

ACÚSTICA DEL VIOLÍN Y RECONOCIMIENTO TÍMBRICO POR MÚSICOS PROFESIONALES Y NO-MÚSICOS

Rebeca-Kerstin Alonso

Universidad Pontificia de Salamanca
rebealonso44@gmail.com

Ion Olazabal-Roman

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao
iolazabal007@ikasle.ehu.eus

<http://dx.doi.org/10.17060/ijodaep.2016.n1.v2.168>

Fecha de Recepción: 2 Enero 2016
Fecha de Admisión: 15 Febrero 2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue indagar en las posibilidades tímbricas producidas por dos violinistas profesionales y analizar la capacidad de reconocimiento de los sonidos resultantes, tanto por una muestra de músicos como de no-músicos, con el fin de valorar la importancia que se le debe dar al timbre en el proceso de enseñanza del violín. Para ello, se ha seleccionado una muestra de 60 adultos, de los cuales la mitad son músicos profesionales titulados y la otra mitad carecen de formación musical reglada. Se utilizó como instrumento la prueba experimental *Ikarak* que consiste en la ejecución de distintos sonidos y su reconocimiento auditivo. Se hallaron resultados que muestran puntuaciones altas en el reconocimiento auditivo de los sonidos tanto en el grupo de músicos como en el de no-músicos. Por otro lado, los resultados muestran una correlación de pequeña magnitud entre ambos grupos, que resulta no ser estadísticamente significativa. Tras los resultados se pueden establecer programas potenciadores de la sensibilización tímbrica, con el fin de fomentar que la totalidad del alumnado de conservatorio alcance su máximo potencial y un alto rendimiento, ya que éstos son el reflejo de un aprendizaje más eficaz.

Palabras clave: Timbre, reconocimiento auditivo, acústica violín, enseñanza musical.

ABSTRACT

The current project aim was to investigate the possibilities of timbre produced by two professional violinists and analyze the recognizability of the resulting sounds, by a sample of musicians and non-musicians, in order to assess the importance should be given to timbre in the process of violin teaching. For that purpose a sample of 60 adults, half of them are professional graduated

ACÚSTICA DEL VIOLÍN Y RECONOCIMIENTO TÍMBRICO POR MÚSICOS PROFESIONALES Y NO-MÚSICOS

musicians and a half have no formal musical training. The measuring instrument was experimental test *Ikarak* consisting in the execution of various sounds and their aural recognition. High score results on the aural recognition of sounds were found in musicians and non-musicians. Furthermore, the results show a small magnitude of correlation between the two groups that is not statistically significant. After the results, programs to boost timbre awareness can be established in order to encourage all conservatory students to accomplish their full potential and high academic performance, as they are a reflection of an effective learning.

Keywords: Timbre, aural recognition, violin acoustics, music teaching.

ANTECEDENTES

Tradicionalmente, tanto en libros de Teoría de la Música (Zamacois, 1976), como en tratados de Acústica (Olazábal, 1954), (Pierce, 1985), la determinación de los sonidos se ha especificado mediante tres parámetros: Altura de tono (entonación), Sonoridad (fuerza de sonido) y Timbre (colorido sonoro). Usualmente, la altura de tono no presenta problemas cuando se quiere expresar a través del lenguaje el tono o la nota que se desea obtener. Algo similar ocurre con la sonoridad. Dado el carácter unidimensional de estos dos parámetros resulta suficientemente claro expresar con los términos más agudo/más grave (en términos musicales, un Re5 o un Fa2, por ejemplo) el primer parámetro de los citados, y emplear las expresiones más sonoridad/menos sonoridad (en términos musicales, forte, mezzoforte, piano,...) para el segundo parámetro mencionado.

Otra cuestión, más compleja que la anterior, surge cuando se quiere expresar mediante el lenguaje la determinación del timbre, en concreto del timbre de un violín, que es el instrumento en el que está centrado el presente trabajo. El timbre es la característica que nos permite diferenciar dos sonidos de igual altura de tono y sonoridad (Alonso-Moral, 2004). Asimismo, este autor señala desde un punto de vista de la acústica musical que lo que hace que dos sonidos con la misma altura de tono y sonoridad sean diferentes es principalmente la distribución y amplitud de los armónicos de cada uno de los sonidos. Todos estos armónicos acompañan al armónico fundamental, y la distribución de los mismos y sus amplitudes definen en un 70% el timbre de cada instrumento o sonido, mientras que el régimen transitorio define el resto. Cada instrumento tiene su timbre característico. Otra investigación define el timbre como la cualidad que confiere al sonido el contenido de armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental. El timbre caracteriza a cada instrumento haciéndole diferente aún bajo la misma frecuencia fundamental; esta cualidad es la que permite distinguir dos sonidos, por ejemplo, entre la misma nota musical (tono) con igual intensidad producida por dos instrumentos musicales distintos (Cortes, Knott y Chaves, 2012).

Las dificultades para expresar este parámetro de manera exacta mediante el lenguaje surgen por varias razones: Una de ellas es el carácter multidimensional de las posibilidades tímbricas; un sonido puede ser brillante o no, y puede a la vez tener solidez o no tenerla, o, entre otras características, puede a la vez tener cierta acidez o no. Otra de las razones que podrían justificar esta dificultad, es la escasez de adjetivos referidos específicamente a los sonidos en los diferentes idiomas. Se habla de sonidos nasales, vocálicos, chirriantes, estrepitosos, guturales, chillones, por ejemplo, pero éstos resultan insuficientes o escasos cuando se quiere expresar mediante palabras los timbres de un violín. En consecuencia, no ha habido más remedio que tomar adjetivos que en principio están destinados para definir las sensaciones de otros sentidos; no obstante, este tipo de adjetivos son utilizados en el ámbito musical a pesar de la inexactitud de los mismos. Por ejemplo, son tomados de la vista -brillante, claro, luminoso, etc.-, el gusto -dulce, ácido, agrio, etc.-, el tacto -aterciopelado, áspero, rugoso, etc.-, sin olvidar los tomados de impresiones de carácter psicológico -noble, vigoroso, expresivo, enérgico, hiriente, amable, etc.-. Por último, la falta del uso unificado de las palabras también aumenta el problema.

Toda esta problemática se manifiesta de forma habitual por ejemplo en la comunicación verbal entre profesor-alumno en la enseñanza del violín, o en el caso de la comunicación entre luthier-violinista, o en el trabajo del director de orquesta con los músicos.

En la actualidad hay investigaciones que están centradas en las posibilidades del mecanismo arco-cuerda y la repercusión del mismo en el timbre. Así, por ejemplo, Anders Askenfelt (1989), investigador del Real Instituto de Tecnología de Estocolmo, presenta un método capaz de expresar en términos físico-acústicos los parámetros del arco en la interpretación del violín (posición del arco, velocidad del arco, distancia arco-puente, fuerza de arco), ello sin interferir en las condiciones normales de ejecución. El método es conveniente para la investigación básica en la interpretación del violín, y por consiguiente para estudios generales en la interpretación musical. Con la colaboración de dos violinistas de la Filarmónica de Estocolmo (Semmy Lazaroff y Bertil Orsin) Askenfelt desarrolla un interesante análisis de las diferentes posibilidades del mecanismo arco-cuerda que utilizan los violinistas para controlar la sonoridad y el timbre del violín. Otro trabajo de interés sobre arcos y su manejo se encuentra en Anders Askenfelt (1993), el cual tiene un cierto carácter de divulgación científica sobre algunos de los puntos del trabajo anterior de Askenfelt (1989), pero a su vez tiene su propio desarrollo autónomo. En este trabajo de Askenfelt, se vuelve a resaltar la importancia del punto de ataque del arco sobre la cuerda, la velocidad, y la fuerza de arco, así como la idónea coordinación entre estos tres parámetros para la obtención de diferentes timbres y sonoridades. A pesar de la aparente sencillez del arco, el mecanismo arco-cuerda permite una gran variedad de matices que conlleva una gran complicación: el tributo es el largo y disciplinado período de aprendizaje.

Otras investigaciones relevantes para el presente trabajo son las que indagan en las posibilidades del mecanismo arco-cuerda y los adjetivos para los sonidos resultantes: Dentro de la literatura científica cabe resaltar otro importante trabajo que es el desarrollado por el investigador americano Schelleng (1974), en el que profundiza sobre la física de la cuerda excitada con el arco. Entre otros puntos, desarrolla los límites de la presión o fuerza de arco en función de la distancia al puente del punto de ataque del arco sobre la cuerda. Muestra cómo en la medida que el punto de ataque del arco sobre la cuerda se acerca al puente, resulta necesaria mayor fuerza de arco para poder así compensar la rigidez de la cuerda en las proximidades del puente; el alejamiento del punto de ataque del puente supone una menor fuerza de arco. Complementariamente, los límites entre la fuerza máxima y mínima admitida por la cuerda -es decir, manteniendo la calidad usual de sonido de violín- son muy pequeños cerca del puente y grandes lejos del mismo, lo que en el primer caso, requeriría un juego arco-cuerda de mayor precisión con la fuerza de arco. Esta información resulta útil para el presente trabajo ya que se establece una fuerza de arco media para la realización de los experimentos. Schelleng (1974) por su parte, hace referencia a adjetivos como estridente, brillante, y expresiones como sonido normal, que en el presente trabajo también utilizamos como base.

Diversos trabajos han analizado la percepción del timbre en músicos y no-músicos. Así, Chartrand y Belin (2006) analizan las características del procesamiento auditivo para la afinación y el timbre. Para ello, comparan el desempeño de músicos y no-músicos en dos tareas de discriminación de timbre tanto instrumental como vocal. Los resultados indican que los músicos tuvieron un mejor desempeño en ambas pruebas respecto a los no-músicos. Otra investigación de interés para el presente estudio es la de Pantev, Roberts, Schulz, Engelen y Ross (2001). En ella se afirma que los cerebros de los músicos expertos responden de manera diferente a los estímulos musicales que el cerebro de los no-músicos. Se muestra asimismo gracias a medidas con neuromagnetismo, que las representaciones corticales auditivas para los tonos de diferente timbre como violín y trompeta se mejoran en comparación con los tonos sinusoidales y por ello cita la importancia de la plasticidad del cerebro para el reconocimiento del timbre. Shahin, Roberts, Chau, Trainor y Miller

ACÚSTICA DEL VIOLÍN Y RECONOCIMIENTO TÍMBRICO POR MÚSICOS PROFESIONALES Y NO-MÚSICOS

(2008) corroboran las investigaciones anteriores ya que en su estudio los músicos profesionales muestran una mayor agudeza en la percepción del timbre. Por último, el estudio de Kraus, Skoe, Parbery-Clark y Ashley (2009) señala que el habla y la música son señales muy complejas que tienen muchas características acústicas compartidas. El tono, timbre y ritmo se consideran como las categorías perceptivas generales, y los resultados del estudio indican que los sujetos entrenados musicalmente mejoran en representaciones subcorticales del tono, el timbre y el ritmo. Asimismo, los efectos de la experiencia musical en el procesamiento auditivo subcortical son profundos y se extienden más allá de la música a las áreas del lenguaje y de la emoción. La maleabilidad sensorial de la codificación neural del tono, el timbre y el ritmo está por tanto afectada por la experiencia.

OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación es indagar en la acústica del violín y en concreto en las posibilidades tímbricas producidas por dos violinistas profesionales y analizar la capacidad de reconocimiento de los sonidos resultantes, tanto por una muestra de músicos como de no-músicos, con el fin de valorar la importancia que se le debe dar al timbre en el proceso de enseñanza del violín.

Así, atendiendo a la investigación empírica previa se espera que tras los resultados de esta investigación:

Hipótesis 1: Es posible ejecutar al menos cuatro sonidos con diferente timbre de cada cuerda del violín producidos por dos violinistas profesionales, manteniendo constantes la altura de tono y la sonoridad o fuerza de sonido.

Hipótesis 2: Ambos violinistas reconocerán los sonidos que han ejecutado previamente.

Hipótesis 3: Tanto el grupo de músicos como el de no-músicos podrá reconocer los distintos timbres grabados por los dos violinistas.

Hipótesis 4: El timbre resultará ser un aspecto relevante en la ejecución musical.

PARTICIPANTES

En el estudio que se propone se han seleccionado dos grupos. El único requisito que debían reunir ambos grupos es que los participantes no presentaran problemas auditivos o discapacidad auditiva. En el primer grupo se han seleccionado músicos profesionales con al menos diez años de experiencia o entrenamiento musical, con titulación oficial y mayores de 18 años y menores de 65, es decir en edad laboral o en activo. En el segundo grupo se han seleccionado participantes que no han recibido instrucción musical y la franja de edad también ha sido de entre 18 y 65 años. El tamaño de la muestra es de 60 participantes en total, de los cuales la mitad pertenecen al primer grupo y la otra mitad al segundo grupo. Para que se pueda garantizar una validez interna y externa de la investigación, la muestra es amplia, con participantes de distinta procedencia y con diferentes edades, y más o menos se mantiene igual número de hombres y mujeres en cada grupo. Dentro de la muestra de músicos se han recogido de las siguientes especialidades con el fin de que fuera variada: violín, viola, violonchelo, guitarra, piano, percusión, flauta, clarinete, saxofón, dirección de orquesta, trompa, trompeta y acordeón. La distribución de la muestra es la siguiente: 30 músicos de los cuales 19 son mujeres y 11 hombres; y 30 no-músicos de los cuales 20 son mujeres y 10 hombres.

MÉTODO

Instrumentos

Prueba experimental Ikarak

La presente investigación se basa en el análisis de las siguientes variables:

Como variable dependiente es la capacidad de reconocimiento de los sonidos, es decir, el número de sonidos reconocidos. Como variable independiente son las posibilidades tímbricas del violín, es decir, los sonidos ejecutados por los violinistas.

Por tanto, para la medición del número de sonidos reconocidos se ha aplicado una prueba de escucha de los sonidos con distintos timbres grabados por los violinistas. La prueba consiste en rellenar unas casillas, en las que cada sonido tiene cuatro posibles adjetivos con los que calificarlo (redondo, apagado, brillante y ácido), y están ordenados en función de la cuerda del violín. Es decir, los primeros cuatro sonidos son todos en la cuerda "sol", los siguientes cuatro en la cuerda "re", los siguientes en la "la" y por último en la "mi". Toda esta serie se repite dos veces, ya que los dos violinistas han grabado la serie completa. El orden de los adjetivos es aleatorio, pero para todos los participantes se respeta el mismo orden para que estén en igualdad de condiciones. La puntuación máxima por tanto es de 32 sonidos.

Procedimiento

Para llevar a cabo la investigación se concertaron citas con cada músico y con los participantes no-músicos, ya que la prueba se realizó de manera individual y en aulas insonorizadas para favorecer una buena concentración y evitar posibles distractores.

Los autores de la presente investigación fueron los que administraron las pruebas, y el ambiente en el que se realizaron las mismas fue distendido y de confianza para los participantes, ya que la mayoría de los evaluados conocían a los autores de este estudio.

El proceso de grabación de los sonidos por parte de los violinistas se realizó atendiendo a distintos aspectos: en primer lugar, se solicitó que los sonidos fueran ejecutados en "cuerdas al aire" del violín para evitar posibles reverberaciones o vibraciones por simpatía. Los sonidos debían tocarse en un mismo nivel sonoro y con una misma velocidad de arco. La sala en la que se realizó la grabación fue la misma para los dos violinistas, ya que se trataba de una sala con acústica seca con el fin de obtener una mayor claridad en la grabación. Ambos violinistas usaron la misma marca de cuerdas y tuvieron la oportunidad de repetir los sonidos que no consideraban que habían ejecutado correctamente.

Análisis de datos

El análisis de correlación será realizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson, dado que las variables son cuantitativas y la muestra analizada es amplia. Asimismo, los análisis de datos se realizarán mediante el programa estadístico SPSS.

En el análisis de las correlaciones se tendrá en cuenta el valor p , con el fin de conocer si los resultados son estadísticamente significativos, para descartar que puedan ser fruto del azar.

Asimismo, para poder clasificar las correlaciones, atenderemos a la investigación de Cohen (1988) que sugirió que valores $\geq .10$ y $\leq .30$ indican una relación de pequeña magnitud, y valores entre $.30$ y $.49$ una media magnitud, considerándose una magnitud alta $\geq .50$.

RESULTADOS

Los resultados muestran que es posible ejecutar al menos cuatro sonidos con diferente timbre de cada cuerda del violín producidos por los dos violinistas profesionales colaboradores, manteniendo constantes la altura de tono y la sonoridad o fuerza de sonido. Asimismo, ambos violinistas pueden reconocer los sonidos que han ejecutado previamente, en el primer caso con 26 aciertos sobre los 32 totales que consta la prueba, y el segundo violinista tuvo los 32 aciertos.

Con respecto a los estadísticos descriptivos los resultados mostraron puntuaciones altas en el reconocimiento auditivo, obteniéndose una media de 24.167 aciertos en el grupo de no-músicos, y

ACÚSTICA DEL VIOLÍN Y RECONOCIMIENTO TÍMBRICO POR MÚSICOS PROFESIONALES Y NO-MÚSICOS

una media de 29.867 en el grupo de músicos (véase Tabla 1). Por otro lado, se obtuvo una desviación típica de 5.357 en el grupo de no-músicos, y un valor de 2.662 en el grupo de músicos. Por último, se puede observar que el valor mínimo de la muestra de no-músicos es de 13 mientras que en el grupo de músicos asciende a 24, obteniéndose asimismo un valor máximo de 32 en ambas muestras, ya que es la máxima puntuación que se puede obtener en el caso de acertar todos los sonidos de la prueba.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los resultados de reconocimiento auditivo de la prueba.

	No-músicos	Músicos
Número de participantes	30	30
Media	24.167	29.867
Mediana	24.5	31
Moda	30	32
Desviación típica	5.357	2.662
Valor mínimo	13	24
Valor máximo	32	32

Por otro lado, los resultados muestran una correlación que resulta no ser estadísticamente significativa entre los resultados de ambos grupos ($r = .152$; $p = .424$) (véase Tabla 2 y Gráfico 1). En este caso, la correlación se puede calificar de pequeña magnitud ya que tal y como sugirió Cohen (1988) los valores $\geq .10$ y $\leq .30$ indican una relación de pequeña magnitud.

Tabla 2. Índices de correlación entre los resultados de músicos y no-músicos

	Resultados músicos/no-músicos
Correlación de Pearson	.152
Valor p	.424
Número de participantes	60

A continuación se pueden observar el número de aciertos que ha tenido cada grupo y la frecuencia con la que se ha dado dicho resultado (véase Tabla 3 y Gráfico 2 y 3). Cabe resaltar que la mitad del grupo de los músicos (15) realizaron la prueba con el máximo número de aciertos posibles.

Gráfico1. Diagrama de dispersión de resultados de músicos y no-músicos



Tabla 3. Número de aciertos de músicos y no-músicos y frecuencia

Aciertos	No-músicos	Músicos
13	1	0
14	1	0
15	1	0
18	2	0
20	4	0
22	2	0
23	2	0
24	2	2
25	1	1
26	3	2
28	4	4
29	0	1
30	5	5
32	2	15

ACÚSTICA DEL VIOLÍN Y RECONOCIMIENTO TÍMBRICO POR MÚSICOS PROFESIONALES Y NO-MÚSICOS

Gráfico 2. Histograma de número de aciertos de músicos y no-músicos y la frecuencia con la que se han dado

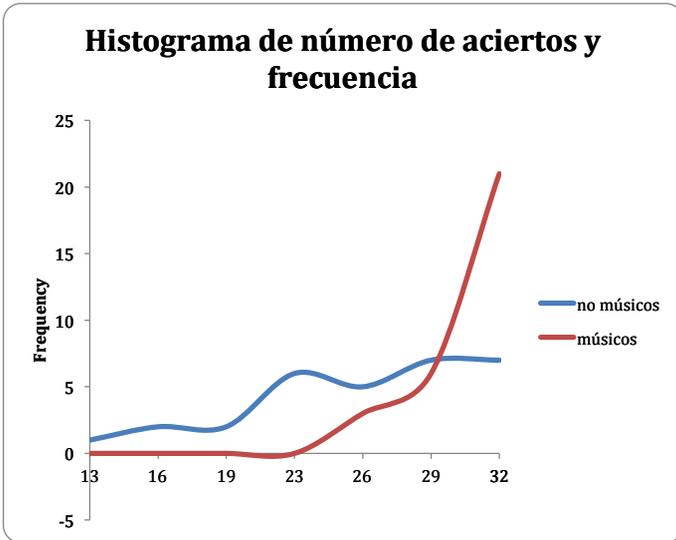
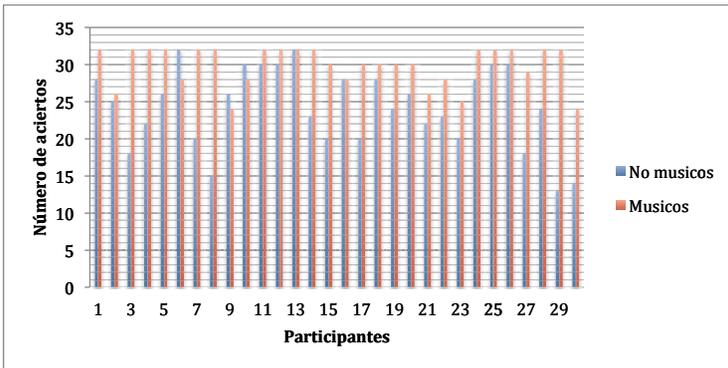


Gráfico 3. Número de aciertos de músicos y no-músicos y participantes



CONCLUSIONES

El principal propósito de esta investigación fue indagar en la acústica del violín y en concreto en las posibilidades tímbricas producidas por dos violinistas profesionales y analizar la capacidad de reconocimiento de los sonidos resultantes, tanto por una muestra de músicos como de no-músicos, con el fin de valorar la importancia que se le debe dar al timbre en el proceso de enseñanza del violín.

De acuerdo con la primera hipótesis los resultados de este estudio muestran que es posible ejecutar al menos cuatro sonidos con diferente timbre de cada cuerda del violín producidos por dos violinistas profesionales, manteniendo constantes la altura de tono y la sonoridad o fuerza de soni-

do. Por tanto, la hipótesis inicial se mantiene. Estos resultados son congruentes con las investigaciones de Anders Askenfelt (1989), en la que desarrolla un análisis de las diferentes posibilidades del mecanismo arco-cuerda que utilizan los violinistas para controlar la sonoridad y el timbre del violín. Asimismo, los resultados son consistentes con Schelleng (1974) en lo referente a las posibilidades del mecanismo arco-cuerda y los adjetivos para los sonidos resultantes fijando los límites de la fuerza de arco en función de la distancia al puente del punto de ataque del arco sobre la cuerda, y obteniendo adjetivos como brillante, entre otros.

Por otro lado, de acuerdo con la segunda y tercera hipótesis los resultados confirman que ambos violinistas reconocen los sonidos que han ejecutado previamente, así como tanto el grupo de músicos como el de no-músicos puede reconocer los distintos timbres grabados por los dos violinistas, aunque el grupo de músicos obtiene puntuaciones algo más elevadas. La mayor parte de la literatura que ha analizado la percepción del timbre en músicos y no-músicos concluye que los músicos obtienen un mejor desempeño que los no-músicos en tareas de discriminación de timbre tal y como corroboran Chartrand y Belin (2006) y coincide con los resultados de la presente investigación. Estos resultados son congruentes asimismo con las investigaciones de Pantev, Roberts, Schulz, Engelen y Ross (2001), que va en la misma línea que la anterior, pero el análisis se hace desde un punto de vista del cerebro y su plasticidad; con el trabajo de Shahin, Roberts, Chau, Trainor y Miller (2008) que corroboran que los músicos profesionales muestran una mayor agudeza en la percepción del timbre; y por último, con el estudio de Kraus, Skoe, Parbery-Clark y Ashley (2009), que obtiene resultados que indican que los sujetos entrenados musicalmente mejoran en representaciones subcorticales del tono, el timbre y el ritmo.

La última hipótesis que se plantea en la presente investigación se mantiene, ya que el timbre resulta ser un aspecto muy relevante en la ejecución musical, dado que tanto la muestra de músicos como de no-músicos ha sido capaz de apreciar las diferencias tímbricas en la prueba, por lo tanto, todo el público está dotado de esa sensibilización.

La presente investigación presenta algunas limitaciones que conviene resaltar para poder ser consideradas en futuros estudios. Así, por ejemplo, en primer lugar, la muestra a la que se ha accedido ha sido principalmente española, con sólo unas pocas excepciones, por lo que hubiera sido interesante haber podido ampliar la zona geográfica en la que realizar el estudio a otros países, así como el tamaño de la muestra, con el fin de poder generalizar los resultados. Asimismo, futuros trabajos deberían confirmar si los resultados hallados en este estudio difieren o se mantienen en otros violinistas y otros instrumentistas, con el objetivo de incrementar la validez externa de estos hallazgos. Esto no ha sido posible en la presente investigación.

Tras el presente estudio, se considera que se deja una puerta abierta a una posterior aplicación educativa, ya que el timbre muestra ser una variable fundamental tanto para la formación musical como para la escucha por parte de no-músicos. De este modo, por ejemplo, un primer acercamiento a la realidad educativa es tomar conciencia de ello, y desde las distintas aulas del conservatorio tratar de fomentar el desarrollo de la capacidad de producción de distintos timbres como parte del programa educativo. Se podrían establecer programas preventivos o potenciadores de la capacidad de producción y reconocimiento de diferentes timbres para que todo el alumnado alcance su máximo potencial y un alto rendimiento expresivo, ya que éstos serían el reflejo de un aprendizaje más eficaz.

En consecuencia, se considera interesante continuar en un futuro con este trabajo, repitiendo las pruebas realizadas de la investigación de una muestra más amplia tanto en número de participantes como ampliando la zona geográfica, con el objetivo de poder generalizar los resultados, y conseguir así una mayor validez externa en el estudio.

Asimismo, los sonidos grabados por los dos violinistas se podrían aplicar a otros instrumentos,

ACÚSTICA DEL VIOLÍN Y RECONOCIMIENTO TÍMBRICO POR MÚSICOS PROFESIONALES Y NO-MÚSICOS

con el fin de valorar si el timbre de distintos instrumentos es percibido en la misma medida que los timbres del violín. Incluso, se podría ampliar el estudio comparando los distintos adjetivos referentes a timbres combinando dos instrumentos para analizar la percepción sonora referente al adjetivo independientemente del timbre de instrumento que lo ejecuta.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los investigadores Anders Askenfelt y Roberto Bresin por sus valiosos consejos y orientaciones, fruto de la colaboración desde Agosto de 2015 y estancia de los dos autores en el Real Instituto de Tecnología de Estocolmo (Kungliga Tekniska Högskolan). También queremos agradecer a María Besada, Ibón Larracochea y José Bretos por sus conocimientos proporcionados, y a los violinistas Keiko Wataya y Aitzol Iturriagagoitia por su paciencia e interés en la colaboración con la prueba *Ikarak* de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso-Moral, J. (2004). *Acústica Musical I*. Material no publicado.
- Blaxter, L., Hughes, C. y Tight, M. (2005). *Cómo se hace una investigación*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Chartrand, J.P. y Belin, P. (2006). Superior voice timbre processing in musicians. *Neuroscience Letters*, 405(3), 164-167.
- Cortes, J.A., Knott, A.M. y Chaves, J.A. (2012). Aproximación a la síntesis de la música a través del análisis de fourier. *Scientia et Technica Año XVII*, 52.
- Fontes de Gracia, S., García-Gallego, C., Quintanilla Cobián, L., Rodríguez Fernández, R., Rubio de Lemus, P. y Sarriá Sánchez, E. (2010). *Fundamentos de investigación en Psicología*. Madrid: Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Kraus, N., Skoe, E., Parbery-Clark, A. y Ashley, R. (2009). Experience-induced malleability in neural encoding of pitch, timbre and timing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 543-557.
- Olazábal, T. (1954). *Acústica musical y organología*. Buenos Aires: Ricordi Americana.
- Pantev, C., Roberts, L.E., Schulz, M., Engelien, A. y Ross, B. (2001). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 12(1), 169-174.
- Pierce, J.R. (1985). *Los sonidos de la música*. Barcelona: Labor.
- Shahin, A.J., Roberts, L.E., Chau, W., Trainor, L.J. y Miller, L.M. (2008). Music training leads to the development of timbre-specific gamma band activity. *NeuroImage*, 41(1), 113-122.
- Zamacois, J. (1976). *Teoría de la música II*. Barcelona: Labor.