

Percepciones del profesorado de música sobre un nuevo software para la evaluación de la entonación en instrumentos musicales

Jesús TejadaCatedrático, Institut de Creativitat i Innovacions Educatives, Universidad de Valencia (España) ✉ **Adolf Murillo**Profesor Titular, Institut de Creativitat i Innovacions Educatives, Universidad de Valencia (España) ✉ **Remigi Morant**Profesor Titular, Institut de Creativitat i Innovacions Educatives, Universidad de Valencia (España) ✉ **María del Mar Bernabé-Villodre**Profesora Titular, Facultad de Magisterio, Universidad de Valencia (España) ✉ **María Ángeles Fernández-Vilar**Profesora Contratada Doctora, Facultad de Psicología, Universidad de Murcia (España) ✉ <https://dx.doi.org/10.5209/reciem.92610>

Recibido: 19/11/2023 • Aceptado: 25/04/2024 • Publicado: 23/06/2024.

ES Resumen: La entonación es una habilidad imprescindible en el aprendizaje de instrumentos musicales, sobre todo, en los de entonación variable, como los de viento-metal y cuerda frotada. Un problema frecuente es que el alumnado principiante encuentra muchas dificultades de entonación en estos instrumentos durante su aprendizaje. Por ello, dedica una gran cantidad de tiempo a su práctica, al igual que el profesorado en la corrección de los errores relacionados. Este estudio de valoración es parte de uno de más largo alcance que ha diseñado e implementado el software Plectrus para evaluar a tiempo real la entonación en el aprendizaje de instrumentos de cuerda frotada y de viento metal. Para conocer si este software daba respuesta a las necesidades educativas detectadas, se ha realizado un estudio de evaluación estadístico basado en cuestionario que fue cumplimentado por profesorado de escuelas de música y conservatorios de España y Chile (n=41). El cuestionario incluyó tres dimensiones de evaluación (técnica, educativa y global). Una dimensión sobre uso de tecnología digital educativa, así como experiencia profesional, género, edad y formación profesional actuaron como covariables para analizar la influencia en las dimensiones de evaluación. Los resultados cuantitativos fueron triangulados con datos cualitativos recogidos en dos grupos focales (n=10) con el fin de dotar de credibilidad a la interpretación de los resultados. Los resultados indican que Plectrus ha sido evaluado de manera muy positiva por el profesorado en las tres dimensiones de evaluación; se han producido correlaciones positivas entre las tres dimensiones, así como una correlación positiva entre el uso de tecnología digital educativa y la valoración del software. Los resultados de esta evaluación del software Plectrus respaldan su eficacia y utilidad para el desarrollo de la entonación en instrumentos de viento-metal y cuerda frotada en el nivel inicial de los estudios musicales.

Palabras clave: Entonación, software, instrumentos musicales, nivel inicial de aprendizaje instrumental, tecnología digital.

ENG Music teachers' perceptions of a new software for the assessment of intonation on musical instruments

ENG Abstract: Intonation is an essential skill in learning musical instruments, especially those with variable intonation, such as brass and bowed stringed instruments. A frequent problem is that beginners encounter many intonation difficulties on these instruments during their learning. Therefore, they spend a great deal of time practicing them, as do teachers in correcting the related errors. This validation study is part of a larger study that has designed and implemented software Plectrus to evaluate in real time the intonation in the learning of brass and bowed stringed instruments. To find out whether this software responded to the educational needs detected, a statistical validation study was carried out based on a questionnaire that was completed by teachers from music schools and conservatories in Spain and Chile (n=41). The questionnaire included three validation dimensions (technical, educational, and global). Also, a dimension on educational digital technology use, and professional experience, gender, age, and pre-service formation acted as

covariates. The quantitative results obtained were triangulated with those from qualitative data collected in two focus groups (n=10) to lend credibility to the interpretation of the results. The finding of this study indicates that Plectrus has been evaluated very positively by teachers in all three validation dimensions; correlations were found between the three dimensions, as well as a positive correlation between the use of digital educational technology and the evaluation of the software. The results of this validation by teachers support the effectiveness and usefulness of the software for the development of intonation in brass and bowed stringed instruments at the initial level of musical studies.

Keywords: Intonation, software, musical instruments, initial level of instrumental learning, digital technology.

Sumario: 1. Introducción. 2. Revisión de literatura. 3. Método. 4. Resultados. 5. Discusión y conclusiones. 6. Referencias bibliográficas.

Cómo citar: Tejada, J., Murillo, A., Morant-Navasquillo, R.; Bernabé-Villodre, M. M.; Fernández-Vilar, M. Á. (2024) Percepciones del profesorado de música sobre un nuevo software para la evaluación de la entonación en instrumentos musicales, en *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 21, 149-162. <https://dx.doi.org/10.5209/reciem.92610>

1. Introducción

La entonación es una habilidad imprescindible para tocar instrumentos musicales, más si cabe los de entonación variable, tales como los de viento-metal y cuerda frotada. Cuando una persona intenta imitar en su instrumento un sonido que ha escuchado previamente o bien leer una nota que representa un sonido de altura determinada, debe poner en juego una serie de mecanismos: uno relacionado con la percepción -la capacidad de discriminar dos sonidos diferentes- y otro con la producción sonora -la capacidad de reproducir sonido en el instrumento- (Morrison y Fyk, 2002). La entonación es, por tanto, una habilidad compleja en estos instrumentos, mientras que en otros de altura fija (con trastes o teclas, como la guitarra o el piano) no ha de ser estudiada o desarrollada. La entonación instrumental representa un problema que no es menor dentro del catálogo de capacidades que el alumnado de viento metal o cuerda frotada ha de desarrollar. El alumnado principiante de instrumentos musicales tiene más dificultades para aprender la entonación que el alumnado avanzado, debido a que no tiene los esquemas cognitivo-motrices e imágenes mentales necesarios para producir un sonido correcto (Aleman et al., 2000). Es por ello que, durante la fase inicial del aprendizaje de instrumentos de altura no fija como los mencionados, el alumnado dedica mucho tiempo a la práctica de la entonación y el profesorado a la corrección de errores. En este sentido, el uso de software como el que se describe en esta investigación podría ser útil como herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje de la afinación, pues permite la evaluación a tiempo real de la producción sonora y ofrece *feedback* durante la práctica instrumental. No obstante, es necesario verificar la efectividad de este software en los procesos de aprendizaje de la entonación de acuerdo con el juicio experto del profesorado de instrumentos, objeto último de este trabajo de investigación.

2. Revisión de literatura

2.1. Entonación: enseñanza y aprendizaje en las aulas de instrumento

El proceso de enseñanza/aprendizaje de la entonación en instrumentos musicales es de gran complejidad para el alumnado novel (Silvey et al., 2019), aunque dicho proceso no tiene la misma dificultad en todos los instrumentos musicales. Una revisión de la literatura muestra la gran preocupación que la entonación instrumental supone para profesorado y alumnado (Dai et al., 2015; Fernández-Barros et al., 2020; Julia et al., 2019). No obstante, es mayor la preocupación para instrumentistas de instrumentos de entonación no fija (Fernández-Barros et al., 2023; Zabanal et al., 2023), puesto que una interpretación instrumental exitosa con estos instrumentos depende de una correcta entonación. ¿Qué factores determinan esta dificultad? ¿Qué deben hacer los agentes implicados en el proceso de enseñanza/aprendizaje para afrontarla?

Además de factores físicos relacionados con la construcción del instrumento (Powell, 2010; Schlegel, & Springer, 2018), la boquilla (Dalmont et al., 1995) y la temperatura (Zendri et al., 2015), existen otros factores de emisión que afectan a la entonación, como la posición del arco (Heyne et al., 2019) o la mayor o menor potencia/direccionalidad de la columna de aire (Bucur, 2019). Los factores externos sugieren que el alumnado necesita una sólida base técnica inicial (Nordstrom & Nordstrom, 2020), por ejemplo, la posición de la embocadura (Powell, 2010) y una reeducación del proceso respiratorio mediante técnicas alternativas a las tradicionales (Montero y Vicente, 2016). Además de esto, son precisas unas bases para tocar en conjunto que eviten problemas de entonación (Miller, 2022).

El proceso de enseñanza/aprendizaje de la entonación puede abordarse desde tres métodos: tradicional, auditivo y audiovisual. Se sugiere que el primer método resulta menos eficaz porque se basa en una retroalimentación verbal entre docente y estudiante, que no siempre es comprendida por el alumnado (Powell, 2010). No obstante, existen experiencias desde enfoques no tecnológicos con resultados positivos (Nápoles et al., 2019). El segundo método consiste en el aprendizaje por imitación o modelado: el alumnado imitaría al profesorado o bien una grabación modelo (Rumjaun, & Narod, 2020). Finalmente, el método audiovisual emplea hardware y/o software como herramientas del alumnado en tareas de percepción y producción, por

ejemplo, para visualizar la representación de los sonidos producidos y verificar después si el resultado se corresponde con el modelo propuesto.

Más allá de estas aproximaciones didácticas, la entonación en los instrumentos de cuerda frotada se caracterizaría por la lentitud en la automatización de patrones (López-Calatayud, 2023), sugiriendo que esto supondría una merma en el foco de atención durante la práctica de la entonación. Por todo ello, resultaría plausible considerar la adopción de formas alternativas de trabajo de la entonación en las aulas instrumentales, como el empleo del software Plectrus, objeto de evaluación que constituye el foco de este trabajo.

2.2. Software para la entonación instrumental

El alumnado de las enseñanzas obligatorias está demandando una mayor presencia de tecnologías digitales, de acuerdo con el uso frecuente que hacen de ellas fuera de las clases. El profesorado debe adaptarse a estas necesidades del alumnado, incluyendo el de enseñanzas musicales en escuelas de música y conservatorios. Atendiendo a los planteamientos didácticos anteriormente citados, la investigación sobre desarrollo de software centrados en la práctica musical general (Julia et al., 2019; Xu, 2021) y de la entonación (Gardner, 2020) parece justificada. En este sentido, algunos autores (Howard et al., 2007; Welch et al., 1989; Wilson et al., 2008) han investigado sobre este tema con nuevas herramientas orientadas a la autonomía del alumnado durante su aprendizaje, pues puede contrastar su entonación con un modelo referencial. Una mayor autonomía podría conseguirse gracias a la visualización del input (*feedback* visual). Esto facilitaría la entonación y las nociones de grave y agudo (García, 2017). Sin embargo, aun cuando investigadores como Wilson et al. (2008) y Howard et al. (2007) han señalado que esa retroalimentación visual contribuiría positivamente a la precisión de la entonación. Pardue y McPherson (2019) no han encontrado efectos y han señalado que el aprendizaje podría verse afectado negativamente, en ciertos casos.

Un ejemplo de software facilitador del aprendizaje y la práctica de la entonación instrumental es Intonia (Agin, 2021), que propone la entonación en el violín desde el análisis de la información del *feedback* visual (contraste entre input del estudiante y modelo del ejercicio). Otro programa, Cantus, propone una serie de ejercicios para la entonación vocal con su respectiva retroalimentación visual, así como un editor de ejercicios, orientados a los primeros años de formación de las enseñanzas musicales (Pérez-Gil et al., 2016).

Cantus fue el software precedente de Plectrus, objeto de evaluación del presente estudio. Plectrus permite el entrenamiento y evaluación de la entonación por educandos de instrumentos musicales de afinación no fija (violín, viola, violonchelo, trompeta, trompa y trombón). Como se verá en la siguiente sección, esto se lleva a cabo a tiempo real y online mediante práctica personalizada, dado que permite crear, modificar y agrupar ejercicios temáticamente mediante unidades de aprendizaje.

2.3. Objetivos

La creación de Plectrus ha sido el foco de un proyecto de investigación realizado en los últimos años por parte de un equipo de investigación en colaboración con profesorado y alumnado de escuelas de música de España y Chile. No obstante, la investigación sobre la creación de un software educativo necesita conocer si el producto generado obedece a las necesidades educativas de alumnado y de profesorado y, por ello, necesita de una evaluación de usuarios. Dado que la evaluación por parte del alumnado ya ha sido efectuada (Tejada, & Fernández-Vilar, 2023), este trabajo ha tenido como finalidad la evaluación de Plectrus por parte de profesorado de escuelas de música a partir de un diseño estadístico basado en cuestionario, que proporcionó datos cuantitativos, y dos grupos focales, que proporcionaron datos cualitativos relativos a sus percepciones sobre el software y que fueron utilizados como datos de triangulación metodológica de los resultados.

Así pues, el objetivo del trabajo ha sido detectar y clasificar las percepciones del profesorado respecto al uso del software Plectrus. Las categorías analíticas utilizadas han sido: 1) valoración técnica; 2) valoración educativa; 3) valoración global (beneficios, problemas y sugerencias).

3. Método

3.1. Diseño de investigación

La metodología de investigación basada en las ciencias del diseño (DSRM) es una de las más adecuadas para el desarrollo de artefactos (Peppers et al., 2008). Las Ciencias del Diseño (DS) tienen como objeto el diseño y elaboración de artefactos que produzcan resultados satisfactorios o estén ajustados a objetivos previamente determinados. En este caso, la adaptación a un objetivo educativo implica una relación de tres elementos: “el propósito o meta, el carácter del artefacto y el entorno en el que se utiliza el artefacto” (Dresch et al., 2015, p. 56). Cada una de las fases de esta metodología tiene sus especificidades y métodos de obtención de datos. Las tres fases de Plectrus han sido diseño, implementación y evaluación. Las dos primeras han adoptado métodos procedentes de los paradigmas cuantitativos y cualitativos y han sido desarrolladas en otros lugares (Tejada et al., 2022, López-Calatayud, & Tejada, 2023).

En la fase de evaluación por docentes, objeto de este trabajo, se han adoptado varios métodos para recoger datos: 1) un método estadístico basado en cuestionario elaborado *ad hoc* para esta investigación; y 2) un método interpretativo mediante técnica del grupo de discusión con el fin de obtener datos cualitativos que detallen las percepciones de profesorado sobre el software. Esta triangulación de métodos ha tenido dos objetivos: 1) que los datos cualitativos permitan comprender en mayor detalle las puntuaciones del cuestionario; y 2) dotar de mayor credibilidad a la interpretación de resultados procedentes de una muestra reducida de profesorado.

3.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por 41 docentes voluntarios (24 hombres y 17 mujeres). De estos, 29 son españoles y 12 chilenos. Sus edades oscilan entre 26 y 59 años, con una experiencia docente entre 4 y 30 años (tabla 1) y una formación musical pre-servicio entre 4 y 15 años. La mayoría tiene un título superior de profesorado expedido por un conservatorio. Imparten docencia en escuelas de música (10), conservatorios (4), compatibilizan escuelas de música y conservatorio (17) o bien escuelas de música y universidad (1). Otros imparten clases en Educación Secundaria (1) y bien en titulaciones universitarias de grado (8). La selección de participantes fue no probabilística compuesta por docentes voluntarios que impartían o hubieran impartido clases de alguno de los seis instrumentos musicales que aborda el software.

El profesorado, seleccionado por los criterios de instrumento y de experiencia docente, fue informado de sus derechos (anonimato, privacidad y desistimiento) y firmaron un consentimiento informado.

Tabla 1. Datos del profesorado participante en el estudio.

	\bar{x}	SD
Cuestionario (n=41)		
Edad	40.49	8.503
Experiencia docente	15.41	8.028
Años de formación musical inicial	10.66	4.385
2 Grupos focales (n=10)		
Edad	39.80	10.15
Experiencia docente	15.40	8.64
Años de formación musical inicial	13.40	1.89

En los dos grupos focales, participaron un total 10 docentes, 4 mujeres y 6 hombres de edades entre 29 y 59 años, todos de nacionalidad española, con una formación musical pre-servicio entre 8 y 14 años y una experiencia docente entre 5 y 30 años. Todas estas personas estaban desempeñando puestos de docente en escuelas de música. En este caso, la selección de participantes fue no probabilística basada en voluntarios. El profesorado participante en los grupos focales no participó en la cumplimentación del cuestionario, constituyendo una muestra diferente y no realizó el cuestionario; aunque sí obtuvo acceso al software, supo con antelación los temas que serían tratados en la reunión del grupo y practicó con el software con el fin de tener una opinión informada antes de que se reuniera el grupo focal.

El protocolo ético del proyecto consistió en un consentimiento informado donde se detallaban los objetivos, los derechos (privacidad, anonimato, desistimiento y acceso al informe final de investigación), la persona de custodia de datos, el tiempo que estarían vigentes hasta su destrucción y una dirección de contacto. El proyecto ha contado desde su inicio con la autorización del Comité de Ética de Investigación con Seres Humanos de la Universidad de Valencia.

3.3 Descripción del software

Con el fin de que el lector comprenda tanto las respuestas del profesorado acerca del software en la sección de resultados de este trabajo como la interpretación de resultados de los investigadores, se muestran algunas características del software a validar.

Plectrus es un software online diseñado para la práctica y evaluación a tiempo real de la entonación en trompeta, trombón, trompa, violín, viola y violoncello, así como instrumentos similares a estos. Sus usuarios potenciales son el alumnado de nivel inicial y medio de dichos instrumentos. Tiene una arquitectura basada en el modelo cliente-servidor con el fin de permitir la comunicación y el almacenamiento de datos entre el usuario y la aplicación.

Plectrus recoge el sonido del instrumento a través del micrófono del ordenador haciendo uso de la API Web Audio que incorpora el navegador web. Luego, utiliza un algoritmo para obtener la frecuencia de cada tono a lo largo del tiempo que dura la ejecución.

El software no detecta el ritmo del ejercicio en la evaluación. Asimismo, el tempo es libre. Esto es así para evitar la adición de carga cognitiva que producirían los materiales rítmicos de aprendizaje durante la práctica instrumental, así como para focalizar la atención del alumnado en la altura del sonido (Castro-Alonso y Sweller, 2020). En la evaluación, cada sonido de la referencia se valora de forma independiente y se realiza a través de un algoritmo.

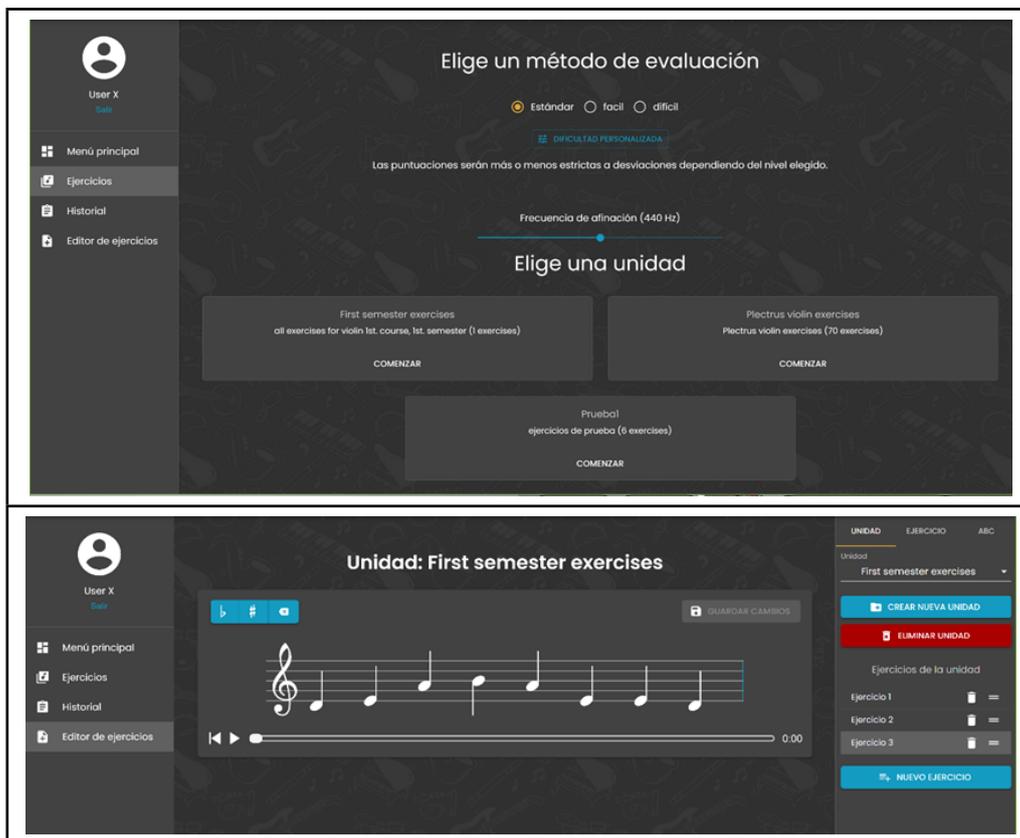
Este algoritmo puede ser modificado por el estudiantado de forma gráfica en la pantalla inicial y le permite configurar un sistema de evaluación personalizada, modificando el nivel de sensibilidad del algoritmo de detección del sonido. Al cambiar los umbrales mínimos y máximos de desviación de frecuencia que se tolerará en los sonidos introducidos, la evaluación se hace más rigurosa o permisiva: en la pantalla de evaluación (figura 1, izquierda), se ajustan los límites de desviación de entonación de la respuesta del alumnado; de modo que, el umbral permisible es el número de cents por debajo del cual el ejercicio es valorado sin penalización y, por encima de él, el software valora el ejercicio penalizando la desviación, siendo el "límite de desviación" un valor máximo por encima del cual el ejercicio es valorado con cero puntos. La evaluación se realiza en tiempo real y proporciona al estudiante dos tipos de *feedback*. El visual muestra una comparación

de la forma de onda de la interpretación con la forma de onda del modelo: donde la línea naranja discontinua muestra el modelo a imitar y la línea verde continua representa el input del usuario (*feedback* visual); en cuanto al menú desplegable “Mostrar detalles de evaluación” proporciona información detallada de la entonación de cada sonido (figura 1, derecha). Esto ayuda a identificar las diferencias entre la propia interpretación y la interpretación correcta.



(fig.1) Pantalla de configuración de evaluación (izquierda) y ventana de evaluación final de un ejercicio (derecha).

El *feedback* acústico y textual proporciona al alumnado mensajes de audio y texto que indican los errores de cada sonido interpretado y le ayuda a comprender los errores que está cometiendo y cómo ha de corregirlos. Con el fin de que el alumnado o profesorado pueda configurar prácticas personalizadas, Plectrus incorpora colecciones de ejercicios secuenciados para cada uno de los instrumentos, pudiendo flexibilizarse la evaluación desde el botón “dificultad personalizada” (figura 2, arriba), aunque la práctica no está limitada por esto, dado que incorpora una sección para crear y modificar ejercicios agrupados en unidades temáticas (figura 2, abajo).



(fig.2) Pantalla principal de selección de ejercicios en el instrumento violín (arriba) y Ventana de creación y edición de ejercicios (abajo).

3.4. Técnicas e instrumentos de recogida de datos

Para la recogida de datos cuantitativos, se utilizó un cuestionario diseñado ad hoc por el equipo de investigación; además, se realizaron 2 grupos de discusión como técnica de recogida de datos cualitativos. El cuestionario permitió conocer la recepción del software y los aspectos y características esenciales del software y los grupos de discusión revelaron las razones por las cuales el profesorado había valorado dichos aspectos. Esta imbricación de métodos fue decidida por la escasez de la muestra, con un sesgo potencial que podría conducir a interpretaciones erróneas de los resultados. Así, se realizó una triangulación de métodos para dotar de mayor credibilidad a las interpretaciones del grupo de investigación.

El cuestionario incluyó una sección de datos personales para caracterizar la muestra y obtener datos de covariables (8 ítems). El resto incluyó ítems cerrados y abiertos agrupados en 4 escalas: 1) experiencia y uso de tecnología educativa por el profesorado (22 ítems de respuesta ordinal); esta escala fue incluida en calidad de covariable global para correlacionar con las dimensiones de evaluación del software (técnica, educativa y global); 2) valoración técnica (9 ítems de respuesta ordinal); 3) valoración educativa (21 ítems de respuesta ordinal); y 4) valoración global del software (8 ítems de respuesta ordinal, 3 de respuesta dicotómica y 1 de respuesta escalar). Además, se incluyeron 3 ítems abiertos denominados debilidades, fortalezas y sugerencias. Los ítems de tipo cuantitativo utilizaron una escala de 4 puntos (1=poco; 4=mucho) para omitir el punto neutral, forzando a los participantes a decidir por un polo de la evaluación (negativo o positivo) y evitar la rutinización de la evaluación en el punto medio de la escala. Los ítems de tipo abierto fueron procesados junto al resto de datos cualitativos. Excepciones a esto fueron 3 ítems de la dimensión de valoración global, que se respondieron con respuesta dicotómica (ítems 5.9 a 5.11), y otro ítem de valoración global (5.12), que se respondió con una escala de 10 puntos debido a la familiaridad del profesorado con esta escala.

La validación del cuestionario fue realizada por dos jueces, uno de España y otro de Chile, investigadores universitarios en el área de didáctica de la música, con más de 20 años de experiencia investigadora y docente en educación musical. Estos puntuaron la adecuación del cuestionario para valorar un software de evaluación de la entonación instrumental por parte de profesorado de instrumentos musicales. Los jueces evaluaron los ítems del cuestionario e hicieron observaciones. Posteriormente, el equipo de investigación modificó el cuestionario de acuerdo con las indicaciones de los evaluadores y les fue retornado para su valoración en segunda ronda. La correlación entre jueces fue absoluta (Kappa Cohen=1).

Se realizó un análisis descriptivo de las variables que configuran el cuestionario y se procedió al análisis de fiabilidad de las escalas a partir del análisis de la varianza de sus ítems. Para ello, se utilizó el software IBM SPSS v.28. Se halló una fiabilidad alta de las escalas de valoración técnica, educativa y global (tabla 2).

Tabla 2 Datos del profesorado participante en el estudio.

Escala	n	n° de ítems de la escala	Alpha de Cronbach
1. Experiencia y uso de tecnología educativa	41	13	.742
2. Valoración técnica	41	9	.893
3. Valoración educativa	41	21	.954
4. Valoración global	41	12	.917

3.5. Procedimiento

La información sobre el uso y funcionalidad del software fue difundida entre las instituciones colaboradoras, en su mayoría escuelas de música, mediante una serie de demostraciones del software. Se solicitaron voluntarios mediante convocatoria. Seguidamente, una vez seleccionado e informado el profesorado participante, firmó el consentimiento informado y procedió a utilizar Plectrus durante el tiempo predeterminado en la hoja informativa que se les entregó. Finalmente, accedieron al cuestionario online publicado en Google Forms.

4. Resultados

A continuación, se detallan los resultados de la evaluación del software. Primero, serán presentados los resultados del análisis estadístico. Después, los resultados obtenidos en los dos grupos focales, realizando la triangulación durante la interpretación de los datos cualitativos obtenidos en los grupos focales.

4.1. Resultados del cuestionario

4.1.1. Resultados de valoración técnica

Antes de comenzar, se ha de recordar al lector que la mayoría de los ítems de las 3 dimensiones principales de evaluación utilizaron escalas de 4 puntos para evitar el punto central y forzar a los participantes a una valoración no neutral del software.

La dimensión valoración técnica muestra una alta puntuación en sus 9 ítems (\bar{x} =3.55; SD=.461) (tabla 3). El ítem mejor puntuado fue la organización y navegabilidad seguido por la facilidad de uso; el menos valorado fue la accesibilidad o capacidad del programa para ser utilizado en educación inclusiva.

Tabla 3 Puntuación a los ítems de la dimensión valoración técnica.

Ítems de la dimensión valoración técnica (n=41) (rango 1-4)	\bar{x}	SD
3.1. Eficacia. Sirve para ser utilizado en la entonación musical.	3.73	.501
3.2. Facilidad de uso. Supone un entorno informático amigable e intuitiva.	3.78	.419
3.3. Versatilidad. Es susceptible de adaptarse a diversos entornos docentes y perfiles de aprendices.	3.17	.803
3.4. Accesibilidad. Tiene recursos y posibilidades para ser usado en educación inclusiva.	3.10	.735

Ítems de la dimensión valoración técnica (n=41) (rango 1-4)	\bar{x}	SD
3.5. Funcionalidad del entorno gráfico. El entorno gráfico es funcional para su uso.	3.68	.567
3.6. Idoneidad, estética y adecuación del lenguaje multimedia de la interfaz. La interfaz (lenguaje, apariencia externa, funcionamiento de los botones y comandos del programa) es adecuada para su uso por estudiantes de música.	3.39	.703
3.7. Organización y navegabilidad. La presentación es sencilla, fácil de orientarse y navegar.	3.78	.419
3.8. Originalidad. Es una herramienta original y novedosa para aprender a entonar.	3.73	.672
3.9. Adecuación a las personas usuarias. Está adaptada al perfil y características de los colectivos que lo van a usar (autodidactas, estudiantes de escuelas de música, conservatorios) en el aprendizaje inicial del instrumento.	3.59	.706
Valores globales de la dimensión	3.55	.461

4.1.2. Resultados de valoración educativa

La dimensión valoración educativa estuvo compuesta por 21 ítems. Los ítems 1 al 16 solicitaron del profesorado que expresaran su grado de acuerdo con una afirmación. Los ítems 17 al 21 pidieron al profesorado que valorara la utilidad de algunas características didácticas del programa en una escala de tipo Likert de 1-poca utilidad, hasta 4-mucha utilidad. La dimensión muestra altas puntuaciones en la mayoría de ellos ($\bar{x}=3.53$; $SD=.474$), siendo los ítems más valorados la capacidad de editar y crear ejercicios, la inclusión de una ficha de evaluación mostrando el progreso de aprendizaje y la capacidad de configurar la exactitud de la evaluación (tabla 4). El ítem peor valorado fue la calidad tímbrica. Respecto a los ítems 17 al 21, el profesorado participante también valoró muy positivamente las características educativas del software ($\bar{x}=3.51$; $SD=.531$).

Tabla 4 Puntuaciones a los ítems de la dimensión valoración educativa.

Ítems de la dimensión valoración educativa (n=41) (rango 1-4)	\bar{x}	SD
4.1. Aprendizaje por modelado. Facilita el aprendizaje por imitación.	3.66	.575
4.2. Relevancia de contenidos. Los ejercicios del programa son relevantes para el adiestramiento de la entonación musical.	3.59	.706
4.3. Adecuación de contenidos. Los ejercicios del programa son adecuados para el nivel de los primeros cursos de instrumento.	3.63	.623
4.4. Utilidad de contenidos. Los contenidos del programa son útiles para la práctica de la entonación musical con instrumentos.	3.59	.670
4.5. Progresión de ejercicios, Presenta los patrones-ejercicios en un orden determinado de sonidos, siendo este orden didácticamente adecuado para el instrumento evaluado.	3.20	.715
4.6. Utilidad de la visualización del input del usuario (representa en pantalla la respuesta del estudiante en relación con la representación de los sonidos a tocar). El uso de esta representación es útil.	3.66	.530
4.7. Calidad tímbrica. El timbre sin vibrato ni efectos de sonido (reverberación) es útil para el aprendizaje de la entonación.	2.88	.748
4.8. Ficha de evaluación. Facilita el control del aprendizaje.	3.73	.549
4.9. <i>Feedback</i> (retroalimentación por contraste entre representación de la respuesta del usuario contra el modelo de ejercicio + Mensajes finales de refuerzo + Anotaciones de si ha sido grave o agudo el sonido tocado frente a la referencia).	3.61	.628
4.10. Editor de ejercicios. Facilita la personalización del entrenamiento.	3.76	.538
4.11. Ajuste inicial de la frecuencia del La3. Facilita el entrenamiento con instrumentos de baja calidad.	3.63	.623
4.12. Separación de entonación de la sincronización. La no obligatoriedad de sincronizarse con un pulso favorece el entrenamiento de la entonación instrumental.	3.44	.838
4.13. Configurabilidad de la evaluación. La no obligatoriedad de la precisión (mayor o menor rigor) de la evaluación facilita el entrenamiento de estudiantes noveles con el instrumento.	3.71	.642
4.14. Favorece la reflexión y el aprendizaje. Posibilita un uso autónomo y aporta información relevante para la autogestión del entrenamiento de la entonación instrumental.	3.49	.675
4.15. Motivación. El programa puede ser motivador e interesante para el alumnado.	3.44	.808
4.16. Aplicabilidad a entornos reales. Su uso en las enseñanzas iniciales de música es aconsejable como herramienta de refuerzo del instrumento musical.	3.59	.670
4.17. Lectura a primera vista.	3.56	.594
4.18. Sistema de evaluación.	3.54	.711
4.19. Secuenciación de ejercicios.	3.17	.738
4.20. Creación de patrones propios (editor de ejercicios).	3.76	.435
4.21. Posible utilización de este software con otros recursos docentes.	3.54	.674
Valores globales de la dimensión	3.53	.474

4.1.3. Resultados de valoración global

La dimensión global pretendió obtener una valoración integrada del software. Se dividió en dos partes. La primera incluyó 8 ítems con escala de 4 puntos y recabó la valoración del profesorado respecto a cualidades expresadas mediante pares de adjetivos contrarios (escala semántica) (tabla 5). Los resultados de estos ítems muestran resultados muy positivos ($\bar{x}=3.51$; $SD=.53$).

Tabla 5 Puntuaciones de los ítems de escala ordinal de la dimensión valoración global.

Valoración de 8 ítems de respuesta ordinal de la dimensión valoración global (n=41; rango=1-4)	\bar{x}	SD
5.1. Aprendizaje por modelado. Facilita el aprendizaje por imitación.	3.61	.703
5.2. Relevancia de contenidos. Los ejercicios del programa son relevantes para el adiestramiento de la entonación musical.	3.27	.895
5.3. Adecuación de contenidos. Los ejercicios del programa son adecuados para el nivel de los primeros cursos de instrumento.	3.68	.650
5.4. Utilidad de contenidos. Los contenidos del programa son útiles para la práctica de la entonación musical con instrumentos.	3.63	.662
5.5. Progresión de ejercicios. Presenta los patrones-ejercicios en un orden determinado de sonidos, siendo este orden didácticamente adecuado para el instrumento evaluado.	3.63	.581
5.6. Utilidad de la visualización del input del usuario (representa en pantalla la respuesta del estudiante en relación con la representación de los sonidos a tocar). El uso de esta representación es útil.	3.51	.711
5.7. Calidad tímbrica. El timbre sin vibrato ni efectos de sonido (reverberación) es útil para el aprendizaje de la entonación.	3.10	.539
5.8. Ficha de evaluación. Facilita el control del aprendizaje.	3.66	.530
Valores globales (8 ítems)	3.51	.530

La segunda parte de esta dimensión incluyó 3 ítems de respuesta dicotómica (ítems 5.9 a 5.11) (tabla 6) y uno final que se respondió con una escala de 10 puntos con el fin de tener un mejor ajuste de la valoración del profesorado, dado que esta es la escala que se suele utilizar en España en la evaluación académica. La respuesta a este ítem es muy positiva y refleja la buena recepción del software entre el profesorado.

Tabla 6. Puntuaciones a los 3 ítems de respuesta dicotómica de la dimensión valoración global.

Tres ítems de la dimensión valoración global (n=41) (rango: 0-1)	Sí	No
5.9. ¿Se considera que el uso de Plectrus puede llegar a producir un impacto positivo en el desarrollo de las competencias de entonación del alumnado de instrumento en el nivel inicial? (sí-no).	97,5%	2,5%
5.10. ¿Lo recomendaría a sus colegas? (sí-no).	97,5%	2,5%
5.11. ¿Considera que el uso de Plectrus puede llegar a producir un impacto positivo en el desarrollo de las competencias de lectura del alumnado de Enseñanzas Elementales de Música? (sí-no).	100%	0%

El último ítem de esta dimensión pidió al profesorado que valorara el software en una escala de 10 puntos. El resultado de este ítem es positivo ($\bar{x}=8.44$; $SD=1.44$) y es consistente con la valoración en la escala de 4 puntos de los ítems 1 al 8 de la dimensión.

Tabla 7. Correlaciones de las dimensiones de evaluación.

		Valoración técnica	Valoración educativa
Valoración educativa	r de Pearson	0.887	--
	gl	39	--
	p	<.001	--
Valoración global	r de Pearson	0.784	0.911
	gl	39	39
	p	<.001	<.001

Finalmente, es preciso mencionar que las tres dimensiones de evaluación del software correlacionaron positivamente, con diferencias estadísticamente significativas que impiden explicar las diferencias por el factor azar (tabla 7).

4.1.4. Covariables

Junto a las tres dimensiones o categorías de evaluación: 1) valoración técnica; 2) valoración educativa; y 3) valoración global, se han considerado algunas covariables que podrían haber influido sistemáticamente en las dimensiones de evaluación: 1) experiencia y uso de tecnología educativa del profesorado; 2) género; 3) nacionalidad; 4) extensión de la formación inicial; y 5) experiencia docente.

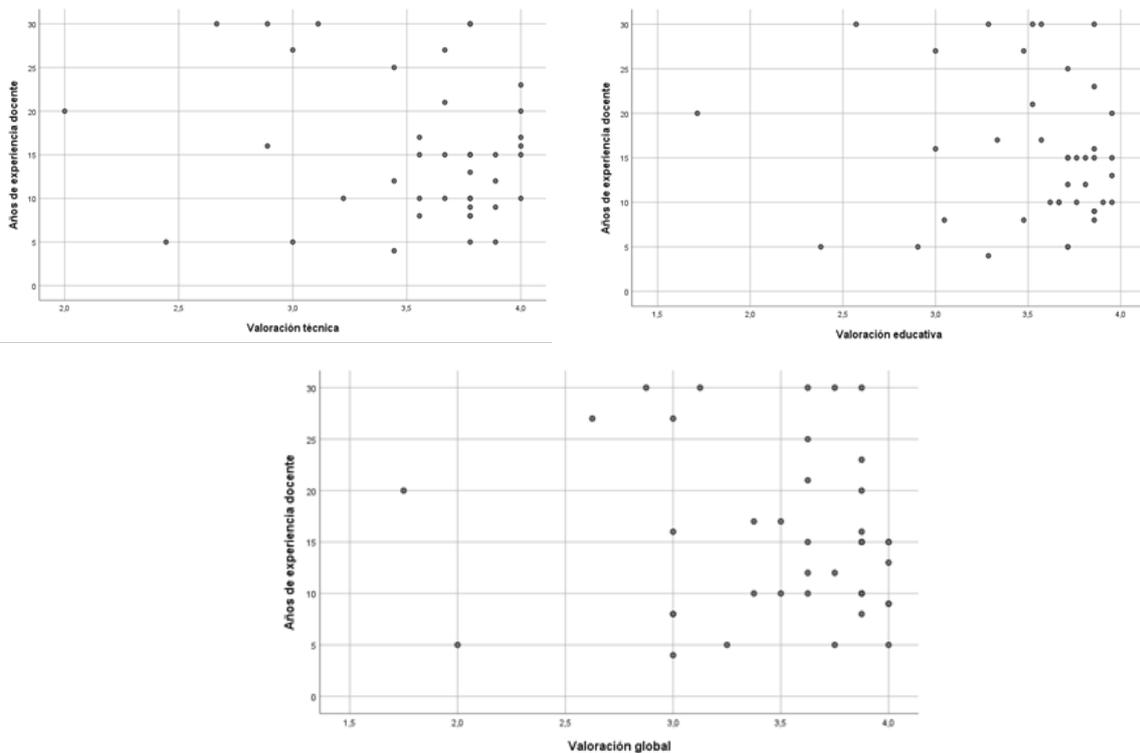
Asimismo, se incluyó una dimensión con 9 ítems con el fin de poder conocer la experiencia y uso de tecnología digital educativa del profesorado y si esta covariable tenía influencia en los resultados mediante su correlación con las dimensiones de evaluación. Los resultados muestran valores altos (tabla 8). Las correlaciones entre esta covariable y las dimensiones de evaluación del software son positivas de tamaño medio (entre 0.3 y 0.5), con diferencias significativas de signo positivo. Esto significa que, a mayor experiencia de uso de tecnología educativa del profesorado, mayor es la puntuación que otorga a las dimensiones de evaluación técnica, educativa y global.

Tabla 8. Valoración de las dimensiones del cuestionario (escala de 4 puntos), correlaciones r Pearson y significación bilateral entre la covariable experiencia de uso de tecnología digital educativa y las dimensiones de evaluación del software (significación estadística) *p>0,05; **p>0,01).

Escala	n	\bar{x}	SD	r Pearson	p valor (bilat.)
Experiencia y uso de tecnología educativa	41	2.23	.367	--	--
Valoración técnica	41	3.55	.461	.388	.012*
Valoración educativa	41	3.53	.474	.449	.003**
Valoración global	41	3.51	.531	.359	.021*

El género no tuvo influencia en las dimensiones valoración técnica y valoración educativa, pero sí en la dimensión valoración global, puntuando las mujeres mejor que los hombres (t=-2.33; p=0.025).

Las covariables nacionalidad y extensión de la formación inicial no tuvieron influencia en las dimensiones de evaluación. La experiencia docente fue una covariable que arrojó diferencias estadísticamente significativas con relación a las tres dimensiones de evaluación del software: valoración técnica ($\chi^2=34.7$; gl=20; p=0.021), valoración educativa ($\chi^2=58.2$; gl=20; p<.001) y valoración global ($\chi^2=70.7$; gl=30; p<.001). Cuantos más años de experiencia docente tenía el profesorado, mejor puntuó el software (figura 3).



(fig.3) Gráficos de tablas cruzadas entre la covariable experiencia docente y cada una de las tres dimensiones de evaluación del software Plectrus.

4.2. Resultados de los grupos de discusión

Los resultados de los grupos focales se presentan a continuación conforme a un análisis de los datos cualitativos a partir de categorías analíticas previas basadas en las dimensiones del cuestionario. El objetivo ha sido detectar y clasificar las percepciones del profesorado respecto al empleo del software Plectrus y poner en relación estos resultados con los procedentes del cuestionario (triangulación de métodos). Estas categorías analíticas han sido: 1) valoración técnica; 2) valoración educativa; 3) beneficios, problemas y sugerencias.

En los grupos focales, el investigador fue introduciendo temas, previamente validados, que aportaron mucha información al aflorar otras temáticas no contempladas inicialmente. Los vídeos fueron analizados mediante el software Elan, permitiendo asignar códigos a las citas desde distintos niveles de análisis. Todo ello permitió llegar a los resultados que se plantean en los apartados posteriores.

4.2.1. Resultados de valoración técnica

En general, el profesorado participante ha expresado opiniones muy positivas con relación a los aspectos técnicos del software. Una mayoría de participantes declara que el proceso de acceso al programa se percibe como intuitivo y sencillo y que el entorno gráfico del software es fácil de navegar. También, que permite el diseño adaptado de ejercicios en función del nivel académico y el instrumento en cuestión. Opina que la evaluación inmediata de los ejercicios y la capacidad de contrastar la representación de la respuesta sonora del alumnado con el modelo en pantalla ofrecen al alumnado una retroalimentación constructiva y beneficiosa “Ciertamente estamos acostumbrados al uso de diferentes softwares y este me ha parecido muy sencillo de utilizar” (prof. 4, grupo focal 2). Asimismo, se destacó la necesidad de reconfigurar el entorno gráfico porque, de acuerdo con sus opiniones, una adaptación más acorde a la edad del alumnado podría aumentar su nivel de aceptación en niños y niñas, etapa de edad objetivo del software. En general, el profesorado participante destacó el valor del software como una herramienta auxiliar muy útil para la labor relacionada con la entonación instrumental “Creo que es un software muy intuitivo y con un diseño muy limpio que ayuda a su uso en el aula” (prof. 1, grupo focal 1). Estas opiniones triangulan muy bien con los resultados de la valoración técnica del cuestionario, que, globalmente, obtuvo puntuaciones altas ($\bar{x}=3.55$; $SD=.461$), en especial, los ítems que relativos a la organización, navegabilidad y facilidad de uso ($\bar{x}=3.78$; $SD=.419$), elementos importantes en el éxito de un software.

4.2.2. Resultados de valoración educativa

La valoración educativa ha tenido comentarios muy positivos en los grupos focales, resultado que se triangula bien con los datos obtenidos del cuestionario ($\bar{x}=3.53$; $SD=.474$). Varias personas coinciden en que Plectrus puede afianzar la afinación desde un abordaje individual y previo, antes de plantear la afinación en interpretación grupal: “Contar con una sensibilidad auditiva más trabajada a la hora de tocar en grupo, ayuda” (prof. 1, grupo focal 1). En este sentido, otros docentes opinan que la facilidad de uso del software por parte del alumnado puede facilitar su autonomía al practicar desde sus casas. La generación de un historial de práctica de cada alumno permite realizar un seguimiento mucho más personalizado siempre adaptado a cada alumno: “también la progresión didáctica, el hecho de tener un historial que permite ver que vas mejorando poco a poco, facilita tener una mayor percepción de los avances por parte del alumnado” (prof. 4, grupo focal 1). Esta opinión coincide con la potencialidad de un software de práctica musical para facilitar el desarrollo de estrategias de autorregulación (Tejada et al., 2022) y de la autoeficacia (López-Calatayud, & Tejada, 2023b) por el alumnado en los inicios del aprendizaje de instrumentos.

El profesorado destaca la capacidad de crear y editar ejercicios, un ítem didáctico valorado mayoritariamente como atributo preeminente del software. Esta característica lo convierte en herramienta abierta de docentes y discentes con capacidad para realizar su propio itinerario de práctica, en lugar de ser un sistema cerrado, con ejercicios pre-programados por los diseñadores, como ocurre con otros software de entrenamiento musical. Este atributo facilita también una adecuación precisa al nivel académico de cada estudiante y facilita al educador la realización de una planificación semanal, si así lo estima pertinente. Además, esto le permite monitorizar el progreso teniendo en cuenta las dificultades emergentes de su alumnado: “[...] a diferencia de un trabajo con el aparato afinador típico que solo ves una flecha que indica un punto, este software visualmente te permite visualizar con mayor detalle los problemas y así poder reaccionar y aprender” (prof. 1, grupo focal 2). Estas manifestaciones se triangulan bien con la alta puntuación asignada a esta característica en la dimensión valoración educativa del cuestionario (tabla 5, ítem 4.10).

Algunos docentes manifiestan que, ante la escasez de programas informáticos de soporte a la práctica de la entonación instrumental, este software se convierte en esencial para el aprendizaje de los instrumentos musicales de altura no fija. Estas declaraciones triangulan bien con los datos del cuestionario relativos a la dimensión valoración técnica del cuestionario.

Además, se menciona que su especificidad puede actuar como un aliciente pedagógico para el alumnado, en especial para aquellas personas que se encuentran en el nivel inicial: “Normalmente el alumnado no se pone a estudiar entonación. Así que una aplicación como esta que está enfocada en esto, puede servir de guía para el alumnado y puede ser una buena referencia” (prof. 2, grupo focal 2).

La posibilidad de poder configurar el sistema de evaluación es uno de los ítems mejor valorados por el profesorado. Lo mismo ocurrió en el cuestionario ($\bar{x}=3.71$; $SD=.642$). El hecho de que la evaluación pueda ser de mayor o menor precisión, puede favorecer la práctica y aumentar la motivación de estudiantes noveles. Una evaluación estricta podría ser desmotivadora para el alumnado más joven que podría provocar el abandono de la práctica: “poder personalizar el rango de error dentro de la aplicación, me parece importantísimo

para poder motivar. No podemos exigir el mismo nivel al alumnado que recién empieza con el instrumento, que a otro con un mayor nivel” (prof. 3, grupo focal 2). Esto se triangula bien con la dimensión educativa (ítem 4.13 del cuestionario).

4.2.3. Percepciones sobre beneficios, problemas y sugerencias

El profesorado incide en las ventajas de la representación gráfica de la altura del sonido (no notacional) como un elemento que permite ver y corregir con mayor detalle cualquier dificultad que aparezca en el trabajo de entonación instrumental: “muchas veces el alumnado no es consciente de que en un paso de una nota a otra puede observar el proceso completo a través de la gráfica [del sonido]” (prof. 2, grupo focal 1). Esta evaluación positiva del *feedback* visual constituye un hallazgo del estudio.

La mayoría de participantes expresó una percepción sumamente favorable en relación con el software evaluado, sin identificar problemas significativos. Sin embargo, se manifestaron diversas sugerencias en el transcurso de los grupos focales que, desde una perspectiva analítica, podrían ser interpretadas como áreas de mejora. En relación al trabajo con instrumentos específicos como el violín, se recomendó la adaptación del software para evaluar técnicas como el uso de dobles cuerdas. Finalmente, se enfatizó la pertinencia de expandir la aplicabilidad del software a otros instrumentos, con especial interés en aquellos de la familia de viento-madera.

Respecto a las sugerencias didácticas, algunos docentes propusieron la incorporación de elementos rítmicos a los ejercicios de entonación en pro de la integridad de estos. Esta sugerencia se revisa en la discusión de este trabajo.

Como se mencionó atrás, algunos educadores destacaron la necesidad de reconsiderar otro entorno gráfico, además de una mejor adaptación a dispositivos móviles, como tabletas y teléfonos. Proponen también la implementación de un sistema de recompensas basado en medallas o logros para incentivar la motivación de los usuarios. Respecto a la entrada de sonido, se mencionó la problemática de la reverberación en ciertos espacios, recomendando la posibilidad de integrar un micrófono externo que permita una recepción más fidedigna del sonido instrumental. Finalmente, se propone que la plataforma ofrezca la creación de perfiles específicos para docentes y estudiantes, con el fin de facilitar una monitorización más precisa y personalizada por parte de los educadores hacia sus respectivos grupos de estudiantes.

5. Discusión y conclusiones

Esta investigación ha tenido como objeto la evaluación de un software en línea denominado Plectrus, diseñado como una solución software para el entrenamiento y evaluación a tiempo real de la entonación en instrumentos de viento-metal y cuerda frotada por parte de estudiantes de nivel inicial. Los resultados obtenidos, tanto cuantitativos como cualitativos, indican que Plectrus responde a las necesidades detectadas en el trabajo previo a su diseño (Tejada et al., 2022) y ha cumplido los objetivos de funcionalidad de la metodología de investigación basada en las ciencias del diseño: ha sido evaluado de manera muy positiva por el profesorado en las tres dimensiones de evaluación de este estudio.

Los hallazgos de esta investigación encuentran paralelismos con otro estudio previo que abordó el diseño y evaluación de software para procesos de aprendizaje musical, específicamente el software denominado Cantus, destinado a la entonación vocal y orientado a estudiantes de escuelas de música y conservatorios (Pérez-Gil et al., 2016). El profesorado evaluó de manera favorable los aspectos técnicos, educativos y globales del software, otorgando puntuaciones altas (por encima de 4 puntos en una escala de valoración de 5 puntos). Entre los aspectos mejor valorados, se destacaron la aplicabilidad, eficacia, originalidad, navegabilidad y organización. Además, todos los participantes recomendaron el software y afirmaron que creían que el software impactaría de forma positiva en el desarrollo de la entonación con la voz.

Las mayores fortalezas de Cantus que mencionaron el profesorado coinciden con las de Plectrus: la posibilidad de realizar una práctica musical autónoma, sin el docente, en la que el software detecta los problemas de entonación, da información al estudiante (evaluación automática) y proporciona un contraste entre las representaciones musicales de respuesta y el modelo que debe imitar (*feedback* visual y aural) (Howard et al., 2007; Welch et al., 1989).

Algunos docentes sugirieron incorporar elementos rítmicos a los ejercicios en pro de la integridad de estos. Sin embargo, algunos investigadores (Bengtsson y Ullen 2006) han argumentado la conveniencia de dissociar el ritmo y la entonación en la práctica instrumental para un aprendizaje rápido y desarrollo de la flexibilidad en el control motor. Su sugerencia se basa en que los dos tipos de información se procesan en diferentes zonas cerebrales. Por otro lado, podría representar una carga cognitiva añadida para el alumnado novel al enfrentarle a varios problemas simultáneos: las tareas de lectura, percepción y producción rítmica con las tareas homónimas de entonación. Como resultado, se podría producir un fenómeno de división de atención (Castro-Alonso y Sweller, 2020). Así pues, la presentación del parámetro ritmo junto a la entonación durante las primeras etapas del aprendizaje instrumental podría no ser la elección didáctica más adecuada si se pretende que el alumnado focalice la atención en los procesos de entonación. En este caso, lo más conveniente sería separar la práctica en ejercicios específicos de ritmo y de entonación.

Uno de los hallazgos de este estudio consiste en la evaluación positiva del *feedback* visual. Triangula bien con las altas puntuaciones del ítem 4.6 del cuestionario (tabla 5), así como con el resultado de la evaluación de Cantus (Pérez-Gil et al., 2016). Sin embargo, dicho constructo muestra resultados no

coincidentes en la literatura (Blanco y Ramírez, 2019; Howard et al., 2007; Pardue y McPherson, 2019; Welch et al., 1989; Wilson et al., 2008), por lo que este hallazgo debería interpretarse con cautela.

Un hallazgo al que no se puede dar una explicación plausible es la mayor puntuación de las mujeres respecto a los hombres en la dimensión de valoración global del software. No es explicable con los datos obtenidos (no hay correlación de esta dimensión con las dimensiones técnica ni educativa) ni tampoco por la literatura relacionada. Se sospecha que podría ser una consecuencia del tamaño de la muestra utilizada.

Un aspecto importante que resaltar es la capacidad del software Plectrus para facilitar al alumnado la práctica autónoma, es decir, el trabajo con el instrumento sin la presencia del profesorado, ofreciendo una evaluación automática de la afinación, un análisis de los problemas surgidos, la provisión de información instantánea al alumnado, la visualización y contraste de las representaciones musicales de respuesta y el modelo ideal de entonación (*feedback* visual y aural).

En resumen y a pesar de que la muestra utilizada en el cuestionario podría ser considerada escasa y por tanto una limitación de este estudio, la triangulación de los datos del cuestionario y de los grupos de discusión muestra consistencia. Los resultados de esta investigación indican que el software produce resultados satisfactorios y está ajustado a los objetivos iniciales de la DSRM. Por tanto, respaldan la eficacia y utilidad de Plectrus como una herramienta valiosa para el desarrollo de la entonación en instrumentos de viento-metal y cuerda frotada en el nivel inicial de los estudios musicales. Estos hallazgos se alinean con investigaciones previas en procesos de enseñanza musical (Tejada et al., 2011, Pérez-Gil et al., 2016), lo que sugiere que el uso de software especializado podría tener un impacto positivo en el proceso de aprendizaje musical y, en este caso, en la mejora de las habilidades de entonación.

Para confirmar esta suposición, sería conveniente realizar estudios de pequeña escala –los únicos viables en el contexto educativo de escuelas de música y conservatorios– con datos acumulativos para conocer la validez externa de los resultados, lo cual constituye una limitación de este estudio. Sería también importante realizar estudios sobre la efectividad de la práctica instrumental con Plectrus en la destreza de entonación, así como estudios de corte más cualitativo para conocer cómo afecta el uso de este recurso en algunos constructos psicológicos y emociones del alumnado cuando usa Plectrus en su práctica instrumental. Esto ya se ha hecho de modo discreto en relación a algunos constructos psicológicos, como las estrategias de autorregulación (Tejada et al., 2022) y de autoeficacia (López-Calatayud, & Tejada, 2023 en prensa), pero quedan otros cuya relación con los recursos de aprendizaje podrían hacer aportaciones valiosas al conocimiento sobre los procesos de desarrollo de destrezas de entonación.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación de España (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), en el marco de la subvención al proyecto “Diseño y validación de una solución educativa para el entrenamiento y evaluación de la entonación vocal e instrumental mediante software avanzado online” [número de subvención PID2019-105762GB-I00], en colaboración con el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Los autores agradecen la participación del profesorado e instituciones de enseñanza musical participantes en este trabajo. Asimismo, a Edwin Abbett, quien tradujo este trabajo al inglés.

6. Referencias bibliográficas

- Agin, J. (2021). Intonia versión 1.5.1. (software). Pittsburgh. <https://intonia.com/index.shtml>
- Aleman, A., Nieuwenstein, M. R., Böcker, K. B. & de Haan, E. H. (2000). Music training and mental imagery ability. *Neuropsychologia*, 38(12), 1664-1668. doi.org/10.1016/s0028-3932(00)00079-8
- Bengtsson, S. & Ullen, F. (2006). Dissociation between melodic and rhythmic processing during piano performance from musical scores. *Neuroimage*, 30(1), 272-84. doi.org/10.1006/nimg.2005.09.019
- Blanco, A. D. & Ramírez, R. (2019). Evaluation of a sound quality visual feedback system for bow learning technique in violin beginners: An EEG study. *Frontiers in Psychology*, 10, 65. doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00165
- Bucur, V. (2019). Resonant Air Column in Wind Instruments. In *Handbook of Materials for Wind Musical Instruments* (pp. 337-358). Springer.
- Castro-Alonso J. C. & Sweller J. (2020). The Modality Effect of Cognitive Load Theory. In W. Karwowski, T. Ahram, & S. Nazir (eds.), *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 963 (pp. 75-84). Springer. doi.org/10.1007/978-3-030-20135-7_7
- Dai, J., Mauch, M. & Dixon, S. (2015). Analysis of intonation trajectories in solo singing. *Proceedings of the 16th ISMIR Conference* (October 26-30). Málaga, España.
- Dalmont, J. P., Gazengel, B., Gilbert, J. & Kergomard, J. (1995). Some aspects of tuning and clean intonation in reed instruments. *Applied Acoustics*, 46(1), 19-60. <https://hal.science/hal-00475069/document>
- Dresch, A., Pacheco, D. & Valle, J. A. (2015). *Design Science Research. A Method for Science and Technology Advancement*. Springer.
- Fernández-Barros, A., Duran, D. & Viladot, L. (2023). Peer tutoring as a tool for developing the intonation of violin and viola students in Elementary music education. *Music Education Research*, 25(2), 176-189. doi.org/10.1080/14613808.2023.2193210

- Fernández-Barros, A., Viladot, L. & Duran, D. (2020). Oídos a Pares. Un proyecto de tutoría entre iguales para el desarrollo de la afinación y la percepción auditiva en el alumnado de violín y viola. *Revista Electrónica de LEEME*, 45, 1-16. doi.org/10.7203/LEEME.45.16062
- García, R. (2017). *Entrenamiento mental para músicos. Técnicas de estudio mental y visualización para potenciar el rendimiento interpretativo*. Redbook Ediciones.
- Gardner, R. D. (2020). Extending the Discussion: Intonation Pedagogy for Bowed Stringed Instruments, Part I. *Update*, 38(2), 55-58. doi.org/10.1177/8755123319893219
- Heyne, M., Derrick, D. & Al-Tamimi, J. (2019). Native Language Influence on Brass Instrument Performance: An Application of Generalized Additive Mixed Models (GAMMs) to Midsagittal Ultrasound Images of the Tongue. *Frontiers in Psychology*, 10, 2597. doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02597
- Howard, D., Brereton, J., Welch, G., Himonides, E., DeCosta, M., Williams, J. & Howard, D. (2007). Are real-time displays of Benefit in the singing studio? An exploratory study. *Journal of Voice*, 21(1), 20-34. doi.org/10.1016/j.voice.2005.10.003
- Julia, J., Iswara, P. D., Gunara, S. & Supriyadi, T. (2019). Developing Songs for Elementary School Students with the Support of Music Notation Software. *Universal Journal of Educational Research*, 7(8), 1726-1733. doi.org/10.13189/ujer.2019.070811
- López-Calatayud, F. (2023). Music perception, sound production, and their relationships in bowed string instrumentalists: A systematic review. *Revista Electrónica de LEEME*, 51, 55-81. doi.org/10.7203/LEEME.51.25928
- López-Calatayud, F. & Tejada, J. (2024). Self-regulation strategies and behaviours in the initial learning of the viola and violin with the support of software for real-time instrumental intonation assessment. *Research Studies in Music Education*, 46(1), 48-65. doi.org/10.1177/1321103X221128733
- López-Calatayud, F. & Tejada, J. (en prensa). Self-efficacy in instrumental practice with intonation assessment software. A multiple case study with novice violin and viola students. *Journal of Music Technology and Education*.
- Miller, D.S. (2022). The Effect of Register, Direction, and Magnitude on Musician's Evaluations of Chamber Ensemble Intonation: A Within-Study Comparison for Analysis of Repeated Measures. *Journal of Research in Music Education*, 70(3), 339-360. doi.org/10.1177/00224294211060457
- Montero, M. & Vicente, G. (2016). Movimiento para la práctica instrumental en contextos educativos. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 31(1), 105-118. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6535205
- Morrison, S. J. & Fyk, J. (2002). Intonation. In R. Parncutt y G. McPherson (eds.), *The Science & Psychology of Music Performance: Creative Strategies for Teaching and Learning* (pp. 182-197). Oxford University Press. doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195138108.003.0012
- Nápoles, J., Springer, D. G., Silvey, B. A. & Adams, K. (2019). Effects of Pitch Source on Pitch-Matching and Intonation Accuracy of Collegiate Singers. *Journal of Research in Music Education*, 67(3), 270-285. doi.org/10.1177/0022429419863034
- Nordstrom, K. & Nordstrom, S. (2020). From the Beginning: Building Foundational Technique in Violin and Viola Students. *American String Teacher*, 70(1), 23-28. doi.org/10.1177/0003131319891138
- Pardue, L. S. & McPherson, A. (2019). Real-time aural and visual feedback for improving violin intonation. *Frontiers in Psychology*, 10, 627. doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00627
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. & Chatterjee, S. (2008). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45-77. https://bit.ly/3rLVrNm
- Pérez-Gil, M., Tejada, J., Morant, R. & Pérez, A. (2016). Cantus. Construction and evaluation of a software for real-time vocal music training and musical intonation assessment for music education. *Journal of Music, Technology and Education*, 9(2), 125-144. doi.org/10.1386/jmte.9.2.125_1
- Powell, S. R. (2010). Wind instrument intonation: A research synthesis. *Bulletin of the County of Research in Music Education*, 184, 79-96. https://www.jstor.org/stable/27861484
- Rumjaun, A. & Narod, F. (2020). Social Learning Theory – Albert Bandura. In B. Akpan & Kennedy, T. J. (eds.), *Education in Theory and Practice. An Introductory Guide to Learning Theory* (pp. 4-7). Springer.
- Schlegel, A. & Springer, D. (2018). Effects of accurate and inaccurate visual feedback on the tuning accuracy of high school and college trombonists. *International Journal of Music Education*, 36, 394-406. doi.org/10.1177/0255761418763914
- Silvey, B. D., Nápoles, J. & Springer, D. G. (2019). Effects of Pre-Tuning Vocalization Behaviors on the Tuning Accuracy of College Instrumentalists. *Journal of Research in Music Education*, 66(4), 392-407. doi.org/10.1177/0022492418806304
- Tejada, J. & Fernández-Vilar, M. A. (2023). Design and Validation of Software for the Training and Automatic Evaluation of Music Intonation on Non-Fixed Pitch Instruments for Novice Students. *Education Sciences*, 13(9), 860. doi.org/10.3390/educsi13090860
- Tejada, J., Murillo, A. & Mateu-Luján, B. (2022). La enseñanza inicial de la entonación en instrumentos de viento-metal y lenguaje musical en España. Un estudio exploratorio con profesorado de escuelas de música. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 19, 209-221. doi.org/10.5209/reciem.77966
- Tejada, J., Pérez-Gil, M. & Pérez, R. (2011). Tactus Didactic Design and Implementation of a Pedagogically Sound Based Rhythm-Training Computer Program. *Journal of Music, Technology and Education*, 3(2+3), 155-165. doi.org/10.1386/jmte.3.2-3.155_1

- Welch, G., Rush, C. & Howard, D. (1989). Real-time visual feedback in the development of vocal pitch accuracy in singing. *Psychology of Music*, 17(2), 146-157. doi.org/10.1177/0305735689172005
- Wilson, P., Lee, K., Callaghan, J. & Thorpe, W. (2008). Learning to sing in tune: Does real-time visual feedback help? *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, 2(1&2), 157-172. http://musicstudies.org/wp-content/uploads/2017/01/Wilson_JIMS_0821210.pdf
- Xu, P. (2021). Research on the Application of Computer Music Software in College Traditional Music Course. *Journal of Physics: Conference Series*, 1992, 022178. doi.org/10.1742/6596/1992/2/022178
- Zabanal, J. R. A., Chang, A. C. & Lofdahl, H. A. (2023). A Content Analysis of the American String Teacher. *String Research Journal*, 13, 15-31. doi.org/10.1177/19484992221121754
- Zendri, G., Valdan, M., Gratton, L. M. & Oss, S. (2015). Musical intonation of wind instruments and temperature. *Physics Education*, 50, 348. doi.org/10.1088/0031-9120/50/3/348