nivel de estudios musicales. Expresar en un lenguaje cercano, el de su propia práctica musical, el contenido matemático cobró sentido y se consolidó con rapidez. Varios alumnos señalaron durante la semana que, gracias a estas conexiones, resolvieron con mayor soltura problemas de física sobre ondas relativos a escalas de medida. La competencia vinculada al razonamiento proporcional quedó así firmemente afianzada, y el sentido de la medida dejó de ser un bloque aislado para integrarse de forma orgánica en su día a día como músicos y, por extensión, en otras áreas del currículo. Diferentes estudiantes reconocieron que mediante estas actividades se replantearon dimensiones de la música desde el punto de vista matemático, comprendiendo por ejemplo vocabulario musical que conocían y no comprendían, como es hablar de una escala temperada, se recoge en el diario que: “[...] los alumnos dicen que se había varias palabras o expresiones que les sonaba y que aparecían durante las clases que ellos replicaban sin entender el por qué, esto hace que no lo usen de manera correcta. Sin embargo, consideran que entendiendo la parte matemática de la música y poniendo en música aspectos matemáticos, creen que no se les olvidarán esos conceptos que ahora cobran sentido en el lenguaje, véase afinación bien temperada o número la aparición de los números irracionales [...]”.

Además de los resultados propios a cada categoría de estudio, el alumnado ha mostrado en la totalidad del transcurso e intervención una atención generalizada mayor a la de sesiones ordinaria para ellos. Se corroboran los resultados con las autoevaluaciones y comentarios que han realizado, mostrando en casi su totalidad querer tener más clases similares, sintiendo que han tenido una alta utilidad para ellos. Asimismo, un estudiante subrayaba que “en un colegio integrado no se combina la música con generales lo suficiente.” y que este tipo de prácticas ayudarían más a los estudiantes a poder aprender. Mediante las autoevaluaciones, la percepción de dificultad ha sido muy baja, con un aprendizaje y transferencia declarada muy altos, lo que sugiere que las actividades diseñadas logran el equilibrio óptimo entre reto y accesibilidad.

6. DISCUSIÓN

A partir del modelo de triangulación metodológica empleado, los resultados muestran la convergencia, por un lado, los distintos instrumentos de recogida de información autoevaluaciones de los alumnos, y por otro, el marco teórico que sustenta la investigación. Esta estrategia integral permite contrastar y matizar la evidencia empírica, ofreciendo respuestas sólidas a las preguntas de investigación formuladas.

Tras la puesta en práctica de las situaciones de aprendizaje y la recogida de datos, al revisar la literatura se pueden afirmar diferentes cuestiones planteadas inicialmente. Al usar un enfoque transdisciplinar entre música y otras áreas, la transferencia de competencias se convierte en más significativa para el alumnado, convergiendo con diferentes autores (An, et al., 2018; Moreno, 2011) y el enfoque del propio consejo de educación de la Unión Europea (2018). Desde el enfoque de la adquisición de competencias matemáticas, se ha mostrado que no solamente los resultados son muy favorables, sino que las afirmaciones de estudios previos sobre la mejora de la adquisición de esta competencia sobre estudiantes de menor edad, se puede ampliar al 4º curso de la ESO (An, Tillman & Lesser, 2018; Blasco-Magraner, 2021; Cslovjecsek & Linneweber-Lammerskitten, 2011), contrariamente a lo que exponen Holmes y Hallam (2017). Estas investigadoras afirman que el impacto es muy notable cuando los sujetos estudiados son de poca edad, principalmente en niños de 4 a 6 años (Holmes & Hallam, 2017). Otros autores aseguran que la implementación de la música como medio de adquisición de competencias matemáticas es muy beneficiosa para adquirir y consolidar conocimientos complejos de las matemáticas, mejores resultados supondrán, lo que supone que el alumnado debe tener una edad mayor (da Silva et al., 2022; Pesic, 2010). Sin embargo, hay que considerar un factor importante en la evaluación de los resultados, el hecho de que todos los estudiantes que han participado en la implementación de estos materiales y actividades musicales-matemáticas sean músicos puede influir significativamente en los efectos del programa didáctico. Este factor ya se ha tenido en cuenta en estudios anteriores (da Silva, et al. 2022), de manera que los conocimientos musicales afectan a la manera en la que se puede usar la

música para adquirir conocimientos matemáticos, pero mediante en el diseño didáctico del estudio se considera que puede ser fácilmente adaptado a estudiantes del mismo curso no músicos, aunque el número de sesiones seguramente tuviese que ser ampliado. Otro de los aspectos que aporta la investigación es la motivación como variable esencial en el diseño, puesto que en este caso todos los estudiantes sentían una conexión emocional con la música evidente. Todos mostraban un mayor interés en las sesiones en las que se unen música y matemáticas respecto a las de matemáticas aislado, puesto que les suponían un nuevo punto de vista en modo de curiosidad sobre la realidad que les rodea. La música les permitía entender las matemáticas y viceversa, al igual que afirma Kashyap (2021). Azaryahu (2020) sustenta esta idea por los puentes que se entrelazan entre el tipo de pensamiento que desarrollan los estudiantes en música y en matemáticas, fundamentado en un pensamiento abstracto. No obstante, los resultados de este estudio muestran cómo a los estudiantes la música les permite materializar la parte abstracta de las matemáticas, aplicándolo en un contexto conocido por ellos. En este caso la música supone una ejemplificación atractiva para un alumnado de las características de este centro. Por otra parte, extraer la evaluación de conocimientos matemáticos a otro contexto supone por parte del profesorado la valoración de la adquisición real de las competencias clave, en este caso matemáticas. Jiménez et al. (2023) estima que es necesario plantear al alumnado situaciones que supongan la aplicación en fuera del contexto educativo al que están acostumbrados, por lo que aplicarlo en la música, tejiendo relaciones con las matemáticas y combinando sujetos es un contexto ideal para llevar a cabo estas prácticas didácticas (Song & Tillman, 2015). Gracias a esta investigación se ha resaltado la carencia que hay de combinar la aplicación de las competencias matemáticas con otros ámbitos. Igualmente ha ayudado al alumnado a plantearse nuevas maneras de aplicar los conocimientos que tienen, reforzando entonces objetivos claros de la ley actual de educación.

7. CONCLUSIÓN

El eje vertebrador de toda la investigación ha estado muy ligado a la interdisciplinariedad, por eso el centro en el que se ha llevado a cabo la parte

práctica presentaba un contexto idóneo. El primer objetivo de este trabajo: estudiar cómo la música puede influir en la adquisición de competencias clave matemáticas, se obtiene una clara respuesta, que, de acuerdo con estudios como los de Azaryahu (2020), da Silva, Costa, Lopes (2022), Haimson (2011), Kashyap (2020), Pesic (2010), Song y Tillman (2015) y Stradley (2023), se concluye que la música ayuda a mejorar las habilidades y conocimientos matemáticos. En todas las categorías analizadas y a partir de las herramientas de evaluación, los resultados muestran una mejora en la adquisición de conocimientos, así como en la predisposición por parte del alumnado a realizar este tipo de sesiones. El álgebra y el pensamiento computacional han sido las dos categorías con mejores resultados, ya que han estado presentes en todas las sesiones y han algunas metodologías que formaban parte de las actividades eran familiares para los estudiantes, como localizar los grados de un fragmento musical. El resto de categorías requieren de mayor tiempo de sesiones prácticas para poder concluir y corroborar las hipótesis de manera adecuada, aunque como primer acercamiento, los indicios dirigen a tener respuestas similares a las otras categorías. El objetivo de diseñar materiales didácticos específicos para poder implementarlo como herramienta para dar respuesta a preguntas como ¿produce motivación en el alumnado tratar las música y matemáticas de manera interdisciplinar? o ¿el alumnado es capaz de relacionar los conocimientos musicales y matemáticos?, y de acuerdo con Mato Vázquez (2019), este tipo de prácticas tienen un valor muy significativo en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes se han mostrado entusiastas con este tipo de prácticas y solicitan que se realicen con mayor asiduidad.

7.1 Relación de los resultados con la profesión docente

Los resultados de la investigación inciden de forma directa en la praxis del profesorado, al evidenciar que la convergencia entre contenidos musicales y competencias matemáticas no solo es viable, sino pedagógicamente fructífera. La respuesta del alumnado frente a la unidad de aprendizaje diseñada corrobora la pertinencia de situar al docente como creador de experiencias

interdisciplinarios. Cabe resaltar que, para conseguir estas reacciones, los materiales didácticos tienen que tener un diseño fundamentado en una adecuada estrategia pedagógica, con suficiente valor tanto musical como matemático y correspondiente al nivel del alumnado en ambos ámbitos. De este modo podrán disfrutar de un aprendizaje significativo, que les haga sacar las competencias adquiridas a otros contextos y reforzar los objetivos del Real Decreto 217/2022 que tratan sobre poder aplicar las competencias en contextos reales. Por otra parte, se debe tener en cuenta que la integración plena en la programación, aunque solamente sea implicando una asignatura externa, exige más coordinación interdepartamental y un calendario estable de sesiones, así como una comunicación fluida, aspectos que se quedaron fuera del alcance temporal del estudio realizado.

Se puede, por lo tanto, concluir que la triangulación entre evidencia, práctica y marco metodológico invita a ampliar el enfoque transdisciplinar, con mayor sentido en un centro como en el que se ha realizado la experiencia. Los resultados han sido muy positivos y apuntan a la conveniencia de institucionalizar módulos estables donde la música funcione como auténtico laboratorio para la adquisición de competencias clave e incluso específicas de otras áreas, como son por ejemplo el razonamiento proporcional, el pensamiento computacional o la probabilidad. Lejos de limitarse a ilustrar destrezas previamente adquiridas, este planteamiento ha facilitado la asimilación de contenidos matemáticos de alta complejidad, en la aplicación realizada desde la manipulación de números irracionales hasta la interpretación de distribuciones de frecuencia. La versatilidad demostrada en las distintas categorías analizadas sugiere que el método es extrapolable a otros dominios del currículo matemático. Para objetivar el progreso competencial, se propone combinar rúbricas con ítems musicales y específicamente matemáticos, interactuando los profesores de diferentes departamentos, de modo que cada actividad pueda evaluarse atendiendo tanto a la coherencia musical como al rigor lógico-numérico.

Los resultados obtenidos reafirman por lo tanto la relevancia del docente como profesional reflexivo y colaborativo entre áreas, para un aprendizaje mejor adaptado tanto a la ley como a los intereses de los alumnos.

7.2 Limitaciones del estudio

La solidez de los resultados debe matizarse a partir de varias restricciones metodológicas que condicionan su alcance y su capacidad de generalización. En primer lugar, la brevedad del programa de implementación, limitado a unas pocas sesiones, y la falta de continuidad de la secuencia didáctica impidieron contrastar de forma exhaustiva todas las hipótesis inicialmente formuladas. En segundo lugar, el estudio se llevó a cabo con una muestra reducida y de seleccionada en función de la disponibilidad de grupos dentro del propio centro. La ausencia de un grupo de control paralelo, debida a limitaciones organizativas y a la organización curricular, restringe la el modo de comparar los resultados y la influencia de la intervención aplicada. Por lo tanto, la naturaleza puntual de la intervención solo permite afirmar efectos a corto plazo, en un entorno concreto y dificulta inferir su estabilidad en el tiempo, lo que recomendaría aplicar durante mayor tiempo y con mayor número de alumnos el diseño planteado.

7.3 Futuras líneas de actuación

Gracias a este estudio, se refuerza que esta visión compartida debería ponerse a debate en claustros y seminarios: todos los estudiantes han manifestado su utilidad, su deseo de continuidad y un notable incremento de la motivación, indicadores que justifican la adopción institucional de la propuesta. Por consiguiente, la investigación respalda la viabilidad y la pertinencia de un enfoque didáctico que, lejos de constituir un complemento anecdótico, se perfila como un elemento clave para la consecución de la competencia matemática en 4º de la ESO y para el enriquecimiento de la educación musical en su dimensión más científica.

Se considera entonces interesante realizar un estudio de caso de la música como real medida transdisciplinar entre la totalidad de las asignaturas del currículo, sobre todo ante las premisas de la buena recepción por parte del alumnado, cobrando mayor sentido el fin de un centro que integra enseñanzas musicales regladas y educación obligatoria. Otra línea de investigación

complementaria sería realizar un estudio sobre un programa que abarque todo el curso académico. Llevar a cabo un diseño longitudinal permite observar la evolución de la transferencia matemática, medir la retención a medio plazo y detectar factores que favorecen o dificultan la progresión, así como estudiar si la aplicación tiene los mismos efectos entre un mayor número de unidades de aprendizaje.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abdounur, O. J. (2009). Razones, proporciones y pensamiento proporcional en la música pitagórica: un abordaje histórico-didáctico. J. Giménez (Ed.), *La proporción: arte y matemáticas.*, 61-86. Graó.
- Aguerrondo, I. (2009). Conocimiento complejo y competencias educativas. *IBE Working Papers on Curriculum*, 8, 1-13. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182526>
- Akin, A. (2023). Let me make mathematics and music together: A meta-analysis of the causal role of music interventions on mathematics achievement. *Educational Studies*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/03055698.2023.2216826>
- An, S., Capraro, M. M., & Tillman, D. A. (2013). Elementary teachers integrate music activities into regular mathematics lessons: effects on students' mathematical abilities. *Journal for Learning through the Arts*, 9 (8), 1-19. <https://doi.org/10.21977/D99112867>
- Anderson, M. E. (2014). A Three-Part Study in the Connections Between Music and Mathematics. *Butler Digital Commons*. Recuperado de: <http://digitalcommons.butler.edu/ugtheses/193>
- Aquila, D, (2022), Music as a Liberal Art: The Poetry of the Universe, *Basel*, 13 (9). <https://doi.org/10.3390/rel13090792>
- Arbonés, J., & Milrud, P. (2011). *La armonía es numérica: Música y matemáticas*. RBA.
- Ardila Higuera, J. A., Muñoz Tibocho, A. X., & Jiménez Vega, L. M. (2024). Un acercamiento a la comprensión de las competencias comunicativas.

Rastros Rostros, 26 (1), 1-15. <https://doi.org/10.16925/2382-4921.2024.01.10>

Arias García, E., Castro Hernández, R. M. de, Carretero González, M., Arranz García, O., Alonso Secades, V., Huete García, S., González Alonso, F., Escudero Vidal, J., Luna Cortes, J. Jesús., Bernal Hernández, M., Sánchez-Carralero Carabias, N., Iglesias Chaves, C., Gil Talavero, G., Pérez Muñoz, S., Sánchez Muñoz, A., Castaño Calle, R., Jiménez Vivas, A., García Herrero, M. M., & Polo González, M. E. (2017). *Competencias educativas e innovación*. Universidad Pontificia de Salamanca, Servicio de Publicaciones.

Arteaga-Marín, M., Sánchez-Rodríguez, A., Olivares-Carrillo, P., & Maurandi-López, A. (2022). Revisión sistemática y propuesta para la implementación de metodologías activas en la educación STEM. *EDUCATECONCIENCIA*, 30 (36), 36-76. <https://doi.org/10.58299/ex92v043>

Azaryahu, Libby, Susan Joan Courey, Rivka Elkoshi, & Esther Adi-Japha. (2020) MusiMath and Academic Music: Two Music-Based Intervention Programs for Fractions Learning in Fourth Grade Students. *Developmental Science*, 23, 1-17. <https://doi.org/10.1111/desc.12882>

Bailey, D. (2021) Bach as mathematician. <https://mathscholar.org/2021/06/bach-as-mathematician/>

Beltrán-Pellicer, P., & Alsina, Á. (2022). La competencia matemática en el currículo español de Educación Primaria. *Márgenes, Revista de Educación de la Universidad de Málaga*, 3 (2), 31-58. <https://doi.org/10.24310/mgnmar.v3i2.14693>

Bermeo, A. del P. S., Guachichullca, C. E. M., Solano, S. del R. F., & Chuncho, S. D. E. (2023). Inferencia de un Enfoque Educativo Steam para el Desarrollo de un Pensamiento Crítico en Estudiantes de Básica Superior. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 64751-6475. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9179

Bertos, M C. (2009) *Música y matemáticas*. Universidad de Granada. Recuperado de

<https://www.ugr.es/~jmcontreras/thales/1/MesaRedondaPDF/BertosMesaRedonda.pdf>

Blasco-Magraner, J. S., Bernabé-Valero, G., Marín-Liévana, P., & Moret-Tatay, C. (2021). Effects of the educational use of music on 3- to 12-year-old children's emotional development: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 36-68. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073668>

Bolívar, A. (2010). *Competencias básicas y currículum*. Síntesis.

Campollo Urkiza, A. (2019). *Competencias Clave y su desarrollo en primaria a través de la educación musical: un estudio cuasi-experimental*. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. Docta Complutense.

Campollo-Urkiza, A.; Cremades-Andreu, R. (2022). Contribuciones de la Educación Musical al desarrollo de la Competencia en Comunicación Lingüística en Primaria. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 19, 51-61. <https://doi.org/10.5209/reciem.76647>

Cárdenas Soler, R. N., Martínez Álvarez, J. D., & Cremades Andreu, R. (2017). Competencias de lectura y escritura en música. Una propuesta para su asimilación en el currículo escolar. *Cuadernos de Lingüística Hispánica*, 29, 181-201. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322249834009>

Chao-Fernández, Rocío. (2025). Actividades interdisciplinarias de matemáticas y música para Educación Infantil. *ResearchGate*. 6, 32-36 <https://doi.org/10.17979/reipe.2015.0.06.123>

Consejo de la Unión Europea. (2018). *Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning (2018/C 189/01)*

Consejo de la Unión Europea. (2018). Recomendación del Consejo de 22 de mayo de 2018 relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente (2018/C 189/01). *Diario Oficial de la Unión Europea*, C 189, 1-13.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE.

- Cslovjecsek, M. y Linneweber - Lammerskitten, H. (2011). Snappings, clappings and the representation of numbers. *The New Jersey Mathematics Teacher*, 69(1), 10-12.
<https://doi.org/10.1002/pssa.2210740160>
- Da Silva, A, Costa, M, Bernardino, L (2022), Doing mathematic with music- Creating epistemic environements, *EURASIA Journal of Mathematics, Scienc and Technology Education*, 18 (5).
<https://doi.org/10.29333/ejmste/12034>
- Díaz Barriga, F. y Hernández, G. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significado*. McGraw-Hill.
- Díaz, N. (2018). Historias de Matemáticas: La Música y las Matemáticas.
<https://historiasdematematicas.blogspot.com/2018/09/la-musica-y-las-matematicas.html>
- Dorio Alcaraz, I., Sabariego Puig, M., & Massot Lafon, M. I. (2009). Características generales de la metodología cualitativa. (Bisquerra, ed.) *Metodología de la investigación educativa*. (2nd ed. pp. 267-284). La Muralla.
- España, Jefatura del Estado. (2020, 30 de diciembre). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*, 340, 122868-122953.
- España. Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022, 29 de marzo). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, 44205-44384.
- Espinosa Cid, R.A, Ríos Higuera, S (2017) El diario de campo como instrumento para lograr una práctica reflexiva. *Congreso Nacional de Investigación Educativa*.
- Eurydice (2002) *Key competencies. A developing concept in general compulsory education*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7f03ab08-d3d3-4398-abc3-d87a499bb78c> [Consulta el 25 de mayo de 2025].
- Fernández-Company, J.F., Alvarado, J.M., García-Rodríguez, M., Chamorro-Cantero, I. (2022). Eficacia de la escucha musica en el rendimiento

- matemático. *Revista Electrónica Complutense de Investigación Musical*.
<https://doi.org/10.5209/reciem.80541>
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61-65.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *PNAS*, 111(23).
<https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Garvía, M. C., Gustems, J., & Ambrós, A. (2015). *Música y lenguaje. Principios teóricos de un encuentro interdisciplinario para mejorar la competencia lectora en educación secundaria*. *Arsteduca*, 11, 8-17.
<https://hdl.handle.net/2445/101486>
- Gavira, S., Barroso Osuna, J. (2015). La triangulación de datos como estrategia en investigación educativa. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (47), 73-88. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i47.05>
- Gelabert Gual, Ll., Berbel Gómez, N., & Sanchez-Azanza, V. A. (2023). La letra con música entra: mejoras en las competencias básicas en el alumnado de un programa integrado de música. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 20, 49-58.
<https://doi.org/10.5209/reciem.83091>
- González Barroso, M. M. (2015). La cualidad interdisciplinar de la música: Propuestas metodológicas. *Revista de Educación y Humanidades*, 7, 65-83. <http://hdl.handle.net/10481/34854>
- Haimson, J., Swain, D., & Winner, E. (2011). Do Mathematicians Have Above Average Musical Skill? *Music Perception*, 29(2), 203-213.
<https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.203>
- Harney, Kristin. (2020). *Integrating Music Across the Elementary Curriculum*. Oxford University Press.
- Henrik Reeh. (2017). *Quand la musique donne le ton*. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 75, 107-116. <https://doi.org/10.4000/ries.5974>
- Hernández-Bravo, J. A., Hernández-Bravo, J. R., de Moya-Martínez, M. del V., & Cózar-Gutiérrez, R. (2014). La educación musical competencial en

- España: ¿Necesidad o deseo? *Revista Electrónica Educare*, 18(3), 237-249. <https://doi.org/10.15359/ree.18-3.12>
- Heredia, A. (2018). Interdisciplinariedad en el Aula. *Pedagogía Cubana*, 66-71. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1161>
- Jacobs, H.H. (1989), *Interdisciplinary Curriculum: Design and Implementation*, Association for Supervision and Curriculum Development.
- Jaschke, A., Honing, H., & Scherder, E. (2018). Longitudinal Analysis of music education on executive functions in primary school children. *Frontiers In Neurociencia*, 12(103), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.01033>
- Haimson, J., Swain, D., & Winner, E. (2011). Do Mathematicians Have Above Average Musical Skill? *Music Perception*, 29(2), 203-213. <https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.203>
- Jiménez, V., Naranjo, M., & Santaella, X. (2023). La cooperación en el marco de las competencias de la LOMLOE: Claves para su enseñanza y evaluación. *Temps d'Educació*, 65, 311-328. <https://doi.org/10.21001/tempseducacio.2023.65.16>
- Kashyap, R. (2020). The Universal Language: Mathematics or Music? *Journal for Multicultural Education*, 14(3). <https://doi.org/10.1108/JME-10-2019-0067>
- Liern Carrion, V. y Queralt Llopis, T. (2008). Música y matemáticas: la armonía de los números. FESPM Recuperado de: https://www.fespm.es/IMG/pdf/dem2008_-_musica_y_matematicas.pdf
- LOE. *Ley Orgánica de Educación (2006) Boletín Oficial del Estado núm. 106, de 4 de mayo de 2006.*
- LOMLOE. *Ley orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín oficial del estado núm. 340, de 30 de diciembre de 2020.*
- López Rodríguez, M. (2016). Matemáticas y música de 0 a 3. *Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia*, 5(1), 65-68. <https://doi.org/10.24197/edmain.1.2016.65-68>
- Majjul Cabarcas, Y. M. (2022). *Saberes compartidos: Integrando el currículo desde la interdisciplinariedad*. Repositorio Institucional Uninorte. <http://hdl.handle.net/10584/10721>

- Mato-Vázquez, D., Chao-Fernández, R., Chao-Fernández, A. (2019), Efectos de enseñar matemáticas a través de actividades musicales, *RELIME.*, 22 (2), 163-184. <https://doi.org/10.12802/relime.19.2222>
- Moreno, A. E., Rodríguez, J. V. R., & Rodríguez, I. R. (2018). La importancia de la emoción en el aprendizaje: Propuestas para mejorar la motivación de los estudiantes. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, 15(29), 3-11.
- Moya, J. M., & Luengo, F. (2011). *Teoría y práctica de las competencias*. Graó.
- Olmedo-Flores, D. E., Gordon-Merizalde, G. J., Jara-Zarria, H. M., Chuqui-Shañay, M. E., Lema-Coordonez, S. X., & Palaguaray-Guagrilla, D. A. (2024). La Eficacia de la Gamificación en el Fomento de la Motivación y el Aprendizaje Activo en Aulas Virtuales. *Revista Científica Retos de la Ciencia*, 1(4). <https://doi.org/10.55951/retos.v1i4.2179>
- Organista, P. (2007). El concepto de competencias: una mirada histórica desde la psicología de la cognición. *Cuadernos Hispanoamericanos de Psicología*, 1(7), 69-76.
<https://doi.org/10.19053/0121053X.N29.2017.5859>
- Pérez-Aldeguer, S. (2014). El canto coral: una mirada interdisciplinar desde la educación musical. *Estudios Pedagógicos*, 40(1), 389-404.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07052014000100023>
- Pesic, P. (2010). Hearing the Irrational: Music and the Development of the Modern Concept of Number. *Isis*, 101(3), 501–530.
<https://doi.org/10.1086/655790>
- Perlovsky, L. (2010). Musical emotions: Functions, origins, evolution. *Physics of Life Reviews*, 7(1), 2–27. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2009.11.001>
- PISA 2022 Results (Volume I and II) - Country Notes: Spain). OECD.
- Pitarch Badal, A (2023) *La evaluación por competencias*.
<https://www.melomanodigital.com/la-evaluacion-pro-competencias-en-el-area-de-musica/>
- Real Academia Española. (2025). Diccionario de la lengua española.
<https://dle.rae.es/>
- Rickard, N. S., Bambrick, C. J., & Gill, A. (2012). Absence of widespread psychosocial and cognitive effects of school-based music instruction

- in 10-13 year old students. *International Journal of Music Education*, 30(1), 57-78. <https://doi.org/10.1177/0255761411431399>
- Rodrigo, F., Molines, S., & Gómez, C. B. (2019). Proyectos educativos integrados para el aprendizaje competencial de los maestros, en los grados superiores de educación: Análisis de una experiencia y primeros resultados de aprendizaje. *Publicaciones. Facultad de Educación y Humanidades del Campus de Melilla*, 49(1), 63-78. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v49i1.9853>
- Ruiz, M. (2013). John Dewey y la experiencia educativa: implicaciones para la formación basada en competencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 62(1), 97-116. <https://doi.org/10.35362/rie621259>
- Sánchez Fontalvo, I. M., & González Monroy, A. M. (2020). *Metodologías cualitativas en la investigación educativa*. Sello.
- Silva Ribeiro, F., & Santos, F. (2017). Enhancement of numeric cognition in children with low achievement in mathematic after a non-instrumental musical training. *Research in Developmental Disabilities*, 62, 26-39. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.11.008>
- Song A, Tillman, A (2015), Music activities as a meaningful context for teaching elementary students mathematics: a quasi-experiment time series design with random assigned control group, *European Journal of Science and Mathematics Education*, 3(1) 45-60. <https://doi.org/10.30935/scimath/9420>
- Stake, R.E. (2010). Investigación cualitativa: el estudio de cómo funcionan las cosas. New York: The Guilford Press. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 3 (3). Recuperado a partir de <https://revistas.uam.es/riee/article/view/4486>
- Stradley, S (2023), *Interdisciplinary Studies in General Music Education: Enhancing Learning Across Content Areas*, [Tesis doctoral, Liberty University], Scholars Crossing.
- Tillman, D. A., An, S. A., & Lesser, L. M. (2018). *Doing mathematics with music: Creating epistemic environments*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2379-2391. <https://doi.org/10.29333/ejmste/90761>

- Torres, A (2021) *Iannis Xenakis, Las matemáticas y la música*, Semillas.
<https://semillas.konradlorenz.edu.co/2014/07/iannis-xenakis-las-matem%C3%A1ticas-y-la-m%C3%BAsica.html>
- Trigo Ibáñez, E., Rodríguez Blázquez, I. M., & Moreno Verdulla, P. (2019). ¡Mira qué alegría! Promoviendo el conocimiento de la cultura andaluza en Educación Secundaria Obligatoria: Una propuesta didáctica. *Álabe: Revista de Investigación sobre Lectura y Escritura*, 19(7).
<https://doi.org/10.15645/Alabe2019.19.7>
- UNESCO. (2015). *Repensar la educación: ¿Hacia un bien común mundial?* UNESCO Publishing
- UNESCO. (2016). *Educación 2030: Declaración de Incheon y Marco de Acción para la implementación del ODS 4*. UNESCO Publishing
- UNESCO. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje*. UNESCO Publishing
- Valero-Esteban, J. M., Alcover, C. M., Pastor, Y., Moreno-Díaz, A., & Verde, A. (2024). Emotions and music through an innovative project during compulsory secondary education. *Heliyon*, 10(4).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25765>
- Valle, J. M. y Manso, J. (2018). El prácticum en la formación inicial: Aportaciones del modelo 9:20 de competencias docentes. *Cuadernos de Pedagogía*, 489, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25765>
- Viladot, L., Hilton, C., Casals, A., Saunders, J., Carrillo, C., Henley, J., González-Martín, C., Prat, M., & Welch, G. F. (2018). The Integration of Music and Mathematics Education in Catalonia and England: Perspectives on Theory and Practice, *Music Education Research*, 20 (1) 71-82. <https://doi.org/10.1080/14613808.2017.1290595>
- Zabala, A. (2011) Com cal ensenyar les competències i avaluar-les. *Què, quan i com ensenyar les competències bàsiques a primària. Proposta de desplegament curricular*. 29-49. Graó
- Zabala, A., & Arnau, L. (2014). *Métodos para la enseñanza de las competencias*. Graó.

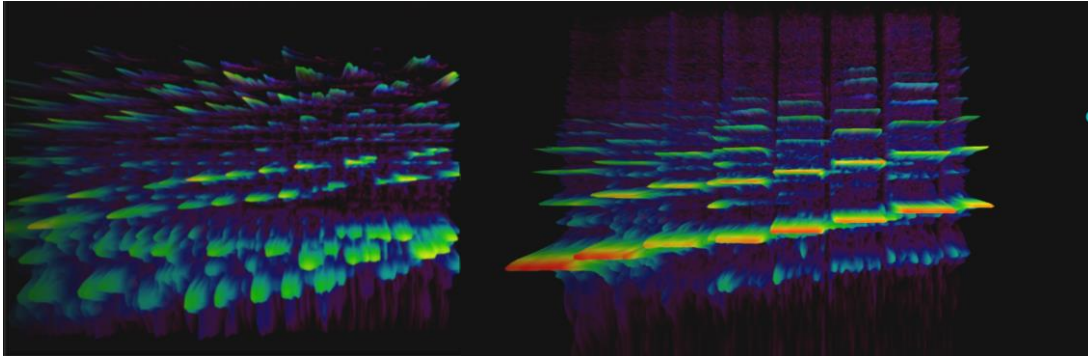
Zuk, J., Benjamin. C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2018). Behavioral and Neural Correlates of Executive Functioning in Musicians and Non-Musicians. *PLoS One*, 11(13), 1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099868>

ANEXOS

ANEXO 1. Ejemplos de uso del espectrograma para la primera actividad de la secuencia 1.

Ilustración 2.

Muestras del uso del espectrograma en la SA1.

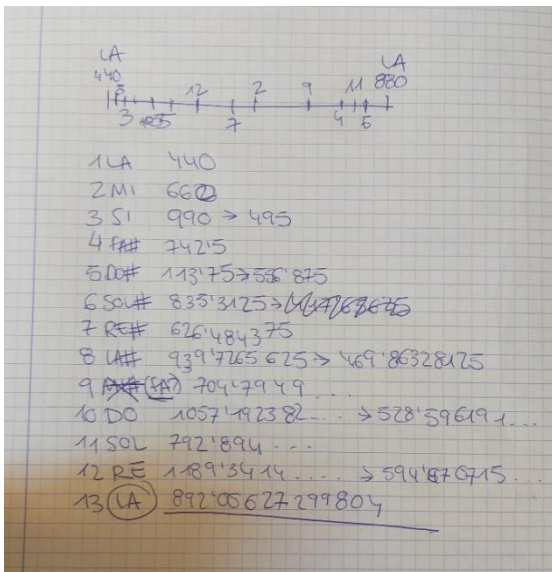


Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2. Material realizado por el alumnado para la segunda actividad de la secuencia 1.

Ilustración 4.

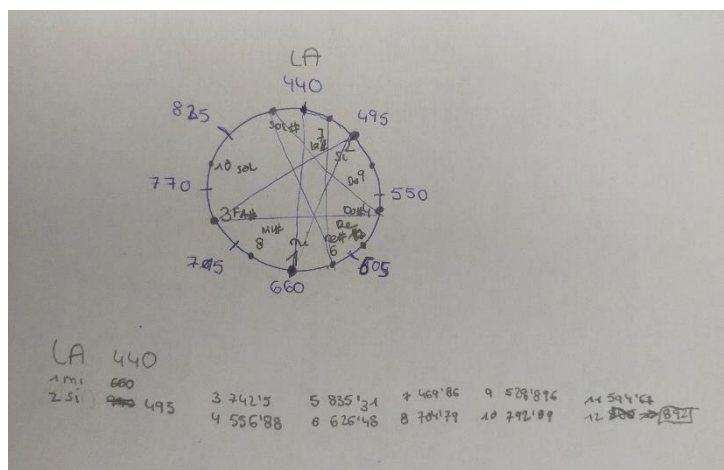
Material alumnado SA1 .



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3.

Material alumnado SA1



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3. Ejemplo de material para la actividad 3 de la secuencia 1.

Tabla ejemplo para comparar las notas de la escala bien temperada y su frecuencia en hercios.

Ilustración 5.

Tabla relación frecuencias y hercios.

FRECUENCIA DE LAS NOTAS MUSICALES EN HERCIOS (Hz)									
	OCTAVA 0	OCTAVA 1	OCTAVA 2	OCTAVA 3	OCTAVA 4	OCTAVA 5	OCTAVA 6	OCTAVA 7	OCTAVA 8
Do	16,3516	32,7032	65,4064	130,813	261,626	523,251	1046,50	2093,00	4186,01
Do# / Reb	17,3239	34,6479	69,2957	138,591	277,183	554,365	1108,73	2217,46	4434,92
Re	18,3540	36,7081	73,4162	146,832	293,665	587,330	1174,66	2349,32	4698,64
Re# / Mib	19,4454	38,8909	77,7817	155,563	311,127	622,254	1244,51	2489,02	4978,04
Mi	20,6017	41,2035	82,4069	164,814	329,628	659,255	1318,51	2637,02	5274,04
Fa	21,8268	43,6536	87,3071	174,614	349,228	698,456	1396,91	2793,83	5587,66
Fa# / Solb	23,1246	46,2493	92,4986	184,997	369,994	739,989	1479,98	2959,96	5919,92
Sol	24,4997	48,9995	97,9989	195,998	391,995	783,991	1567,98	3135,96	6271,92
Sol# / Lab	25,9565	51,9130	103,826	207,652	415,305	830,609	1661,22	3322,44	6644,88
La	27,5000	55,0000	110,000	220,000	440,000	880,000	1760,00	3520,00	7040,00
La# / Sib	29,1353	58,2705	116,541	233,082	466,164	932,328	1864,66	3729,31	7458,62
Si	30,8677	61,7354	123,471	246,942	493,883	987,767	1975,53	3951,07	7902,14

Fuente: ciudadpentagrama.com

ANEXO 4. Material de la secuencia 2

Para la primera actividad se compara la tabla de Mozart con las siguientes tablas de creación de frases de reggaetón.

Ilustración 6

Tabla creadora frases.

Generador de frases modernas para reggaetón				
	1ª Tirada	2ª Tirada	3ª Tirada	4ª Tirada
1	Bebesita	Linda	Quiero darte	Toda la noche
2	Gatita	Mía	Dame calor	Hasta el amanecer
3	Shorty	Hermosa	Baila conmigo	Sin miedo
4	Mami	Loca	Disfrutemos	Sin compromiso

Fuente: hispasonic.com

Ilustración 7

Tabla creadora frases.

CÓMO COMPONER REGGAETÓN					
Instrucciones: Seleccione una palabra de cada una de las columnas de izquierda a derecha y a perrear!					
1	2	3	4	5	6
Mami	yo quiero	castigarte	duro	hasta que salga el sol	sin miedo
Gata	vamos a	cogerle	rápido	toda la noche	sin anestesia
Perra	yo voy a	encenderle	lento	hasta el amanecer	en el piso
Zorra	yo quiero	darte	suave	hasta mañana	contra la pared
Chica	yo vengo a	azotarte	fuerle	todo el día	sin compromiso

Nota: para hacer el coro, repetir una palabra de la tercera columna 3 veces, continuar con una frase de la quinta columna y terminar con una palabra de la cuarta columna.

Fuente: hispasonic.com

ANEXO 5. Tabla de repartición de compases por estudiante para la secuencia 2.

Tabla 7

En la tabla presentada, cada estudiante corresponde a un En, y las letras A y B corresponden a sus dos compases. En la parte izquierda se presenta cada número del dado y arriba la armonía que se está siguiendo.

3/8	Do I	Do I	Do V	Do I	Sol V	Sol I	Sol IV	Sol I
1	E1 A	E2 A	E3 A	E4 A	E5 A	E6 A	E7 A	E8 A
2	E1 B	E2 B	E3 B	E4 B	E5 B	E6 B	E7 B	E8 B
3	E9 A	E10 A	E11 A	E12 A	E13 A	E14 A	E15 A	E16 A
4	E9 B	E10 B	E11 B	E12 B	E13 B	E14 B	E15 B	E16 B
5	E7 A	E4 A	E8 A	E1 A	E5 A	E3 A	E2A	E6 A
6	E15A	E12 A	E16 A	E9 A	E13A	E11 A	E10 A	E14 A

3/8	Sol V	Sol I	Sol IV	Sol I	Do I	Do I	Do V	Do I
1	E5 A	E6 A	E7 A	E8 A	E1 A	E2 A	E3 A	E4 A
2	E5 B	E6 B	E7 B	E8 B	E1 B	E2 B	E3 B	E4 B
3	E13 A	E14 A	E15 A	E16 A	E9 A	E10 A	E11 A	E12 A
4	E13 B	E14 B	E15 B	E16 B	E9 B	E10 B	E11 B	E12 B
5	E5 A	E3 A	E2A	E6 A	E7 A	E4 A	E8 A	E1 A
6	E13A	E11 A	E10 A	E14 A	E15A	E12 A	E16 A	E9 A

ANEXO 6. Material musical para la primera actividad de la secuencia 3.

En la actividad 1 de la secuencia se trabaja con las siguientes variaciones de los 14 cánones sobre el bajo Goldberg:

Ilustración 8:

Fragmentos de las variaciones.

1.



Variación 1: retrogradación. Comenzar de atrás hacia adelante

2.



Variación 2: inversión desde v1 y retrogradación 2 voz. La inversión consiste en hacer un espejo horizontalmente de la melodía.

3.



Variación 3: canon e inversión. El canon es la misma melodía que empieza más tarde.

14.



Variación 14: inversión, aumentación y disminución, transporte. La aumentación y disminución cambia la duración de una nota respetando una proporción. El transporte consiste en tocar la misma melodía, pero todas las notas están a una distancia superior o inferior igual respecto a la nota que le correspondería.

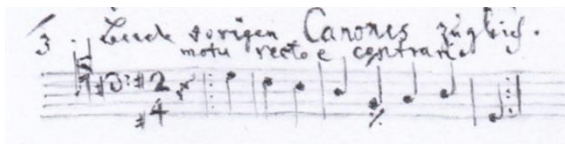
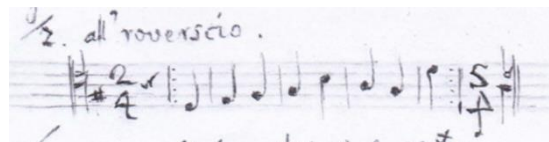
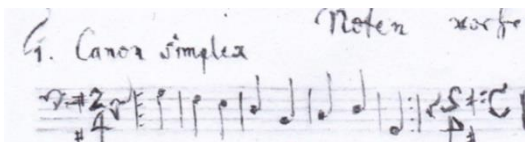


Fuente: imlsp.org

Facsimiles de las mismas variaciones:

Ilustración 9

Facsimiles realizados por Bach.



Fuente: imlsp.org

La solución de la cuadrícula completa tras realizar el ejercicio es la siguiente, teniendo en cuenta que el motivo original es de color azul, la inversión de color amarillo y la retrogradación de color rosa.

Ilustración 12

Ejercicio representación motívica realizado. Elaboración propia



Fuente: elaboración propia

ANEXO 8. Material para la tercera actividad de la secuencia 2.

Durante la actividad 3 se presenta la siguiente matriz de Schönberg:

Ilustración 13

Matriz Schönberg

	I ₀	I ₁	I ₃	I ₉	I ₂	I ₁₁	I ₄	I ₁₀	I ₇	I ₈	I ₅	I ₆	
P ₀	E	F	G	Db	Gb	Eb	Ab	D	B	C	A	Bb	R ₀
P ₁₁	Eb	E	Gb	C	F	D	G	Db	Bb	B	Ab	A	R ₁₁
P ₉	Db	D	E	Bb	Eb	C	F	B	Ab	A	Gb	G	R ₉
P ₃	G	Ab	Bb	E	A	Gb	B	F	D	Eb	C	Db	R ₃
P ₁₀	D	Eb	F	B	E	Db	Gb	C	A	Bb	G	Ab	R ₁₀
P ₁	F	Gb	Ab	D	G	E	A	Eb	C	Db	Bb	B	R ₁
P ₈	C	Db	Eb	A	D	B	E	Bb	G	Ab	F	Gb	R ₈
P ₂	Gb	G	A	Eb	Ab	F	Bb	E	Db	D	B	C	R ₂
P ₅	A	Bb	C	Gb	B	Ab	Db	G	E	F	D	Eb	R ₅
P ₄	Ab	A	B	F	Bb	G	C	Gb	Eb	E	Db	D	R ₄
P ₇	B	C	D	Ab	Db	Bb	Eb	A	Gb	G	E	F	R ₇
P ₆	Bb	B	Db	G	C	A	D	Ab	F	Gb	Eb	E	R ₆
	RI ₀	RI ₁	RI ₃	RI ₉	RI ₂	RI ₁₁	RI ₄	RI ₁₀	RI ₇	RI ₈	RI ₅	RI ₆	

Fuente: bustena.wordpress.com

Donde el número detrás de la letra corresponde al número de semitonos que se distancia del motivo principal y cada letra a un tipo de presentación del motivo. P es la original, I inversión, R retrogradación, RI retrogradación invertida.

Anexo 9. Listas de control para cada secuencia de actividades

Tabla 5

Lista de control SA1

SA 1	SI	NO
Asocia correctamente los hercios y las notas		
Emplea correctamente la serie de quintas		
Comprende la serie de armónicos		
Realiza los problemas planteados		
Busca resolver los problemas planteados de manera lógica		
Participa activamente en clase		

Tabla 6

Lista de control SA2

SA 2	SI	NO
Comprende el funcionamiento del juego de dados		
Razona las probabilidades de cada casilla		
Asocia estrategias musicales compositivas al razonamiento matemático		
Reflexiona sobre la composición musical aleatoria		
Adapta lo explicado a una nueva creación		
Realiza una composición creativa		
Participa activamente en clase		

Tabla 7

Lista de control SA3

SA 3	SI	NO
Transfiere el razonamiento abstracto a lo visual		
Adapta la música a los polígonos		
Relaciona las variaciones motivicas con los movimientos en el plano		
Transfiere los conocimientos musicales expuestos con los matemáticos		
Adapta la terminología musical a la matemática (o viceversa).		
Identifica las transformaciones melódicas		
Organiza la música en un lenguaje matemático		
Propone nuevas estrategias de análisis		
Participa activamente en clase		

Anexo 10. Dianas de autoevaluación para cada secuencia.

Ilustración 15

Diana autoevaluación 1. Elaboración propia

DIANA AUTOEVALUACIÓN 1
NOMBRE:

OBSERVACIONES
COMENTARIOS QUE QUIERAS HACER SOBRE LA EXPERIENCIA, GRADO DE SATISFACCIÓN Y SI CREES QUE TE HA APORTADO ALGO

Fuente: elaboración propia

Ilustración 14

Diana autoevaluación 2. Elaboración propia

DIANA AUTOEVALUACIÓN 2
NOMBRE:

OBSERVACIONES
COMENTARIOS QUE QUIERAS HACER SOBRE LA EXPERIENCIA, GRADO DE SATISFACCIÓN Y SI CREES QUE TE HA APORTADO ALGO

Fuente: elaboración propia

Ilustración 16

Diana autoevaluación 3.

DIANA AUTOEVALUACIÓN 3
NOMBRE:

OBSERVACIONES
COMENTARIOS QUE QUIERAS HACER SOBRE LA EXPERIENCIA, GRADO DE SATISFACCIÓN Y SI CREES QUE TE HA APORTADO ALGO

Fuente: elaboración propia