



Vol. 3 N.º 9 / Guayaquil  
mayo 2024  
ISSN 2953-657x

# Software adaptivo para el entrenamiento auditivo técnico en las aulas de clases

Juan Pablo Corredor

Facultad de ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana

Bogotá, Colombia

[j-corredor@javeriana.edu.co](mailto:j-corredor@javeriana.edu.co)

## Resumen

Este *paper* estudia entrevistas e investigaciones realizadas alrededor de la docencia del entrenamiento auditivo técnico (o escucha crítica) en las universidades y escuelas. Busca posibles puntos por mejorar o nuevas vías en el desarrollo de *software* para minimizar la frustración y dificultad de los estudiantes, y optimizar la labor de los docentes.

**Palabras clave:** Entrenamiento auditivo, escucha crítica, pedagogía, programación, *software*

## Abstract

This paper focuses on interviews and research carried around the teaching of technical ear training (also known as critical listening) in universities and colleges. We try to find potential improvements or new avenues for software development to minimize frustration in students and to optimize professors' duties.

**Keywords:** Ear training, critical listening, teaching, programming, software

## 1. Introducción

La enseñanza del entrenamiento auditivo técnico, también llamado ocasionalmente escucha crítica, es una práctica relativamente reciente en muchas escuelas de audio profesional y música. Se ha estado estudiando desde perspectivas pedagógicas cada vez más enfocadas hacia la eficiencia del aprendizaje y su facilitación.<sup>1</sup>

No es una cuestión sorprendente, pues tanto los profesionales del audio como los mismos estudiantes son conscientes de que desarrollar la habilidad de asociar valores cuantitativos con impresiones aurales (como lo describe Jason Corey, experto en el tema) facilitará sus labores en el campo del audio como ingenieros de mezcla, de grabación o de sonido en vivo más adelante.

Sin embargo, el aprendizaje de la escucha crítica sigue siendo un campo limitado en cuanto a sus recursos disponibles, y en especial a las metodologías que se emplean para su enseñanza.<sup>2</sup> Muchas escuelas recurren a una metodología de repetición aleatoria, donde los estudiantes son expuestos a tipos de ejercicios (principalmente enfocados en el reconocimiento de cambios de intensidad en bandas de frecuencia) repetidamente hasta que logran crear las asociaciones necesarias para poder reconocerlos en contextos musicales o dialécticos.

Esto supone un problema considerable para los docentes, pues al ser un campo tan dependiente de las habilidades individuales de cada estudiante, y a la vez ser un proceso donde las dificultades específicas de cada uno pueden variar significativamente, se crean condiciones de desigualdad dentro de las aulas. Allí, los individuos que no encuentran afinidad con las metodolo-

gías o recursos utilizados tampoco tienen un análisis de resultados a gran escala que les permita llevar a cabo sesiones de estudio específicas y enfocadas, sino que deben cumplir con ejercicios uniformes para todos los estudiantes, e ir al mismo ritmo de alumnos sobresalientes, o incluso limitar el ritmo al que un aula puede avanzar.

Esta aproximación general al entrenamiento auditivo técnico (EAT) puede individualizarse con nuevos esquemas y modelos de *software* diseñados específicamente para la pedagogía universitaria. En este documento de investigación se presentarán algunas de las falencias que actualmente existen en las herramientas de EAT de acuerdo con docentes del área en la Pontificia Universidad Javeriana y la Virginia State University, así como publicaciones realizadas en el *Journal of the Association for Technology in Music Instruction* (JATMI).

## 2. Objetivos de la investigación

En este documento se proponen algunas características relevantes para el desarrollo de *software* pedagógico en el área de EAT utilizando entrevistas y estudios bibliográficos como referencia. Este artículo es una mirada al estado actual de las herramientas digitales, y algunos posibles caminos para su futuro desarrollo.

Se establecen dificultades pedagógicas halladas por docentes del EAT, y se habla de funcionalidad y modelos de *software* que puedan ayudar a facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje en aulas universitarias o escolares.

Asimismo, esta investigación permite construir una base teórica sólida para desarrollar a futuro un programa que cumpla con las características mencionadas.

También se presenta una relación entre aplicaciones de aprendizaje de otras

1 Wellington Gordon, «Considering Best Practices in Technical Ear Training», *Journal of the Association for Technology in Music Instruction*, vol. 2, n.º 1 (2021).

2 Jason Corey, «Technical Ear Training: Tools and Practical Methods», *Proceedings of Meetings on Acoustics*, vol. 19, n.º 1 (2013).

áreas como el estudio de los idiomas o la medicina (Duolingo, Anki, entre otras)<sup>3</sup>, y el aprendizaje de la escucha crítica, al proponer una aplicación práctica de los algoritmos de repetición espaciada en un contexto de audio profesional.

Por último, se propondrán algunas herramientas de programación (lenguajes, librerías y documentación) que pueden resultar particularmente efectivas para el adecuado desarrollo de una aplicación con estas características.

### 3. Aspectos pedagógicos y debilidades de las herramientas disponibles

A continuación, se presentarán algunos de los aspectos pedagógicos por mejorar que los mismos docentes de EAT entrevistados mencionaron.

#### 3.1. Estandarización

Uno de los problemas más importantes que menciona el profesor Wellington Gordon de Virginia State University, tanto en nuestra entrevista como en su investigación del 2021, es la falta de estandarización pedagógica sobre el EAT. Por el momento no existe una claridad real en el mundo del audio sobre cómo se debería enseñar la escucha crítica ni cuáles son las competencias principales que se deberían entrenar en un futuro profesional del audio.<sup>4</sup>

Existe una fuerte tendencia hacia el estudio de los cambios en el espectro en frecuencia, que pretenden simular escenarios de ecualización o de reconocimiento tímbrico en el ejercicio profesional. No obstante, todas las otras competencias que se presentan en los cursos de entre-

namiento auditivo técnico varían considerablemente de escuela a escuela, incluso dentro de un mismo país o de una misma ciudad.

Esta falta de estandarización dificulta el desarrollo de prácticas y herramientas especializadas para la pedagogía del EAT, pues mientras que en la Facultad de Artes de la Universidad A pueden estar practicando tiempos de *delay* como una competencia importante, es posible que en el Departamento de Audio de la Universidad B nunca se hable del tema en clase, y más bien se opte por realizar ejercicios enfocados en las reverberaciones y los recintos.

Para llegar a un consenso profesional todavía faltan años de estudios, investigaciones y una labor pedagógica internacional, por lo que esta investigación no pretende solucionar el problema de la estandarización. Sin embargo, se ha utilizado lo más cercano que existe a un estándar en la pedagogía del EAT, es decir, el estudio de los cortes y aumentos de intensidad en bandas de frecuencia, para buscar soluciones a los otros problemas que se mencionarán en el documento.

#### 3.2. Personalización

La personalización en la pedagogía es un tema que se ha desarrollado a la par con el *software*. Naturalmente, una de las grandes ventajas de trabajar el desarrollo de *software* como una herramienta pedagógica es que se pueden personalizar los cursos a un grado mucho mayor.

La personalización ha demostrado resultados positivos en grupos de prueba en el área del EAT, y se tiene evidencia de que una instrucción personalizada hace el proceso de aprendizaje más eficiente para los estudiantes. Sin embargo, hasta el momento, la educación personalizada ha estado considerablemente limitada y no ha visto

<sup>3</sup> Anki, «Background», Anki, 2006, <https://docs.ankiweb.net/background.html>

<sup>4</sup> Gordon, «Considering Best Practices...».

una adopción generalizada por parte de las escuelas y universidades.<sup>5</sup>

Este es posiblemente uno de los puntos cruciales en el área del EAT. Al tener como factor influyente la percepción auditiva y el entendimiento de ella de cada estudiante, la personalización puede convertir un arduo proceso grupal en un proceso clínico y enfocado para ayudar a hacer más eficiente el esfuerzo que los estudiantes le dedican a practicar.

La profesora Estefanía Toro de la Universidad Javeriana menciona en nuestra entrevista cómo las limitaciones de enseñar a un grupo completo con herramientas que presentan ejercicios aleatorios idénticos a todos los estudiantes hacen que aquellos con dificultades en su asignatura deban dedicarles muchísimo más tiempo a sus estudios. Naturalmente, el rendimiento individual siempre será un factor innegable en las evaluaciones académicas, pero una herramienta personalizada podría ayudar a reducir estas brechas en desempeño considerablemente.

### 3.3. Análisis estadístico

Otra dificultad con la que los docentes de EAT se han encontrado en su labor es la de monitorear los resultados y el desempeño de los estudiantes a gran escala. La mayoría de los docentes entrevistados estuvieron de acuerdo en que una vista general de sus aulas era necesaria, y habían optado por opciones proporcionadas por terceros.

Algunos utilizan encuestas o formularios de Google o Microsoft para poder tener un registro del desempeño académico de sus estudiantes en detalle, y otros lo mantenían manualmente en tablas de datos. Pero la desventaja de este procedimiento es que abre la puerta al error humano, y

supone una mayor inversión de tiempo por parte de los docentes. Sin mencionar que tampoco provee un análisis estadístico real a los estudiantes, a menos que los docentes compartan en tiempo real los resultados con las clases.

Son demasiadas variables que pueden dificultar tener una perspectiva general del proceso del grupo en el tiempo. Esto también obscurece la información para todos los involucrados.

La falta de un análisis estadístico de fácil consumo y con criterios específicos hace que los mismos estudiantes muchas veces no sean conscientes de sus fortalezas y debilidades, y que, para tener una visión general de su aula, los maestros deban invertir más tiempo y esfuerzo del ideal.

### 3.4. Accesibilidad y difusión

El último gran problema que se ha encontrado en las metodologías actuales es el difícil acceso o conocimiento de muchas herramientas existentes para el estudio del EAT.

Para empezar, son escasas las herramientas que disponen de funciones para los docentes y la enseñanza en el aula de clases. La mayoría de programas disponibles se enfocan en el estudio individual y privado sobre un estudio social o supervisado como suele ocurrir en las aulas universitarias.

Incluso considerando tanto opciones comerciales como libres u *open source*, gran parte del *software* de fácil acceso existente fue desarrollado hace más de una década, y requiere descargas, instalaciones o suscripciones pagas. La Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá utiliza el *software* TET (Technical Ear Training) desarrollado en McGill University<sup>6</sup>, así como una *suite* de aplicaciones desarrolladas por miembros de

<sup>5</sup> Sungyoung Kim, «An Assessment of Individualized Technical Ear Training for Audio Production», *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 138, n.º 1 (2015).

<sup>6</sup> René Quesnel, «A computer-assisted method for training and researching timbre memory and evaluation skills» (tesis de doctorado, Faculty of Music, McGill University, 2001).

la misma universidad en lenguajes gráficos como Pure Data<sup>7</sup>, entre otras herramientas comerciales como SoundGym<sup>8</sup> o Pro Audio Essentials de iZotope<sup>9</sup>, mientras que el maestro Wellington Gordon de Virginia State University afirmó utilizar Auricula<sup>10</sup> junto con una gran variedad de herramientas de manejo de información por internet.

Las herramientas que requieren una descarga e instalación en dispositivos de los estudiantes resultan inconvenientes y sufren de una menor capacidad de difusión. Sin embargo, las herramientas disponibles en línea no están diseñadas para asistir a los maestros con un análisis estadístico completo, y evidentemente van dirigidas más a un proceso de autoaprendizaje divorciado del contexto del aula universitaria.

#### 4. Consideraciones para *software* de uso pedagógico en el EAT

Siendo este el caso, como desarrollador de *software* he pensado en algunos elementos a los que podrían aspirar nuevos proyectos que se enfoquen principalmente en ayudar a estudiantes y docentes en sus labores, que sean de más fácil acceso y que se ajusten a cierto estándar. Debido a la limitada investigación en otras habilidades de escucha crítica, el foco caerá principalmente sobre el estudio de reducciones y aumentos de intensidad en bandas de frecuencia, pues aún es necesario hacer juicios académicos sobre la efectividad y metodología de la enseñanza de reconocimiento de procesos como la compresión, reverberación, *delay* o cambios de fase.

7 Miller S. Puckette, «Pure Data», *ICMC* (septiembre de 1997).

8 SoundGym, «Audio ear training & learning center», SoundGym, 2016, <https://www.soundgym.co/site/about>

9 iZotope, «iZotope announces PAE», iZotope, 2016, <https://www.izotope.com/en/company/press/2016/izotope-announces-pae.html>

10 Jason Corey, *Audio Production and Critical Listening: Technical Ear Training* (Taylor & Francis, 2016).

#### 4.1. Análisis estadístico y difusión a través de *software* web y manejo de bases de datos en la nube

La primera vía posible para el desarrollo de nuevo *software* en esta disciplina es utilizar un lenguaje de programación web como WebAssembly para poder crear una herramienta eficiente y funcional en el ámbito del audio.

WebAssembly funciona como un interpretador de bajo nivel de lenguajes de programación que permite escribir código en lenguajes comunes como C++/C, Java o Rust y convertirlos a aplicaciones web. Es ideal para aplicaciones de audio, que suelen ser exigentes en su desempeño en tiempo real, y son poco flexibles con las latencias o las imprecisiones. Usando WebAssembly es posible construir una estructura robusta y longeva que pueda correr sobre navegadores web. Esto facilitaría la difusión y accesibilidad de la herramienta dramáticamente, reduciendo la necesidad de realizar descargas o instalaciones adicionales.<sup>11</sup>

Adicionalmente sería necesario contar con una base de datos que pueda almacenar usuarios y su desempeño personal. Esto permitiría eventualmente la creación de sistemas donde los docentes puedan administrar grupos para sus clases y observar el desempeño y progreso en tiempo real de sus estudiantes. Los estudiantes, por otra parte, podrían ver su desempeño en un período de tiempo específico, y ver una discriminación clara de bandas de frecuencia que les causan particulares problemas en el reconocimiento en diferentes contextos, o secuencias de respuestas que les resultan particularmente fáciles de responder. Así la misma plataforma podría ajustar sus algoritmos para agilizar el proceso de recono-

11 Andreas Haas *et al.*, «Bringing the web up to speed with WebAssembly», *Proceedings of the 38th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation* (2017): 185-200.

cimiento para cada estudiante de acuerdo a sus necesidades específicas.

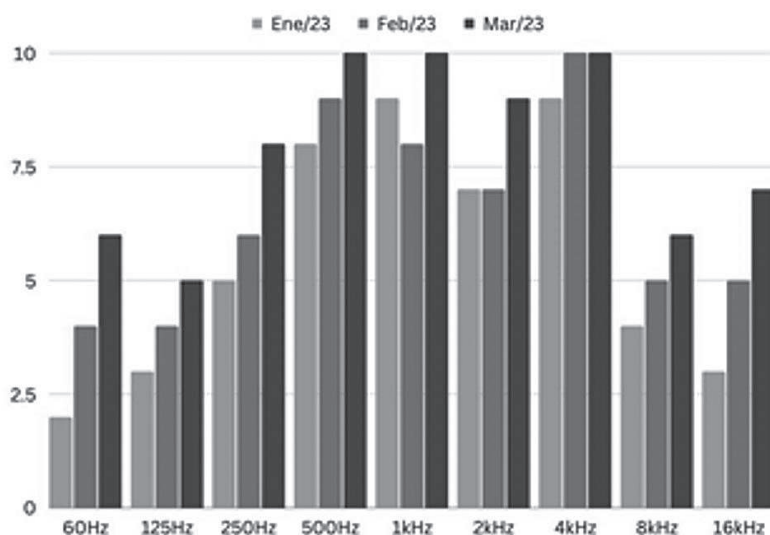


Figura 1: ejemplo de gráfico de barras con desempeño por mes en bandas de frecuencia.

Por último, se puede tomar como referencia el *software* existente para construir una herramienta que se vaya ajustando a un estándar: reconocimiento de frecuencias por octavas y tercios de octava, con factor de calidad y cambio en decibeles ajustables, con la posibilidad de reproducir un archivo de audio para evaluar cambios de frecuencia sobre música, voz humana o grabaciones de ambientes, así como un generador de ruido rosa para escuchar los cambios de frecuencia en un marco más abstracto.

## 4.2. Personalización a través de algoritmos de repetición espaciada

Idealmente, una vez el *software* esté en una etapa de prueba básica se probarían distintos algoritmos para la personalización de los ejercicios.

Una alternativa muy atractiva que ha recibido una recepción positiva de estudiantes de distintos campos son los algoritmos de repetición espaciada<sup>12</sup>, donde una persona se

expone a un ejercicio, lo responde, compara su respuesta con la opción correcta, y evalúa

la pregunta de acuerdo con la dificultad percibida. Si el estudiante cree que tuvo dificultad para responder la pregunta, la evalúa con un puntaje bajo, mientras que, de responderla correctamente sin problemas, le asignaría un puntaje alto.

En principio, este mecanismo funciona bien para ejercicios lingüísticos o académicos en los que los estudian-

tes deben memorizar palabras o conceptos. Sin embargo, el audio es mucho más contextual, por lo que crear estas asociaciones resultará más difícil para un estudiante si no se considera también el contexto de las preguntas. Para esto, una aproximación interesante podría darse por medio de una modificación a los algoritmos de repetición espaciada, que evalúa también las preguntas anteriores a las que son expuestos los estudiantes. En este caso, el ejercicio que se registraría como un intento no consistiría exclusivamente en una respuesta aislada, sino en una posible secuencia de dos o hasta tres respuestas. Y cada grupo de respuestas se repetiría con la intensidad y consideraciones necesarias descritas por Tabibian *et al.*<sup>13</sup>

Esto sería un cambio sustancial de otros algoritmos de personalización propuestos en el pasado. Por ejemplo, en 2011, investigadores de la Universidad de Tsukuba en Japón plantearon un algoritmo de repetición balanceada específicamente para EAT que repetiría las preguntas dependien-

12 David Ausubel y Mohamed Youssef, «The Effect of Spaced Repetition on Meaningful Retention». *The Journal of General Psychology*, vol. 73, n.º (1) (1965): 147-150.

13 Behzad Tabibian *et al.*, «Enhancing Human Learning Via Spaced Repetition Optimization», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, n.º 10 (2019): 3988-3993.

do del desempeño de los estudiantes.<sup>14</sup> Sin embargo, un factor importante a considerar es que las preguntas de los ejercicios de escucha crítica no ocurren aisladas, sino usualmente en sucesión. Para muchos estudiantes no es lo mismo reconocer un aumento con frecuencia central de 4 kHz luego de escuchar un aumento con frecuencia central de 2 kHz, comparado con 60 Hz o 16 kHz. Este tipo de consideraciones afectarían el algoritmo de detección.

Por ejemplo, si un estudiante tiene consistentemente respuestas incorrectas al reconocer aumentos en la banda de 4 kHz, no se repetiría incesantemente esta banda sin mayor consideración, sino que se evaluarían las bandas que el estudiante escuchó inmediatamente antes para buscar combinaciones sonoras que puedan causar mayor dificultad en el estudiante. Así, no solo se estaría ajustando constantemente la frecuencia con la que el usuario va a escuchar secuencias específicas de ejercicios, sino también se estarían identificando posibles patrones a mayor escala en grupos enteros de estudiantes.

Esto también facilita la implementación de algoritmos de repetición espaciada, que usualmente dependen de grandes grupos de información para memorizar y presentar al usuario.<sup>15</sup> Incluso evaluando el reconocimiento de tercios de octava, el conjunto de preguntas posibles en los programas de EAT es bastante reducido. Pero al considerar distintas combinaciones de preguntas, el tamaño del conjunto crece exponencialmente, lo que permite una mayor flexibilidad a la hora de ajustar las preguntas en el tiempo.

Esta es la verdadera ventaja de buscar un desarrollo de *software* grupal para

las aulas de clases. También permite que, por ejemplo, si uno de los audios utilizados para los ejercicios resulta particularmente difícil en algunas bandas de frecuencia, se pueda normalizar el desempeño de la clase considerando los resultados obtenidos, y se puedan tomar decisiones futuras sobre los recursos a utilizar en las clases.

## 5. Descripción y uso del *software*

Luego de discutir dificultades encontradas en la enseñanza y aprendizaje del EAT, así como algunas opciones que la programación contemporánea ofrece para crear programas personalizables, de fácil acceso y con un buen manejo de la información para proveer retroalimentación inmediata a los estudiantes, a continuación, se describirá un programa prototípico que cumpla con estas características.

Se podrá acceder al programa directamente desde un navegador web, desde dispositivos de escritorio, así como desde dispositivos móviles sin la necesidad de instalar o descargar nada, únicamente con un URL. Por supuesto, la interfaz gráfica del programa también tendrá una versión de escritorio y una versión móvil.

El usuario podrá decidir reconocer aumentos y cortes por bandas de frecuencia sobre ruido rosa, o subir un archivo de audio (en algún formato sin pérdidas como .wav, .aiff o .flac) para realizar los ejercicios sobre música o voz. El programa también podrá ofrecer una selección de audios (libres de derechos de autor) escogidos especialmente por sus características espectrales. Estos audios serán debidamente consultados con docentes expertos en el EAT.

Antes de comenzar con su entrenamiento, el usuario podrá decidir un número máximo de ejercicios nuevos por día. Al igual que en otros programas como Anki<sup>16</sup>, este número determinará la cantidad de

14 Teruki Kaniwa *et al.*, «Towards a Personalized Technical Ear Training Program: An Investigation of the Effect of Adaptive Feedback», *Proceedings of the SMC* (2011): 439-443.

15 Hadi Amiri, Tim Miller y Guergana Savova, «Repeat Before Forgetting: Spaced Repetition for Efficient and Effective Training of Neural Networks», *Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (2017): 2401-2410.

16 Anki, «Background».

nuevas preguntas que el estudiante deberá reconocer cada 24 horas. La facilidad o dificultad con la que el estudiante responda determinará la frecuencia y la cantidad de repeticiones.

Una vez comenzado el entrenamiento, el estudiante escuchará un audio con un aumento o corte de frecuencia y deberá indicar la banda en la que se encuentra la afectación. Los docentes podrán decidir si sus clases tendrán disponible la opción de *bypass* para realizar una comparación A/B, o si los estudiantes primero escucharán la versión filtrada y luego el audio limpio. La misma aplicación ofrecerá flexibilidad para los docentes y para sus clases.

En el momento del entrenamiento, el estudiante deberá responder una secuencia de preguntas. Sin embargo, la aplicación en el fondo no solo estará evaluando las preguntas individuales, sino que también estará revisando el desempeño del estudiante en cada banda de frecuencia y considerando su contexto, es decir, las preguntas previas. De esta manera, a medida que avanza el entrenamiento, el algoritmo de repetición espaciada va definiendo cuáles secuencias de bandas de frecuencia le generan más problemas al estudiante, y se las va presentando con cierta regularidad para poder realizar un análisis más efectivo.

Al finalizar la prueba, el estudiante podrá ver sus resultados, así como un análisis comparativo de sus resultados a través del tiempo, información discriminada por bandas de frecuencia sobre su desempeño, y secuencias de bandas en las que tuvo un mayor porcentaje de error.

Por último, esta información se actualizará automáticamente en la base de datos en línea, para que los docentes puedan consultar el desempeño de cada estudiante, así como el desempeño general de su clase, y puedan enfocarse en las preguntas que más problemas les generen a los estudiantes de la clase.

Con este uso, los estudiantes podrán tener acceso a una herramienta más personalizada y clara y monitorear de cerca su progreso, sus fortalezas y sus debilidades. Por su parte, los docentes podrán evaluar el progreso de sus estudiantes con mayor facilidad, calificar a sus estudiantes de acuerdo con su progreso individual, y tener mayor control sobre las metodologías de estudio que sus estudiantes utilizan, para asegurarse de que todos estén entrenando con una metodología unificada.

## 6. Conclusiones

Estas son solo algunas de las ideas fundamentales que se podrían explorar en un futuro *software* para el EAT en las escuelas y universidades.

Se necesita priorizar la eficiencia y personalización en las herramientas, la mejor comunicación de información y análisis estadístico, la estandarización en los contenidos de las asignaturas, y los algoritmos de selección de ejercicios para minimizar la frustración y dificultades en los estudiantes, y facilitar el proceso de evaluación y planeación para los docentes.

Muchas de estas dificultades pueden abordarse a través de mejores herramientas diseñadas específicamente para asistir a los docentes y personalizar el proceso de los estudiantes.

En investigaciones futuras se esperan hacer pruebas reales con grupos de estudiantes y *software* desarrollado siguiendo estos parámetros para evaluar distintos desempeños con distintos algoritmos, así como otras opciones para seguir optimizando y estandarizando la enseñanza de la escucha crítica.



## Referencias

- Amiri, Hadi, Tim Miller y Guergana Savova. «Repeat Before Forgetting: Spaced Repetition for Efficient and Effective Training of Neural Networks». *Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (2017): 2401-2410.
- Anki. «Background». Anki, 2006. <https://docs.ankiweb.net/background.html>
- Ausubel, David y Mohamed Youssef. «The Effect of Spaced Repetition on Meaningful Retention». *The Journal of General Psychology*, vol. 73, n.º 1 (1965): 147-150.
- Corey, Jason. «Technical Ear Training: Tools and Practical Methods». *Proceedings of Meetings on Acoustics*, vol. 19, n.º 1 (2013).
- . *Audio Production and Critical Listening: Technical Ear Training*. Taylor & Francis, 2016.
- Gordon, Wellington. «Considering Best Practices in Technical Ear Training». *Journal of the Association for Technology in Music Instruction*, vol. 2, n.º 1, (2021).
- Haas, Andreas, Andreas Rossberg, Derek L. Schuff, Ben L. Titzer, Michael Holman, Dan Gohman, Luke Wagner, Alon Zakai y J. F. Bastien. «Bringing the web up to speed with WebAssembly». *Proceedings of the 38th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation* (2017): 185-200.
- iZotope. «iZotope announces PAE». iZotope, 2016. <https://www.izotope.com/en/company/press/2016/izotope-announces-pae.html>
- Kaniwa, Teruki, Sungyoung Kim, Hiroko Terasawa, Masahiro Ikeda, Takeshi Yamada y Shoji Makino. «Towards a Personalized Technical Ear Training Program: An Investigation of the Effect of Adaptive Feedback». *Proceedings of the SMC* (2011): 439-443.
- Kim, Sungyoung. «An Assessment of Individualized Technical Ear Training for Audio Production». *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 138, n.º 1 (2015).
- Puckette, Miller S. «Pure Data». *ICMC* (septiembre de 1997).
- Quesnel, René. «A computer-assisted method for training and researching timbre memory and evaluation skills». Tesis de doctorado, Faculty of Music, McGill University, 2001.
- SoundGym. «Audio ear training & learning center». SoundGym, 2016. <https://www.soundgym.co/site/about>
- Tabibian, Behzad, Utkarsh Upadhyay, Abir De, Ali Zarezade, Bernhard Schölkopf y Manuel Gómez-Rodríguez. «Enhancing Human Learning Via Spaced Repetition Optimization». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, n.º 10 (2019): 3988-3993.
- Ye, Junyao, Jingyong Su y Yilong Cao. «A Stochastic Shortest Path Algorithm for Optimizing Spaced Repetition Scheduling». *Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (2022): 4381-4390.