

## Resultados de una intervención orientada a la modelización entre física-música en formación inicial docente

Macarena Soto Alvarado <sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-8641-4017>

Felipe Porflitt Becerra <sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-9789-9080>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica de Chile

**Resumen.** El presente artículo muestra los resultados de una intervención entre física y música, diseñada para promover una reflexión didáctica en un curso de formación inicial docente (física), considerando la construcción de un Modelo Científico Escolar de sonido, a través del proceso de modelización. Para el levantamiento de datos, se implementó una intervención alineando los principales contenidos de física y música (Propagación del sonido, amplitud y frecuencia). A través de grupos focales posteriores a las dos sesiones consideradas en la intervención, se mostró que los/as docentes en formación valoran de manera positiva la modelización y la interdisciplina, considerándola como una oportunidad favorable de aprendizaje. Al mismo tiempo, los resultados mostraron categorías emergentes que pueden contribuir a ambas disciplinas (física y música), proponiendo mejoras a este tipo de intervenciones en formación inicial docente. Se espera que esta intervención pueda ser inspiradora para contextos universitarios, así como para su implementación en aulas de secundaria.

**Palabras clave:** interdisciplina; física; modelización; música; sonido.

### Resultados de uma intervenção orientada para a modelação entre a física e a música na formação inicial de professores

**Resumo.** O presente artigo apresenta os resultados de uma intervenção entre física e música, concebida para promover a reflexão didática em um curso de formação inicial de professores (física), considerando a construção de um Modelo Científico Escolar do som, por meio do processo de modelagem. Para a coleta de dados, foi implementada uma intervenção alinhando os principais conteúdos de física e música (propagação do som, amplitude e frequência). Por meio de grupos focais após as duas sessões consideradas na intervenção, foi demonstrado que os professores em formação valorizam positivamente a modelagem e a interdisciplinaridade, considerando-as uma oportunidade de aprendizado favorável. Ao mesmo tempo, os resultados mostraram categorias emergentes que podem contribuir para ambas as disciplinas (física e música), propondo melhorias para esse tipo de intervenção na formação inicial de professores. Espera-se que essa intervenção possa ser inspiradora para contextos universitários, bem como para sua implementação em salas de aula do ensino médio.

**Palavras-chave:** interdisciplinaridade; física; modelagem; música; som.

### Physics-Music Intervention Results based on Modeling in the Initial Teacher's Formation

**Abstract.** The present article shows results from a physic-music intervention, designed to promote a didactic reflection in an initial teacher's formation course (physics), considering a scientific school model of sound as a core, using modeling. To collect the data, contents from physics and music were aligned (Sound propagation. Amplitude and frequency). Through focus groups (at the end of each session of the intervention. 2), results show that teachers in formation consider this kind of experience as a positive learning opportunity. At the same time, it shows 2 emergent analysis categories that could contribute to the physics and music fields, proposing that this kind of intervention could be inspiring in a university context, and also in primary and secondary education.

**Keywords:** interdiscipline; physics; modeling; music; sound.

## 1. Introducción

Las vibraciones son parte de nuestra vida cotidiana. Algunas las podemos percibir a través de los sentidos: por la visión podemos observar las ondas generadas por una piedra al caer al agua, por el tacto podemos percibir la vibración de una onda sísmica o por el oído podemos percibir la vibración de membranas, cuerdas o tubos

que componen los instrumentos musicales de percusión, cuerdas o viento (López, 2021). Además, hay otras vibraciones que no podemos apreciar directamente, pero que sí las podemos analizar con la ayuda de las tecnologías, por ejemplo, el uso de los ultrasonidos en las ecografías. La relevancia de las ondas también está presente en otras áreas, como, en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, siendo este un contenido que se aborda en la mayoría de los currículos escolares. Sin embargo, tal como ha sido reportado en algunas investigaciones (Hernández, 2021; López et al., 2020), se suele observar una importante discontinuidad en los tópicos asociados a las ondas desde la primaria hacia la secundaria (Hernández, 2021) y una separación del modelo ondulatorio con las aplicaciones de éste en la vida cotidiana. Por ejemplo, la relevancia de cuidar los hábitos de exposición al ruido por su relación con la sordera (Aiziczon y Cudmani, 2007).

El modelo ondulatorio, focalizando la atención en sonido, ha mostrado evidencias de ser abstracto para el estudiantado a nivel escolar (Hernández, 2021) y en contextos de formación de profesionales (Aiziczon y Cudmani, 2007), observándose la presencia de dificultades e ideas alternativas. Ruiz-González et al. (2021) identifican, por ejemplo, la complejidad del estudiantado de identificar una fuente vibratoria o la habitual confusión que presentan al definir los conceptos de tono e intensidad. Ante estos obstáculos, algunas investigaciones han reportado que una forma de abordar la enseñanza y el aprendizaje del sonido en forma eficiente puede ser a través de la construcción de un Modelo Científico Escolar (MCE) de Sonido a través de procesos de modelización (Cuevas et al., 2017).

Compartiendo esta perspectiva, este trabajo se ha centrado en la construcción de las ideas de propagación del sonido y sus cualidades: frecuencia y amplitud, pertenecientes a un MCE de sonido, en un contexto de Formación Inicial de Docentes (FID) de Física de una universidad chilena. El interés por los contextos de FID surge tras las evidencias de algunas investigaciones que muestran las dificultades que experimenta el profesorado, al intentar incorporar en el aula metodologías como la modelización (Schwarz y Gwekwerere, 2007), y la relevancia que otras investigaciones otorgan a que el profesorado en formación, viva en primera persona los enfoques didácticos que se desean, para que posteriormente se utilicen en el aula de ciencias, y se reflexione en torno a esta experiencia (Martínez-Chico et al., 2014), considerando también las emociones que experimentaron en este proceso (Jiménez-Liso, et al., 2019).

En base a lo descrito anteriormente, en este artículo presentamos los resultados de una intervención didáctica diseñada con dos objetivos para la FID: a) que el profesorado en formación aprenda sobre el MCE de sonido, describiendo, interpretando y explicando en torno a fenómenos acústicos desde una perspectiva interdisciplinaria (física y música); y, b) que el profesorado en formación aprenda sobre el enfoque didáctico de la modelización y mejore su confianza a la hora de transferir esta visión a sus propias clases (Ruiz-González et al., 2021).

## 2. Marco teórico

### 2.1 Cambios de paradigma en la enseñanza de la física: Modelización

Actualmente se reconoce la necesidad de plantear una educación científica que promueva a la ciudadanía una visión del mundo sobre el que puedan pensar, actuar y comunicarse (Domènech-Casal, 2019). Sin embargo, esto requiere de oportunidades de enseñanza y de aprendizaje que se alejen de un modelo didáctico tradicional, basado en la memorización y transmisión de conocimientos (Caamaño, 2011).

En el caso de física, su enseñanza ha sido descrita por López et al. (2020) como *alienante e ineficaz*. Alienante, porque existe una contradicción evidente en su enseñanza en la educación primaria, versus en secundaria, observándose una transición de experiencias didácticas basadas en la experimentación (con fenómenos sorprendentes y cotidianos), hacia una enseñanza centrada en las ecuaciones y cálculos. E ineficaz, porque su enseñanza suele limitarse a los contenidos de fuerza y movimiento.

Desde la actividad científica escolar se ha abordado esta problemática, no sólo presente en la física, sino también en química y biología, identificando cuáles son los modelos científicos escolares (MCE) que se podrían abordar en el aula, para la construcción de explicaciones personales de distintos fenómenos (Izquierdo et al., 1999; Couso, 2014). Los MCE son las versiones escolares de los modelos científicos que han sido adecuados por el profesorado para los procesos de enseñanza y aprendizaje (Hernández et al., 2015). Estos MCE se caracterizan por ser de naturaleza conceptual, y por incluir ideas científicas abstractas y centrales de las disciplinas que nos permiten describir, predecir o explicar un gran abanico de fenómenos.

La utilidad curricular de estos MCE es que permiten sintetizar todos aquellos conceptos e ideas que tradicionalmente se han enseñado de forma aislada, en unas pocas, pero potentes ideas, que se puedan construir progresivamente (Couso, 2014).

La identificación de los MCE y la selección de fenómenos de relevancia para el estudiantado, como, por ejemplo, el acondicionamiento de una sala en base a las propiedades acústicas de los materiales (Hernández et al., 2015), pueden brindar oportunidades para superar las problemáticas asociadas a la enseñanza de la física recién mencionadas (López et al., 2020).

Para construir un MCE se han propuesto diversos ciclos de modelización (Hernández et al., 2015; Schwarz y Gwekwerere, 2007), que permiten al profesorado orientar las secuencias de enseñanza y aprendizaje. Uno de los ciclos que se diferencia del resto, al separar las prácticas de modelización que se quieren promover en el estudiantado de la secuencia didáctica que debería seguir el profesorado para conseguirlo, es el ciclo de Couso (2020), que se presenta en la Figura 1.

Compartiendo la visión de Garrido et al. (2022), necesitamos promover dos componentes en la FID para formar a un profesorado competente en modelización. En primer lugar, que el profesorado vivencie en primera persona las características de este enfoque didáctico (Martínez-Chico et al., 2014), con la intención de que puedan reconocer los retos y oportunidades que brinda la construcción progresiva de los MCE en el aula de ciencias. Y, en segundo lugar, es clave acompañar este proceso

con una reflexión explícita de los aspectos didácticos que orientan los diseños, en conexión con las emociones y vivencias que declara el profesorado al participar de intervenciones de este tipo.

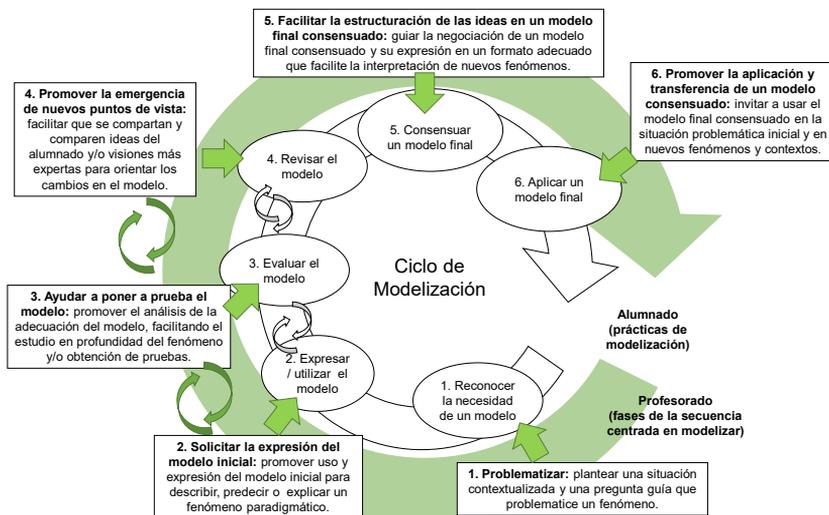


Figura 1. Ciclo de modelización en Couso (2020).

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Propuestas interdisciplinares: física y música

El impacto que pueda tener la música en múltiples áreas de la vida de una persona es algo que, desde las neurociencias, la psicología y la educación musical se ha estado estudiando en las últimas décadas. Se ha mostrado una tendencia por analizar factores de diversos tipos de entrenamiento sobre otras variables, como, por ejemplo, los aspectos de la música que generan un fortalecimiento de habilidades útiles para la vida.

La transferencia de habilidades (Singley y Anderson, 1989), es una discusión antigua en ciencias sociales, donde se observa una cantidad relevante de estudios que muestran a la música como un entrenamiento con buenos tamaños de efecto en transferencia cercana y lejana de habilidades. En términos específicos, se observan efectos para cuatro áreas donde existe evidencia de transferencia de habilidades de la música sobre otros factores; a) aspectos cognitivos (Porflitt y Rosas, 2020), b) aspectos de motricidad fina y gruesa (Chemin et al., 2014), c) aspectos sociales (Álamos, 2019); y, d) aspectos emocionales (Juslin, 2013).

Pese a que la discusión es recurrente y constantemente actualizada, existen pocas asociaciones con los ámbitos educativos, siendo una oportunidad de investigación en distintas áreas disciplinares que podrían vincularse, como en este caso, física y música.

En el mismo sentido, desde la didáctica de las ciencias y de las matemáticas, se han comenzado a identificar algunas de las potencialidades de la música en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Chao-Fernández et al., 2020), identificándose

la necesidad del diseño de propuestas didácticas que promuevan la interdisciplina entre las artes y las ciencias (Mazas-Gil et al., 2016), dado que existen escasos ejemplos que inspiren a docentes e investigadores para el diseño de sus propias intervenciones.

Algunos ejemplos en la literatura han vinculado las áreas de *música* y *matemática*, pero los resultados indican que varias de estas propuestas han resultado ser lejanas a la realidad del aula (Conde et al., 2011), aunque hay ejemplos inspiradores en los que se visualiza que la enseñanza musical ha promovido ventajas en el aprendizaje matemático de los estudiantes (Chao-Fernández et al., 2020). Asimismo, desde el área de la educación musical, se han identificado iniciativas de comunidades de aprendizaje en la FID, en la que participan estudiantes de distintas carreras, como pedagogía en música o física, dónde a través de una serie de actividades en las que cantan, interactúan en colaboración, realizan lecturas y desarrollan habilidades musicales han podido beneficiarse desde los ámbitos educativos, sociales y personales (George et al., 2007).

Un desafío para este estudio fue la diferencia de paradigmas entre las disciplinas de física y música. Desde la física, los fenómenos acústicos son parte de la vida cotidiana, por ello, el sonido es clave para la alfabetización de la ciudadanía y la comprensión de la física actual (Rico et al., 2021). Desde las artes, existen diversas evidencias que muestran los efectos positivos de la música en el desarrollo humano (George et al., 2007). Pese a esta evidencia, en el siglo XXI la investigación en música se ha limitado principalmente a abordar aspectos cognitivos, dejando de lado otras dimensiones integrales que son claves para el desarrollo humano (Porflitt, 2021).

Como equipo de investigación, lo consideramos, además, como una evidencia en la que toda propuesta interdisciplinar debería considerar, que las formas de abarcar los contenidos y métodos de investigación deberían ser distintos (O'Brien et al., 2013). En este caso, para la física, los contenidos de propagación de amplitud y frecuencia del sonido son medibles y observables, mientras que, para la música existe un paradigma distinto para las mismas variables (“el estribillo tiene que sonar más fuerte que la estrofa”, o “bajemos la intensidad en el solo de guitarra para que resalte”), lo que no responde a parámetros medibles. Por lo anterior, es esencial que, en una instancia de diseño interdisciplinar, se realicen consensos respecto a qué se entiende por cada concepto desde cada una de las disciplinas.

### 3. Metodología

Este estudio consideró una metodología cualitativa con un enfoque interpretativo, que busca identificar en profundidad las ideas del profesorado en formación, respecto al enfoque didáctico de la modelización que han experimentado en primera persona. Este enfoque, propuesto por Hindley et al. (2022), busca profundizar precisamente en las metodologías que consideramos para este estudio, vale decir, la auto-reflexión del profesorado en formación, y del cómo cada participante puede guiar su propio aprendizaje mediante un grupo focal. Esta segunda decisión, fue tomada en base a que Cyr (2016) muestra que los grupos focales, permiten establecer los propósitos generales de la investigación en grupo, explorar posteriormente los análisis de manera profunda y ordenar de manera sistémica los resultados para la recolección de datos. De esta manera, se identificaron características distintivas de este contexto para la FID.

### 3.1 Estrategia de recolección y análisis de datos

Además de lo planteado por Cyr (2016), Nell et al. (2015) brindan algunas sugerencias para levantar datos para muestras más precisas en grupos focales para docentes. Una de ellas, es que el momento adecuado para implementarlos, es al terminar una actividad. Por ello, se implementó un grupo focal al finalizar cada una de las sesiones, considerando una duración aproximada de 10 minutos cada uno, grabados en audio. Además, Nell et al. (2015) plantean que este tipo de técnica para profesores (o FID en nuestro caso), tiene la característica de ser una *acción comunicativa*, la que permite, que las personas que se sienten típicamente excluidas participen y se empoderen de la acción.

El proceso de transcripción de los grupos focales duró aproximadamente un mes, y fue tercerizado. El equipo de investigación recibió como producto de este paso un archivo en Excel, con la primera columna de análisis de las respuestas transcritas por cada FD (codificado como E1, E2, E3... E10, para garantizar el anonimato de los casos), y una columna con la codificación abierta, la que permite de manera cinética identificar conceptos y dimensiones según Corbin y Strass (2008). Finalmente, para aumentar la confiabilidad de los datos se utilizó posteriormente una codificación axial, por la que según Harati et al. (2019), además de poder mantener las *ideas clave* del estudio, debe forzar la discusión de los hallazgos entre investigadores/as. Efectivamente, esto llevó al equipo de investigación a discutir los resultados y, así, estar en acuerdo con los contenidos levantados en cada una de las categorías.

### 3.2 Participantes

Los participantes provienen de dos programas de FID, de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Su edad promedio es de 23 años, su distribución específica para esta toma de datos fue de 8 mujeres y 2 hombres (N=10). Los programas de procedencia son: a) Programa de Formación Pedagógica (programa de un año, donde licenciados se especializan en pedagogía); y, b) Pedagogía en Educación Media mención Física. El curso donde fue aplicada la toma de datos se denomina Didáctica de la Física II. En esta casa de estudios los cursos de Didáctica de la Física I y II se realizan con estudiantes de estos dos programas recién mencionados. En términos procedimentales, cada docente en formación firmó un consentimiento informado al inicio de la propuesta didáctica, cumpliendo con el protocolo ético para investigación en ciencias sociales y humanidades.

### 3.3 Descripción de la propuesta didáctica

La propuesta didáctica (PD) se diseñó identificando los conceptos claves que podrían vincularse entre física y música. Se diseñaron dos *guías didácticas*, con los contenidos de: a) propagación del sonido (Guía 1), y b) amplitud y frecuencia (Guía 2).

Las guías didácticas fueron diseñadas siguiendo el ciclo de modelización de Couso (2020) presentado en la Figura 1, desarrolladas en 2 sesiones de 4 horas pedagógicas cada una. Estas guías fueron implementadas en una modalidad de clases presenciales y en co-docencia: una docente de física y un docente de música.

Cabe destacar que este estudio es parte de un pilotaje de una investigación de mayor envergadura en la que se pretende caracterizar la apropiación del enfoque didáctico de la modelización del profesorado de física en formación chileno al vivir en primera persona un curso orientado a esta metodología durante un semestre de implementación (Fondecyt Iniciación N°11220317).

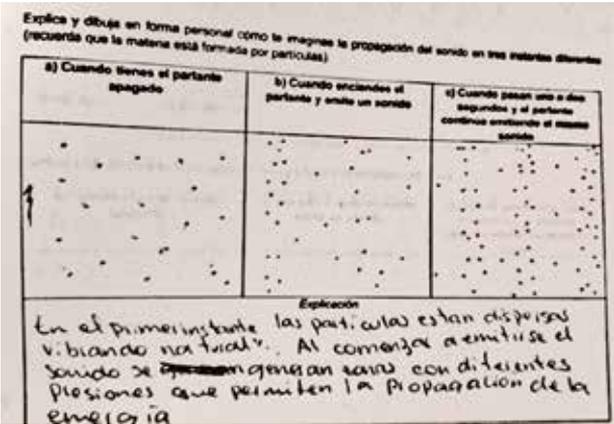
### 3.3.1 Descripción de Guía 1

Tal y como nos indican Ruiz-González et al. (2021) el proceso de construcción de un MCE de sonido, donde se espera que el estudiantado utilice el concepto de vibración para describirlo, es un proceso complejo. Por este motivo, se plantean una serie de actividades que llevan al estudiantado a generar modelos explicativos sobre qué es, y cómo se produce y propaga el sonido. En la Tabla 1 se sintetizan los aspectos didácticos que orientaron el diseño de la Guía 1. Mientras que en la tabla 2 se presentan ejemplos de actividades asociadas a cada fase del ciclo de modelización.

**Tabla 1.** Aspectos didácticos que orientaron el diseño de la Guía 1.

<p><b>Ideas del MCE de sonido</b></p>	<p>Las ideas del modelo de sonido se infirieron desde una revisión de la literatura (e.j. Fonseca y Castiblanco, 2020; Hernández et al., 2015; Hernández, 2021; Rico et al., 2021). Dando origen a las siguientes ideas clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sonido es un evento producido por la vibración de un objeto perturbado mecánicamente por la acción de un emisor o fuente de energía.</li> <li>• Esta perturbación se propaga a través de un medio elástico, transportando energía, pero no materia.</li> <li>• Durante la propagación de una onda sonora se producen una serie de zonas de compresión, donde las moléculas están más cercanas unas de otras y la presión es más alta, y zonas de descompresión o rarefacción, donde las moléculas se separan y la presión es más baja. Las moléculas de aire vibran, de un lado a otro sobre su posición de equilibrio, a lo largo de la dirección de propagación de la onda (onda longitudinal).</li> <li>• Cuanto más nos alejamos de la fuente de sonido, mayor será la fracción de ondas de baja frecuencia (graves) que captaremos; la mayoría de las ondas de alta frecuencia (sonidos agudos) quedan en el camino.</li> </ul>
<p><b>Perspectiva de la música</b></p>	<p>Se desarrollaron las dos grandes áreas de la música planteadas en las bases curriculares de Chile: apreciación e interpretación musical.</p>
<p><b>Objetivo de la sesión</b></p>	<p>El profesorado en formación es capaz de explicar(se), en base a modelos, el uso de instrumentos de percusión (tambor), utilizando las nociones de propagación del sonido.</p>

Tabla 2. Ejemplos de actividades asociadas a cada fase de la modelización en la Guía 1.

Descripción de la actividad	Competencia modelizadora
<p>Para vincular los paradigmas musicales y científicos, la Guía 1 inició con una actividad motora, donde se les solicitó al profesorado en formación (desde ahora PF) relajarse, conectarse con el sonido de un tambor y comenzar a moverse en base a las emociones que emergieran. Luego, se les solicitó formar un grupo pequeño de 2-3 personas, observar las imágenes (Figura 2) y discutir: ¿qué tienen en común todas estas imágenes?, ¿cómo crees que se propaga el sonido desde su emisión hasta que podemos oírlo?</p>  <p>Figura 2. Imagen usada en Guía 1.</p> <p>Después se realiza una puesta en común con toda la clase donde el/la docente orienta el intercambio de ideas.</p>	<p>Reconocer la necesidad de un modelo</p>
<p>Para promover la expresión de un modelo inicial, el docente solicita a los PF explicar y dibujar en forma personal cómo se imaginan la propagación de un sonido (en términos microscópicos) en tres momentos: a) cuando un parlante está apagado, b) cuando un parlante se enciende y emite un sonido; y c) cuando pasan unos segundos y el parlante continúa emitiendo el mismo sonido.</p>  <p>Figura 3. Ejemplo del modelo expresado por un/a PF.</p>	<p>Expresar un modelo</p>

Posteriormente se puso a prueba el modelo expresado a través de la visualización de un simulador (que permitía representar la propagación del sonido en término de partículas), y una experiencia con un instrumento: un tambor construido por el equipo de investigación con materiales reciclados. Se solicitó a cada PF observar cómo un objeto saltaba en la vertical al estar apoyado sobre la membrana superior del tambor, al ser golpeado éste desde su membrana inferior, como se observa en la Figura 4. Y en forma complementaria, observaron qué sucedía con la llama de una vela al golpear el tambor cerca de ella.



Figura 4. Tambor de elaboración propia.

Con el mismo instrumento se trabajó la apreciación musical, solicitando a los/as PF identificar cómo sonaba el tambor al ser golpeado a distintas distancias de la sala de clases.

Evaluar un modelo

Para revisar los modelos, se plantearon nuevos antecedentes a los PF para discutir en grupos pequeños e intercambiar ideas. Estas nuevas pruebas proponían preguntas y antecedentes que permitirían a los PF incorporar nuevas ideas a sus explicaciones: el sonido como onda mecánica-longitudinal.

Revisar un modelo

Para generar una construcción conjunta de significados, y llegar a consensos y a la identificación de las ideas claves del modelo el/la docente genera una discusión con toda la clase.

Consensuar un modelo

La sesión finaliza con la construcción de los PF de su propio tambor, utilizando algunos materiales disponibles en la sala: tarros de pintura, tela, globos, radiografías, elásticos y lápices (baquetas). A partir de esta situación se les demanda explicar y dibujar la propagación del sonido en este instrumento y averiguar cuál es la función de las bordonas.

Aplicar un modelo

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2 Descripción de Guía 2

La Guía 2 pretende abordar las cualidades del sonido de tono e intensidad, que dependen de la frecuencia y amplitud de la vibración, respectivamente. En la Tabla 3 se sintetizan los aspectos didácticos que orientaron el diseño de la Guía 2. Mientras que en la Tabla 4 se presentan ejemplos de actividades asociadas a cada fase del ciclo de modelización.

Tabla 3. Aspectos didácticos que orientaron el diseño de la Guía 2.

<p><b>Ideas del MCE de sonido</b></p>	<p>Las ideas del modelo de sonido se infirieron desde una revisión de la literatura (e.j. Fonseca y Castiblanco, 2020; Hernández et al., 2015; Hernández, 2021; Rico et al., 2021). Dando origen a las siguientes <i>ideas clave</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Podemos usar las tres propiedades de las vibraciones para caracterizar el sonido: la intensidad, el tono y el timbre (Rico et al., 2021) (no abordamos timbre en esta PD).</li> <li>• La intensidad o volumen del sonido se relaciona directamente con la cantidad de energía que transporta la onda sonora. Esta intensidad o volumen se ve afectado por la distancia de la fuente emisora.</li> </ul> <p>Desde la mirada del sonido, la frecuencia se asocia con el tono (agudo-grave). A mayor frecuencia un sonido es más agudo y a menor frecuencia el sonido es más grave.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las características de la cuerda (material, grosor y tensión), afectan la frecuencia/altura del sonido (física y música respectivamente).</li> </ul>
<p><b>Perspectiva de la música</b></p>	<p>Se desarrollaron las dos grandes áreas de la música planteadas en las bases curriculares de Chile: apreciación e interpretación musical.</p>
<p><b>Objetivo de la sesión</b></p>	<p>El profesorado en formación es capaz de explicar(se), el funcionamiento de un instrumento de cuerdas, utilizando las ideas sobre propagación del sonido aprendidas la clase anterior, y las propiedades (física) y/o cualidades (música) de éste.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Ejemplos de actividades asociadas a cada fase de la modelización en la Guía 2.

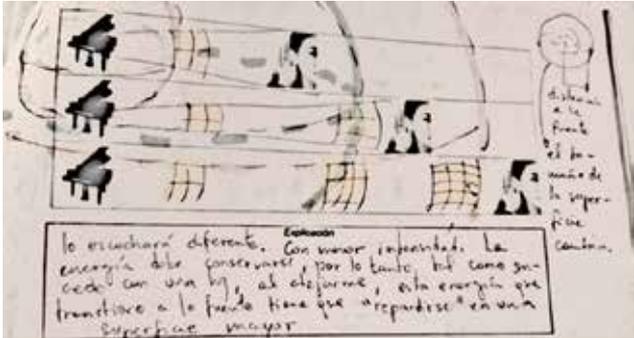
Descripción de la actividad	Competencia modelizadora
<p>La Guía 2 inició con una actividad de percepción musical, donde se esperaba que los PF fuesen capaces de caracterizar distintos tonos en una melodía con un teclado. Posteriormente, el docente desarrolló habilidades básicas de interpretación con un teclado, para que los PF observaran cómo la distancia, o cuán fuerte se realizara la emisión de un sonido, afectaba a la intensidad (amplitud).</p>	Reconocer la necesidad de un modelo
<p>Para promover la expresión de un modelo inicial, el docente solicita a los PF explicar y dibujar en forma personal ¿Cómo representarías el sonido que se emite desde el piano hacia la persona? ¿Cómo escuchará la persona el sonido considerando que proviene de la misma fuente y que en los tres casos el piano emite la misma nota musical?</p> 	Expresar un modelo
<p>Posteriormente se puso a prueba el modelo expresado, con un instrumento musical denominado “tricordio pedagógico” diseñado y construido por el equipo de investigación. Este tricordio permite explicar la teoría pitagórica del sonido y las cuerdas, hasta el cambio de paradigma que se produce en el período barroco (escala mayor y menor: J.S. Bach en “<i>El Clavecín bien temperado</i>”). Este instrumento permitió identificar los cambios existentes en las cualidades del sonido altura e intensidad, para que los/as PF construyeran sus propios instrumentos con materiales cotidianos (cajas de pizza, elásticos, fósforos, entre otros) y realizaran mediciones de frecuencias e identificación de notas musicales utilizando una App del móvil.</p> 	Evaluar un modelo

Figura 5. Ejemplo del modelo expresado por un/a PF.

Figura 6. A la izquierda tricordio construido por los investigadores. A la derecha tricordio construido por FD con materiales reciclados.

Y así, posteriormente realizar relaciones matemáticas y explicaciones a partir de lo experimentado.

Evaluar un modelo

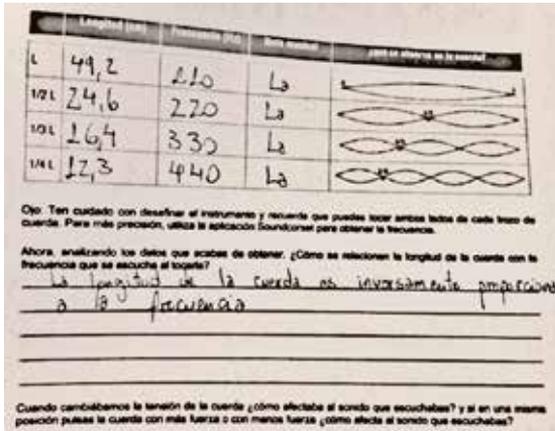


Figura 7. Ejemplo del modelo puesto a prueba por un/a PF

Para revisar los modelos puestos a prueba, se plantearon nuevos antecedentes a los PF para discutir en grupos pequeños e intercambiar ideas. Estas nuevas pruebas proponían preguntas y antecedentes que permitirían a los PF realizar predicciones sobre cómo hallar posiciones de otras notas musicales en el tricordio.

Revisar un modelo

Para generar una construcción conjunta de significados, y poder llegar a consensos y a la identificación de las ideas claves del modelo el/la docente genera una discusión con toda la clase.

Consensuar un modelo

La sesión finaliza con una interpretación musical de una melodía con los monocordios o tricordios construidos por cada grupo. Y un análisis sobre los componentes internos de un piano, en el que se pueden apreciar cuerdas más delgadas o gruesas, así como tamaños distintos en los martillos del piano.

Aplicar un modelo

Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 se presenta un esquema que sintetiza elementos del diseño de las Guías 1 y 2.

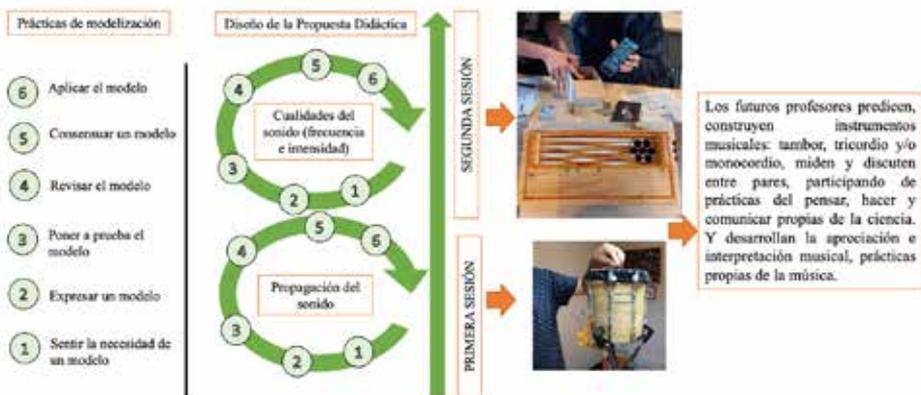


Figura 8. Síntesis de la PD para la construcción de un MCE de sonido.

## 4. Resultados

Los resultados fueron categorizados en base al marco teórico, respondiendo inicialmente a dos ejes determinados para las categorías axiales (Harati et al., 2019). Así, se presenta el siguiente apartado con esos dos ejes, y respondiendo al método de investigación, posteriormente se analizan dos categorías que emergieron del propio levantamiento de datos. Y una última categoría, que corresponde a dificultades en la construcción del MCE de sonido detectadas desde el análisis de las respuestas de los PF en las guías.

### 4.1 Cambios de paradigma en la enseñanza de la física: Modelización

Los resultados muestran una valoración hacia una intervención que no responde a un paradigma clásico de clases, al incluir el uso de instrumentos musicales, manipulativos virtuales, experimentación y momentos de interacción entre pares. Se considera que estos resultados, contribuyeron a la comprensión de nuevos conceptos y a fortalecer los conocimientos sobre sonido de los PF, como muestran las siguientes citas:

*“Eh... a mí me gustó mucho la parte del inicio, porque en las clases de física quizás uno no se imagina tanto que te pueden traer un tambor, entonces siento que ese recurso didáctico para los niños y las niñas los puede motivar, no va a ser, eh... la típica clase de física expositiva” (E7).*

*“A mí de las cosas que más me ayudaron para seguir el hilo de la actividad, fueron justamente el experimento de la vela y el uso del tambor... me hicieron preguntarme cosas, y ver si de verdad lo que yo sabía era lo que provocaba que la llama se moviera, o porque cambiamos de un tambor a otro ... y al final los simuladores me dieron todo el sustento teórico del por qué” (E10).*

Por otro lado, se identifica la valoración que dan los/as PF a la experimentación por su carácter activo, versus la posibilidad de verla como una oportunidad para la construcción de modelos lo cual genera una tensión didáctica que debemos atender (Garrido et al., 2022). Tienden a valorar la experimentación o el uso de manipulativos virtuales, porque les permite “observar los fenómenos con sus propios ojos”. Sin embargo, existen algunos contrastes: algunos PF dan más valor a la experimentación por representar la realidad en contraste con un simulador que no refleja las leyes de la física:

*“Resulta más satisfactorio o estimulante poder verlo, que verlo en una pantalla [...] hoy en día puedo hacer “Star Wars” con un computador, y no realmente va a ser la física... la física de verdad” (E1).*

*“Quiero contraargumentar un poco a E1, porque hay cosas físicas que no podemos ver, y si tenemos que creerlas. Entonces imagino que el estudiante tiene que olvidarse un poco de ver todo, en mi opinión” (E7).*

*“Hay cosas que no van a poder construir solo con ver el experimento, como la idea de que la partícula vibra... es muy compleja” (E6).*

Otro aspecto propio de la modelización que valoran los PF son las interacciones entre pares para la co-construcción de conocimiento y la sofisticación de sus ideas iniciales, resultados que concuerdan con otros estudios (Garrido et al., 2022):

*“Hay intercambios de ideas, los compañeros sabían más de ciertas cosas, entonces, ahí conversando e interactuando íbamos compartiendo y complementando las ideas con las que iniciamos, entonces en ese sentido, el trabajo colaborativo te va ayudando a hacer un modelo más bonito. La idea es ir complementando” (E2).*

#### 4.2 Propuestas interdisciplinares y efectos de transferencia de la música al ser humano

Desde la implementación de esta PD, observamos que los PF valoran la posibilidad de generar diálogo entre disciplinas, en este caso, entre las ciencias y artes, sobre todo a través de la construcción de instrumentos musicales con materiales reciclados. Pero, también valoran el uso de otros recursos, como los tecnológicos (simuladores y aplicaciones del móvil), y las relaciones matemáticas entre las variables frecuencia, tensión y longitud de onda que obtuvieron a través del análisis del tricordio, por su aporte a la construcción de aprendizajes:

*"A mí me gustó mucho, aprendí muchas cosas, porque a mí sí me interesaba el tema de la música en relación con la física, pero me costaba entenderlo, así que me motivó mucho... y me gustó lo de construir el monocordio... saber que no lo estamos construyendo porque sí, sino con una finalidad"* (E10).

Así también, en una vereda contraria, mencionan miedos de implementar una intervención como esta, por su falta de dominio en habilidades musicales. Por lo tanto, sugieren el trabajo en co-docencia en las escuelas para superar estos obstáculos:

*"Yo creo que a mí me complicaría trabajar, me gusta teóricamente, pero siento que no estoy capacitada para implementar la guía en su totalidad... la música es un área que yo no manejo tanto, eh... No podría, como que hay partes que me costaría mucho implementar o relacionar directamente, entonces creo que sí podría ser útil, pero tiene que estar con una fuerte co-docencia"* (E6).

De esta manera, algunos/as PF proyectan la interdisciplina como una oportunidad para generar comunidad en la escuela, colaboración y que esta se vea reflejada en *"actividades como ferias científicas y de artes"* (E2).

Por otra parte, como fue mencionado antes, hay evidencia de los aportes de la educación musical en aspectos cognitivos, motores, sociales y emocionales (George et al., 2007). Comenzando con los aspectos emocionales, los/as PF, destacan emociones de connotación positiva y negativa. Algunos/as mencionan emociones como ansiedad, incomodidad o incluso preocupación. Además, un/a estudiante nombró tener problemas auditivos. Las citas a continuación muestran estos hallazgos:

*"A mí en particular como que me provocó un poco de ansiedad, porque tengo problemas auditivos, entonces no sabía en qué iba a estar enfocada la clase y si iba a poder escuchar bien o no, o si me iba a lastimar un poco el oído con los sonidos agudos"* (E5).

*"Para mí la música es un área de mi anti confort, entonces pararnos, tocar, aplaudir y llevar el ritmo, fue todo para mí muy incómodo, lo estuve pasando mal todo el rato hasta que nos sentamos"* (E6).

Sin embargo, en la mayoría de los/as participantes, la PD evocó sensaciones positivas, como expectativa, motivación, curiosidad, ánimo y la predisposición a la clase, entre otras, donde incluso señalan emociones negativas que cambiaron su parecer:

*"Haber partido la clase como con esto de los ritmos, y esto que hicimos, te exalta un poco el ánimo para poder estar más predispuesto a la clase"* (E5).

*“Eh, a mí la música en general me gusta mucho, entonces me hace muy feliz como... el teclado, el tema como de las cuerditas, o escuchar el monocordio. Entonces en general como desde mi percepción me evocó sensaciones positivas, y también porque fue muy didáctico, entonces me gustó, me gustó harto” (E4).*

Desde los aspectos motores, los/as estudiantes fueron capaces de conectar con su cuerpo y reconocer cómo su cuerpo vibraba ante ciertas frecuencias con ciertos instrumentos como el tambor:

*“Supongo que depende de la frecuencia ... Yo siento que los más agudos me retumban más en la cabeza y los más bajos me retumban en la panza” (E2).*

Y ser capaces de *“afinar el oído”* para reconocer la diferencia entre distintos tonos (E9).

Desde los aspectos cognitivos y sociales, se muestra la relevancia de participar en experiencias como el construir instrumentos, consensuar criterios de construcción con los pares, o interpretar datos o música, favorecieron sus conocimientos disciplinares:

*“Me ayudó a aplicar lo que habíamos ya visto, por ejemplo, en las conversaciones que teníamos con el grupo “Eh...no, así, porque así va a ser más larga y va a tener mejor sonido”, “No, más tensa” o “No, porque va a chocar con esta otra pared entonces se va a cortar”, entonces al final construir me sirvió mucho para aplicar mis conocimientos vistos con el modelo de tricordio del profesor” (E4).*

#### 4.3 Asociación de la intervención con la FID y prácticas en la escuela de los PF

La PD fue construida como una herramienta concreta y útil para las/os PF, y su próximo quehacer docente. En ese sentido, surgieron conexiones de la experiencia que estaban viviendo, con los contextos de sus propias prácticas profesionales, y con su FID. Estas conexiones se asociaron, principalmente, a la posibilidad de que esta intervención fuese motivante para sus propios/as estudiantes:

*“Yo me vi haciendo esto con mi curso, cuando empecé a hacerlo dije “Oh, que triste acabo de terminar sonido, este era mi laboratorio ideal”. Siento que... podría haberles ayudado a entender “¿Qué pasa si alargo la cuerda? Eh... si aumento la longitud de onda ¿Qué pasa con el sonido?” ... hubiese sido mucho más evidente para ellos la relación, que genial, hubiera sido hacer esto un mes antes para poder haberlo hecho como laboratorio” (E6).*

Incluso algunos/as participantes vieron la PF como una posibilidad para generar evaluaciones más auténticas y desde un nuevo paradigma:

*“Yo también me imaginé lo mismo que E6 y si uno pudiera vincular con la música, por ejemplo, que tuvieran una evaluación donde hicieran un video donde explicaran cómo hicieron su instrumento, porqué hay cuerdas más agudas que otras, cómo logran que suenen unas con mayor volumen y que ellos mismos tuvieran que ir explicando: “Aumenté el largo, disminuí el largo, aumenté el grosor, disminuí el grosor” (E9).*

Asimismo, algunos/as cuestionan la capacidad de implementar una PD como esta en sus propios contextos, por la poca autonomía que han evidenciado en sus estudiantes, pero se abren a la posibilidad de implementar actividades de este tipo en forma progresiva:

*“Yo siento que en mi curso actual no podría implementarla, me encantaría, pero yo los conozco, sé que les cuesta trabajar en forma independiente, sé que ellos no responden preguntas, supongo que tendría que trabajar con ellos desde séptimo a cuarto medio, trabajar con ellos de a poquito. Están acostumbrados a que todo sea expositivo” (E2).*

Los PF reconocen que experiencias como esta pueden favorecer la comprensión de sus estudiantes y la capacidad de recordar en el tiempo las ideas que han aprendido.

*“Yo lo usaría, me gustaría mucho usarla, siento que sería una clase donde los niños se sorprenderían de usar tambores o un triángulo y se acordarían de los contenidos en la prueba. Por lo menos yo me voy a acordar de esta clase” (E2).*

#### 4.4 Retroalimentación de la intervención

Los PF también realizaron sugerencias en pro de mejorar la PD para futuras implementaciones. Algunas de estas fueron mejorar figuras de la guía (E9), alguna instrucción (E1), o incluir el uso de instrumentos de viento (E10) para poder complementar sus aprendizajes. Estas sugerencias fueron recogidas e incorporadas en la PD para próximas implementaciones.

Algunos, también señalan (E2) que el factor *tiempo* en el aula podría limitar el uso de la PD, y sugieren fragmentar las guías (E1) para ser implementadas en dos sesiones, e ir tomando decisiones pedagógicas según los contextos. Este aspecto es relevante en la FID, pues al igual que en otros estudios (Garrido et al., 2022), se considera fundamental reflexionar sobre las implicaciones de la naturaleza de los MCE, ayudando a los/las PF a entender que, para construir ideas abstractas y complejas, se requiere de tiempo.

#### 4.5 Dificultades evidenciadas en la construcción del MCE de los PF

Finalmente, respecto a la construcción de las ideas del MCE de sonido de los PF, se realizó un análisis de las representaciones que los PF expresaron en sus Guías 1 y 2 y se observó que fueron capaces de construir ideas adecuadas del MCE de sonido expuestas en la Tabla 1 y Tabla 2. Pero, al igual como en otros estudios como los realizados por Viennot (2002), se visualizan representaciones epistemológicas erróneas, en las que los PF confunden el movimiento de una onda mecánica longitudinal con el de una onda transversal.

En la Guía 1 se solicita a los PF explicar y dibujar en forma personal cómo se imaginan la propagación del sonido en tres instantes diferentes a) cuando un parlante está apagado, b) cuando un parlante se enciende y emite un sonido; y c) cuando pasan unos segundos y el parlante continúa emitiendo el mismo sonido y en la indicación se les recuerda que la materia está formada por partículas. Ante esta demanda los PF expresan representaciones acompañadas con explicaciones que son coherentes con el MCE, tal como se visualiza en los siguientes ejemplos:

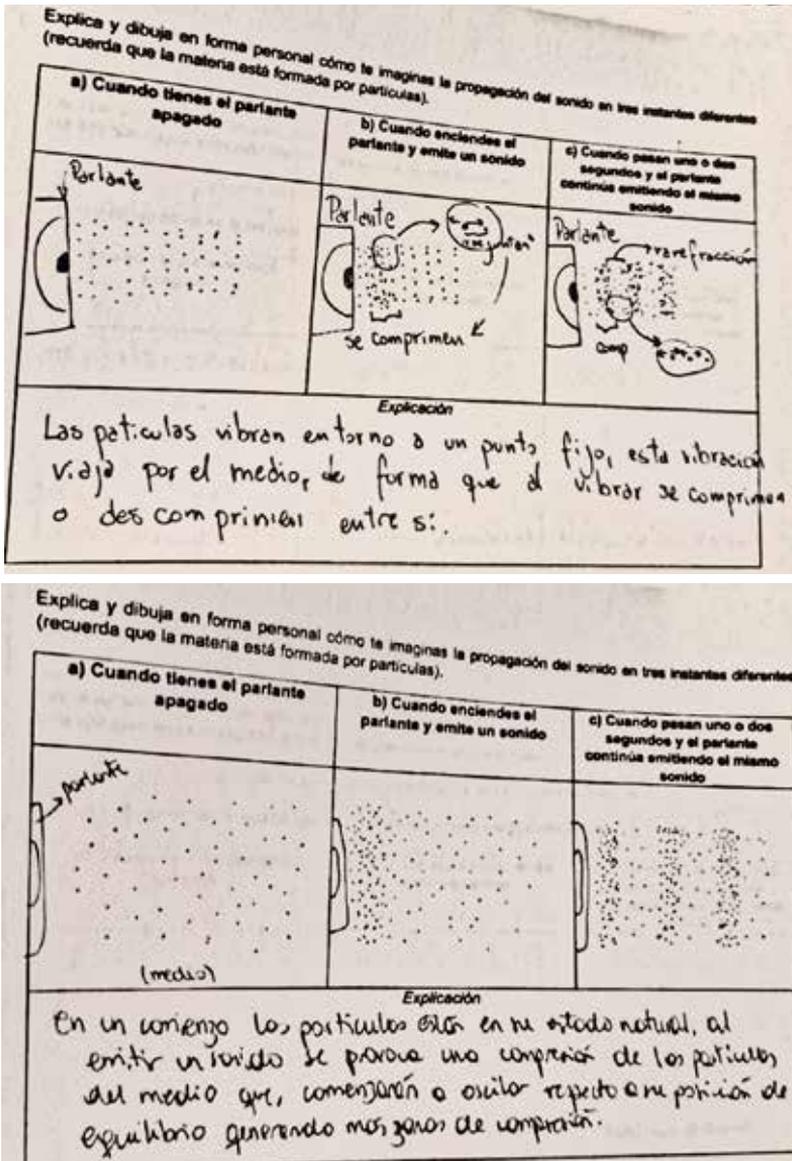


Figura 9. Ejemplos de representaciones dadas por los PF en la Guía 1.

Sin embargo, en la Guía 2 se realiza una demanda análoga en la que se pretendía que transfirieran las ideas construidas de la sesión anterior e integraran en sus respuestas nuevos elementos asociados a la frecuencia y amplitud del sonido. Se observó que al no realizar una demanda explícita de representación del sonido como una onda longitudinal (o desde la idea de que la materia está formada por partículas), los PF realizaron representaciones de ondas transversales, o representaciones híbridas, como se observa en los siguientes ejemplos:

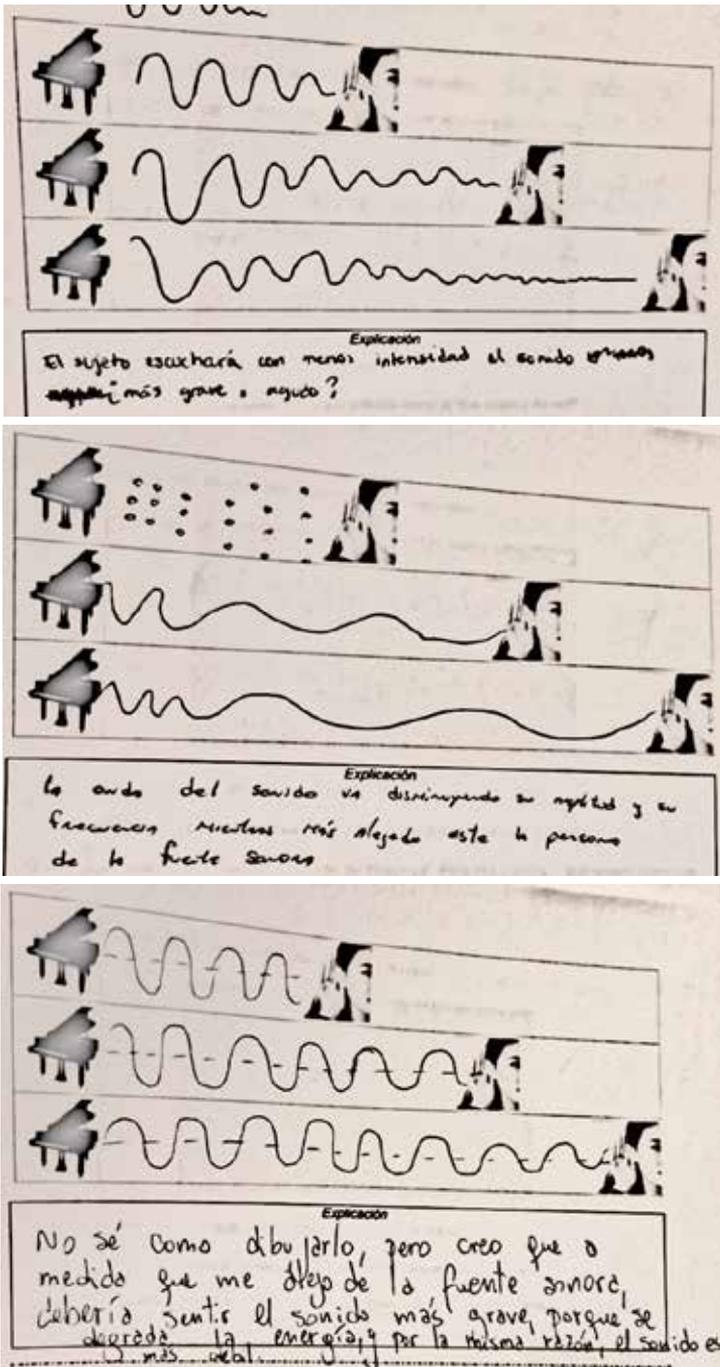


Figura 10. Ejemplos de representaciones dadas por los PF en la Guía 2.

Así mismo, desde las explicaciones se puede evidenciar que los PF no distinguen si existen cambios o no en la frecuencia de un sonido debido a la distancia de la fuente. Mientras que el cambio en la intensidad de la onda si son capaces de reconocerlo.

## 5. Conclusiones

Esta investigación aporta detalles sobre la experiencia de los PF de física respecto al enfoque didáctico de la modelización y la interdisciplina después de vivir como estudiantes la implementación de una PD diseñada bajo estas miradas.

En el contexto de FID estudiado, se observó que el PF valora(n) haber vivido una intervención que salió del paradigma tradicional de clases de física, por incluir el uso y construcción de instrumentos musicales (monocordio, tricordio y tambor), el uso de simulaciones, experimentación y momentos de interacción entre pares para promover la comprensión conceptos disciplinares.

Respecto al rol de la construcción de prototipos y la experimentación, al igual que en otros estudios (Garrido et al., 2022) se observa que los PF valoran estas actividades por su carácter lúdico y la oportunidad que brindan de observar los fenómenos. Esto nos lleva a pensar en la necesidad de promover en la FID reflexiones más profundas del aporte de la experimentación en la recolección de evidencias para la evaluación de los modelos iniciales.

Desde la perspectiva de la interdisciplina los/las PF valoran el diálogo entre disciplinas: ciencias y artes. Y destacan su rol para fortalecer las comunidades educativas. Sin embargo, manifiestan inseguridades asociadas a la carencia de un dominio disciplinar en las artes musicales. Al igual que en otros estudios (Garrido et al., 2022), se observa la necesidad de reflexionar sobre estos procesos vividos en forma más exhaustiva con los PF y acompañarlos en los procesos de diseño de sus propias intervenciones interdisciplinarias.

En cuanto a los efectos de la música, se observa que los PF experimentaron emociones negativas como la ansiedad, la incomodidad (estudiante con problemas auditivos) o la incertidumbre por el grado de innovación de la clase. Sin embargo, la mayoría de los PF experimentaron emociones positivas como la expectativa o la motivación. Al igual como en otros estudios (George et al., 2007) se observaron valoraciones positivas de los FD asociadas al aporte de la música en el desarrollo de aspectos personales en dimensiones cognitivas, motoras, sociales y emocionales. Desde esta experiencia, como docentes y formadores de profesores, es importante estar atentos a la diversidad en el aula, para evitar incomodidades de los participantes por condiciones personales que no hayan sido previstas en el diseño.

Respecto a la construcción del MCE de sonido se observaron complejidades asociadas a la representación del sonido como una onda transversal y confusiones a la hora de identificar cambios o no en la frecuencia de un sonido al alejarse de la fuente emisora. Por ser estudiantes de pedagogía en física, se podría esperar que expresaran modelos coherentes con el MCE. No obstante, la formación disciplinar en la FID en Chile, como se ha mencionado en otras investigaciones (Soto y Couso, 2023) suele estar asociada a metodologías tradicionales, con foco en fórmulas y cálculos. Por ello, es esperable que los PF no estén acostumbrados a expresar sus modelos a

través de dibujos y/o explicaciones. En ese sentido, es recomendable que los cursos de didácticas específicas trabajen estas dificultades en forma explícita, así como el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas.

Para finalizar, consideramos que este tipo de intervenciones, intencionadamente diseñadas, deberían ser implementadas con más frecuencia en contextos FID, para brindar ejemplos concretos al profesorado, que sean útiles para el aula, y que éstos adquieran las herramientas para transferir estos enfoques a sus propios contextos educativos. En esa línea, este trabajo es un pilotaje de otra investigación, en la que se están implementando PD de este y otros MCE propios de la física en varios contextos de FID en Chile, para analizar la transferencia que realizan los PF de la modelización al diseño de sus propias PD, luego de vivir un curso diseñado bajo este enfoque.

### Agradecimientos

Este trabajo deriva del proyecto Fondecyt Iniciación N° 11220317, financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), Gobierno de Chile y también contó con el apoyo del Departamento de Didáctica de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

---

### Referencias

- Álamos, J. (2019). Música en la vida de los adolescentes: una aproximación a las implicancias pedagógicas que poseen las preferencias musicales de los jóvenes para el aula de Educación Musical en Enseñanza Media. *Revista Actos*, 1(1). 88-102.
- Aiziczon, B., & Cudmani, L. (2007). Ondas, sonido y audición: Ideas previas de los estudiantes en ciencias médicas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(3), 360-399.
- Caamaño A. (2011) Contextualización, indagación y modelización. Tres enfoques para el aprendizaje de la competencia científica en las clases de química. *Aula de Innovación Educativa*, 207, 17-21.
- Chao-Fernández, A., Mato-Vázquez, D., & Chao-Fernández, R. (2020). Influence of musical learning in the acquisition of mathematical skills in primary school. *Mathematics*, 8(11), 2003.
- Chemin, B., Mourax, A., & Nozaradan, S. (2014). Body Movement Selectively Shapes the Neural Representation of musical Rhythms. *Psychological Sciences*, 25(12), 2147-2159.
- Conde, L., Figueras, O., Pluvinage, F., & Liern, V. (2011). El sonido de las fracciones: una propuesta interdisciplinaria de enseñanza. *Suma. Revista Para La Enseñanza y El Aprendizaje de Las Matemáticas*, 68, 107-113.
- Corbin, J. & Strauss, A. (2008). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*, SAGE, Los Angeles, CA.
- Couso, D. (2014). De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. 26EDCE. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante (pp. 1-28). Huelva: Servicio de Publicaciones Universidad de Huelva.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo, J. A. Sacristán (Coords.), *Enseñando Ciencia con Ciencia*. FECYT & Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House.
- Cuevas, C., Villamizar, F., & Martínez, A. (2017). Actividades didácticas para el tono como cualidad del sonido, en cursos de física del nivel básico, mediadas por la tecnología digital. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 35(3), 129-150.

- Cyr, J. (2016). The pitfalls and promise of focus groups as a data collection method. *Sociological methods & research*, 45(2), 231-259.
- Domènech-Casal, J. (2019). Apuntes lingüísticos para el tránsito a la competencia científica. Leer para indagar en el aula de Ciencias. *Didáctica: Revista de Investigación en Didácticas Específicas*, (5), 85-98.
- Fonseca, Y. L., & Castiblanco, O. L. (2020). Desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo a partir de la enseñanza del sonido. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (47), 111-126.
- Garrido, A., Soto, M. & Couso, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(1), 87-105. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- George, D., Stickle, R., & Wopnford, A. (2007). The association between types of music enjoyed and cognitive, behavioral, and personality factors of those who listen. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, 19(2), 32-56.
- Harati, H., Nooshinfard, F., Isfandyari, A., Babalhavaeji, F., & Hariri, N. (2019). Factors affecting the unplanned use behavior of academic libraries users. *Aslib Journal of Information Management*, 71(2), 138-154.
- Hernández, M. I., Couso, D., & Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 356-377.
- Hernández, M. I. (2021). Qué y cómo enseñar sobre vibraciones y ondas mecánicas. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (105), 9-15.
- Hindley, C., Knowles, D., & Ruth, D. (2022). Teaching research methods: Introducing a psychogeographical approach. *Journal of Management & Organization*, 28(6), 1321-1333.
- Izquierdo M., Sanmartí N., & Espinet M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(1), 45-59.
- Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., Avraamidou, L., & Lucio-Villegas, R. (2019). Scientific practices in teacher education: the interplay of sense, sensors, and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39, 1-24.
- Juslin, P. (2013). From everyday emotions to aesthetic emotions: Towards a unified theory of musical emotions. *Physics of Life Reviews*, 10(3), 235-266.
- López, V., Couso, D., & Hernández, M. I. (2020). Nuevas miradas sobre el currículo de Física. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 100, 16-22.
- López, V. (2021). Vibraciones y ondas: Un viaje desde lo que vemos hacia lo que imaginamos. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (105), 4-8.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-liso, M. R., & López-Gay, R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a los formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591-608. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>
- Mazas Gil, B., Bravo, B., Zarza, F., & De Echave, A. (2016). Música y ciencia: Un estudio de actitudes en estudiantes de Magisterio de Educación Primaria. *ReiDoCrea*, 5: 177-184 (2016). <http://hdl.handle.net/10481/42188>
- Nell, N., Romm, N., & Tlale, L. (2015). Reflections on focus group sessions regarding inclusive education: reconsidering focus group research possibilities. *Australian Educational Research*, 42(1), 35-53.
- O'Brien, L., Marzano, M., & White, R. (2013). Participatory interdisciplinarity: towards the integration of disciplinary diversity with stakeholder engagement for new models of knowledge production. *Sciences and Public Policy*, 40(1), 51-61.
- Porflitt, F. (2021). Música y transferencia de habilidades: Revisión bibliográfica descriptiva para el siglo XXI. *Revista Musical Chilena*, 75(235), 177-200.

- Porflitt, F. & Rosas, R. (2020). Musical Sophistication explains a good deal of cognitive performance. A cross-sectional study of musicians and non-musicians. *Resonancias*, 24(47), 147-167.
- Rico, A., Ruiz-González, A., Azula, O., & Guisasola, J. (2021). Dificultades de aprendizaje del modelo de sonido: una revisión de la literatura. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 5-23. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3217>
- Ruiz-González, A., Rico-Martínez, A., & Guisasola-Aranzábal, J. (2021). Tocar la melodía conociendo la partitura: Una secuencia sobre el sonido en el Grado de Primaria. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (105), 16-23.
- Singley, M., & Anderson, J. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a Guided Inquiry and Modeling Instructional Framework (EIMA) to Support Preservice K-8 Science Teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186. <https://doi.org/10.1002/sce.20177>
- Soto Alvarado, M. y Couso Lagarón, D. (2023). Construcción de un modelo sofisticado de energía en futuros docentes de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(2), 25-45. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5585>
- Viennot, L. 2002. *Enseigner la Physique*. Avec la collaboration de U.Besson, F. Chauvet, P. Colin, C. Hirn-Chaine, W. Kaminski, S. Rainson. Bruxelles: De Boeck.

**Cómo citar en APA:**

Soto, M. y Porflitt, F. (2023). Resultados de una intervención orientada a la modelización entre física-música en formación inicial docente. *Revista Iberoamericana de Educación*, 94(1), 115-136. <https://doi.org/10.35362/rie9415937>