



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Música

Escuela Nacional de Música  
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico  
Instituto de Investigaciones Antropológicas

**MÁS ALLÁ DE LA IMITACIÓN: ATENCIÓN A LA PERCEPCIÓN HÁPTICA EN EL  
INICIO DEL APRENDIZAJE DEL VIOLÍN**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRÍA EN MÚSICA (Cognición Musical)

PRESENTA:

Martha María Madrigal León

TUTOR:

Dr. Eduardo Castro-Sierra †  
FaM UNAM  
Hospital Infantil de México Federico Gómez

MÉXICO, D. F. MARZO 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

***A mis padres:***

***Merecedores de toda mi honra y amor.  
Admirables, incansables.  
Siempre optimistas, siempre en la lucha.  
Papá, mamá, gracias con todo mi corazón.***

## **Agradecimientos**

Gracias a Dios por su amor infinito; por proveer todos los medios para cumplir mis aspiraciones en esta maestría, y por quien puedo agradecer a quienes me ayudaron a realizarla:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Música por proporcionarme los recursos financieros, humanos y documentales para realizar la investigación.

A mi tutor, Dr. Eduardo Castro-Sierra (†), quien dijo exactamente lo que necesité, que jamás estuvo ausente y siempre me guio con afecto, prudencia y respeto. Al final me dejó en el umbral, ya lista para cruzar; esa fue la última y gran lección.

Al Dr. Felipe Orduña Bustamante, por su tiempo, dedicación y sus valiosas aportaciones para la realización de la metodología. Al Dr. Luis Lemus, por escuchar con amabilidad mis dudas y darme valiosas sugerencias.

A quienes apartaron tiempo para revisar mi tesis y ayudarme a entender mejor mi propio trabajo: Dr. Ricardo Vázquez, Mtra. Viktoria Horti, Mtra. Gabriela Pérez.

A mis compañeros y amigos en la maestría: Helena Muciño, Carlos Báez, Marco Velarde, Uldrika Guzmán, Hugo Gutiérrez, Nictaja Hernández, Tere Campos; gracias por escucharme una y otra vez sin cansarse; gracias por su cariño y comprensión.

A los violinistas, Eduardo Rodríguez y Rodrigo García; cada uno, en su momento, expuso una idea que a los años ha dado fruto no sólo para hacer música, también para la investigación.

A la Universidad Veracruzana y al Centro de Iniciación Musical Infantil, por todas las facilidades brindadas.

Al Laboratorio de Informática Musical y Música Electroacústica de la Facultad de Música de la UNAM, por el apoyo para realizar el material auditivo para la prueba; y a Jorge Sandoval, por su gran ayuda en ese trabajo.

## ÍNDICE

	Pág.
<i>Resumen</i> .....	1
Introducción.....	2
Planteamiento del problema.....	4
Justificación.....	4
Hipótesis.....	6
Objetivos.....	6
Capítulo 1. Antecedentes.....	8
1.1 Observaciones sobre el recurso corporal en la ejecución.....	8
1.2 Aprendizaje perceptual.....	10
1.2.1 Aprendizaje pasivo y aprendizaje por atención.....	14
1.2.2 Aprendizaje perceptual multisensorial.....	16
1.2.3 Teoría de la jerarquía invertida.....	16
1.3 La percepción háptica.....	19
1.3.1 Elementos de la percepción háptica: propiocepción y exterocepción.....	20
1.3.1a Receptores.....	21
1.3.1b Vías neurales.....	23
1.3.2 Vibro-tacto y audición.....	26
1.3.2a Interacción vibro-táctil auditiva en la percepción de texturas	28
1.3.3 Percepción vibro-táctil en instrumentos de cuerda.....	29
1.4 El aprendizaje del violín: la imitación y la percepción háptica.....	30
1.4.1 La imitación.....	32
1.4.2 Algunas dificultades motoras.....	36
1.4.3 Pro-alimentación y retro-alimentación.....	39
1.5 Perspectiva háptica en el mecanismo de ejecución del violín.....	41
1.5.1 Postura.....	42
1.5.2 Aprehensión y control del arco.....	45
1.5.3 Producción de alturas tonales.....	47
1.5.3a Reconocimiento audio-motor.....	48
1.5.3b Interacción háptica-auditiva en el reconocimiento audio- motor.....	49
1.6 Atención consciente: focos de atención durante la acción motora.....	50
Capítulo 2 Metodología.....	54
2.1 Descripción general de la prueba.....	54
2.2 Requerimientos de la prueba.....	55
2.2.1 Población.....	56
2.2.2 Materiales y equipo.....	56

2.2.3 Tarea-entrenamiento.....	59
2.3 Procedimiento.....	60
2.4 Procesamiento de los datos.....	61
2.4.1 Procesamiento de los audios con <i>Praat 5.3.73</i> .....	61
2.4.2 Análisis en cents.....	63
2.4.3 Procesamiento estadístico.....	64
Capítulo 3 Presentación y análisis de los resultados.....	66
3.1 Deslizamientos.....	66
3.2 Error de tono y error de intervalo.....	68
3.3 Desviación estándar.....	71
3.4 Consideraciones sobre los resultados.....	72
Capítulo 4 Conclusiones y discusión.....	75
Apéndice A. Materiales.....	79
Apéndice B. Correspondencia entre tonos y texturas.....	82
Apéndice C. Guiones.....	83
Apéndice D. Procedimientos: tarea-entrenamiento y ejecución.....	86
Apéndice E. Análisis de los deslizamientos.....	88
Apéndice F. Desviación estándar por participante.....	90
<i>Referencias</i> .....	93

## RESUMEN

Esta tesis examina las dificultades motoras implícitas en la adquisición de habilidades para la ejecución del violín desde la perspectiva del aprendizaje perceptual, teniendo como eje central la atención a sensaciones hápticas. Se examinan los componentes del mecanismo motor de ejecución considerando los siguientes como los elementos básicos: (1) la postura, (2) la aprehensión y el control del arco, y (3) la producción de alturas tonales. La aproximación a la atención a sensaciones hápticas, como promotora de efectos benéficos en el aprendizaje, se hace tomando específicamente la percepción vibro-táctil. Se realizó un estudio de caso (con niños aprendices de 8-11 años de edad) para observar la posible influencia de la focalización de la atención a la sensación vibro-táctil en la producción de sonidos afinados, durante la ejecución de una escala diatónica de Re mayor. La hipótesis consideraba una reducción de la desviación estándar (SD) de la frecuencia fundamental en hertz de la afinación de los tonos a lo largo de las sesiones, sin embargo tal efecto no fue comprobado, pero pudo observarse, en un participante, una disminución de deslizamientos (movimientos laterales de los dedos durante la ejecución). Las conclusiones sobre este último resultado se consideran desde dos perspectivas: a) los deslizamientos durante la ejecución son interpretados como una deficiencia en la ejecución, por lo que su reducción representa una ganancia en la calidad; b) la posibilidad de que el movimiento lateral de los dedos pueda ser un comportamiento inicial que medie el logro de la estabilización de los movimientos en la producción de alturas tonales.

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de enseñanza-aprendizaje de un instrumento musical, la imitación juega un papel muy importante pues es un valioso recurso que permite al discípulo comprender, hasta cierto punto, los mecanismos motores exigidos para la ejecución. Sin embargo, es posible que una llana imitación no permita que el alumno adquiera plenamente las habilidades de ejecución pues es necesario que éste asimile los principios motores en su propio cuerpo.

La presente investigación se dirige a la observación del mecanismo motor de ejecución del violín con el propósito de valorar la importancia del papel que juega la información háptica en la asimilación de este mecanismo. Se proponen tres elementos que integran el mecanismo motor básico de ejecución: la postura, la aprehensión y manipulación del arco, y la producción de alturas tonales. Este último proceso implica las características de la posición que asume la mano izquierda y constituye el centro de atención principal donde se observa, fundamentalmente, el efecto resultante de que el aprendiz dirija su atención a la percepción de la vibración táctil durante la ejecución de una escala diatónica de Re mayor.

Considerando que la práctica del violín es una actividad de coordinación fina que exige cumplir con una serie de tareas complejas de forma simultánea (Baader, Kazennikov, & Wiesendanger, 2004; Kinoshita & Obata, 2009; Konczak et al., 2009), el propósito aquí es estudiar los mecanismos que subyacen al proceso motor, tomando como eje central la percepción háptica, un elemento esencial para la cognición motora (Kosslyn & Smith, 2008).

El abordaje concreto de la percepción háptica dentro de la investigación sobre la práctica instrumental, al parecer, es nuevo, pues no se encontraron antecedentes específicamente dirigidos a esta temática. Por ello, este trabajo constituye únicamente un estudio descriptivo de la situación que se plantea.

La percepción háptica integra dos subsistemas: el exteroceptivo, que se refiere a las sensaciones cutáneas como el tacto y la temperatura; y el propioceptivo, referido a las sensaciones de la posición corporal y de los movimientos (Lederman & Klatzky, 2009); este último, nos permite reconocer la posición en la que se encuentra el cuerpo, en estado dinámico y en reposo.

Debido a que la información háptica implicada en cualquier acción motora es amplia, esta investigación se centra en la información vibro-táctil interviniente en la tarea de producir sonidos afinados, considerando los resultados de las investigaciones que han demostrado la importante interacción entre la percepción vibro-táctil y el sistema auditivo (Jousmäki & Hari, 1998; Schürmann et al., 2006; Suzuki et al., 2008).

Como la producción de alturas tonales está en relación con la posición que asume la mano izquierda, este trabajo aborda las posibles implicaciones de atender la sensación vibro-táctil en la asimilación de la estructura de la mano izquierda, la memorización de la misma y la precisión de los finos movimientos que exige la tarea de la producción de alturas tonales específicas.

Por tanto, se realizó un estudio de caso, con una intervención experimental, en la que se observa el efecto resultante de que aprendices en etapa inicial dirijan su atención a la sensación vibratoria en los dedos de su mano izquierda, durante la ejecución de una escala diatónica de Re mayor. En esta prueba se entrenó a los participantes en la focalización de su atención a estímulos vibro-táctiles para que, posteriormente, ejecutaran la escala mencionada en el violín. Esta intervención tuvo la finalidad de observar si dicha focalización reportaría algún beneficio en la afinación de la escala diatónica de Re mayor.

## **Planteamiento del problema**

Considerando la dificultad que representa la adquisición de habilidades motoras de ejecución del violín, este trabajo aborda la observación del mecanismo motor básico a partir de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo está conformado el mecanismo motor de ejecución del violín?
- ¿Qué información háptica puede considerarse relevante?
- ¿Realmente la atención a la percepción háptica puede significar un recurso más ventajoso del que tenemos conocimiento?
- ¿Qué efecto produciría la focalización de la atención de un aprendiz en las señales perceptivas hápticas, específicamente las vibro-táctiles?

Esta investigación procura responder estas preguntas realizando una descripción general de las demandas hápticas implicadas en el mecanismo motor de ejecución del violín, profundizando en el elemento planteado sobre la producción de alturas tonales, cuya tarea se confiere al mecanismo de digitación de la mano izquierda. Con base en esto, se plantea la siguiente pregunta fundamental:

¿Podría la focalización de la atención en las señales vibro-táctiles ofrecer un beneficio en la producción de alturas tonales en la ejecución del violín?

## **Justificación**

En este trabajo se exponen las implicaciones motoras de la ejecución del violín que subrayan un panorama complicado para aquellos aprendices que presentan dificultades en el aprendizaje. Debido a que no se ha identificado puntualmente qué es lo que dificulta este proceso, no se puede crear estrategias que permitan modificar la situación.

El trabajo de Konzac y sus colaboradores (2009) aborda muy brevemente la conformación del mecanismo motor, proponiendo una serie de tareas que el aprendiz de violín debe cumplir de forma simultánea. No obstante, sólo se señala

la exigencia que esto representa, sin hacer mayor referencia al respecto; el trabajo se centra, principalmente, en la diferencia observada entre novatos y expertos en el manejo del desplazamiento del arco del violín dentro del enfoque de fijación de grados de libertad del brazo derecho del ejecutante.

Por otro lado, Baader y sus colaboradores (2004) hablan de un mecanismo motor básico en la ejecución de novatos y expertos, referido a la coordinación de movimientos asimétricos, es decir, los movimientos de arcada del brazo derecho y los movimientos de los dedos de la mano izquierda para la digitación. Sus resultados se refieren únicamente a la coordinación de estas dos tareas motoras básicas y, específicamente describe movimientos anticipatorios en la digitación.

En sus conclusiones, Baader y colegas (2004) hablan sobre la dificultad que representa la adquisición de la habilidad de colocar los dedos en lugar correcto del diapasón del violín y la importancia que puede tener el conocimiento del papel de las señales somatosensoriales implicadas en la tarea. Ellos señalan que "...aunque la retroalimentación auditiva es, obviamente, de primera importancia al tocar música, hay poca información sobre las sensaciones táctiles y propioceptivas." (Baader, Kazennikov, & Wiesendanger, 2004, pág. 442).

Con esta investigación se pretende aportar información que permita un mejor entendimiento de las demandas motoras en el proceso de aprendizaje del violín, abordando la percepción háptica como un elemento que proporciona claves importantes para la adquisición de habilidades para la práctica instrumental. Se subraya que esta investigación es únicamente un trabajo descriptivo al no contar con antecedentes específicamente dirigidos a la percepción háptica en la práctica musical instrumental. Por lo tanto, la intervención experimental realizada y los resultados presentados, deben ser considerados únicamente como un estudio exploratorio piloto.

## **Hipótesis**

En este trabajo se describen los elementos propuestos como básicos en el mecanismo motor de ejecución en la etapa inicial del aprendizaje del violín, pero la intervención experimental se ha limitado a la producción de alturas tonales, atendiendo particularmente a la percepción vibro-táctil.

La hipótesis que se plantea es la siguiente:

- El desempeño en la afinación de aprendices de violín durante la ejecución de una escala de Re mayor es mejor al focalizar la atención en la sensación vibro-táctil, manifestándose, esta mejoría, en una disminución de la desviación estándar (*SD*) de la frecuencia fundamental de los tonos, de la medición de 5 días consecutivos de ejecución de la escala mencionada.

Esta hipótesis no pudo ser comprobada; no obstante, en los resultados de la intervención experimental se observó un comportamiento motor señalado en esta investigación como deslizamientos (movimientos laterales de los dedos de la mano izquierda para modificar la altura de los tonos).

## **Objetivos**

Con el fin dar respuesta a la situación problemática descrita se plantea el siguiente objetivo general:

- Valorar el papel de la percepción háptica en la adquisición de habilidades motoras en la ejecución del violín durante el proceso inicial del aprendizaje.

Para alcanzar este objetivo, se pensó en estudiar la problemática desde los siguientes objetivos específicos:

- Establecer las demandas motoras en el inicio del aprendizaje del violín.
- Describir los elementos básicos del mecanismo motor de ejecución.

- Reconocer las implicaciones del sistema háptico en el mecanismo de control motor de ejecución del violín
- Señalar las interacciones entre el sistema háptico y el sistema auditivo.
- Determinar si la atención sobre las sensaciones vibro-táctiles produce un efecto benéfico en la afinación durante la ejecución de una escala diatónica de Re mayor.

## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

La consideración de la percepción háptica como punto importante para la investigación sobre la práctica instrumental se aborda desde la perspectiva del aprendizaje perceptual. En este capítulo, primeramente, se expone este planteamiento y se describe el sistema háptico, abordando particularmente la percepción virbro-táctil; posteriormente se señala algunas complicaciones presentes en el aprendizaje del violín y los posibles límites de la imitación; finalmente, se describe el mecanismo motor de ejecución con un enfoque en la percepción háptica implicada.

#### **1.1 Observaciones sobre el recurso corporal en la ejecución**

En la práctica musical, la ejecución instrumental consiste, en gran medida, en desarrollar capacidades interpretativas para lo cual es necesario adquirir habilidades motrices, musicales e, incluso, sociales (Pelinski, 2004). La corporalidad, en su condición biológica, constituye el material que posibilita las prácticas musicales (Pelinski, 2004). Así, nuestro cuerpo es el instrumento que sirve para tocar un instrumento musical (Silnik, Trabucco, & Yurcik, 2004).

La práctica instrumental musical es una de las actividades más complejas que pueden realizar los seres humanos. La técnica de ejecución es, en parte, el resultado de cientos de años de exploración (Toyka & Freund, 2006; Oh, 2005). La exploración sonora propició que los músicos realizaran una búsqueda dentro de su corporalidad para hallar los recursos motores que les permitiesen alcanzar su ideal sonoro.

Sin embargo, esta búsqueda no es un hecho supeditado al desarrollo histórico de la técnica del violín, pues una búsqueda similar comienza en cada individuo desde el momento mismo en que éste entra en contacto con su

instrumento y tiene el propósito de producir música. Desde el comienzo del aprendizaje, el alumno tiene el objetivo de producir sonidos agradables y dirigidos hacia un discurso musical; este inicio significa, entre otras cuestiones, la exploración de recursos motores para la adquisición de habilidades que desemboquen en una correcta ejecución.

A lo largo de la historia, se hallan ejemplos de músicos que dedicaron parte de su trabajo a la observación de la práctica musical del violín y el desarrollo de una técnica violinística, lo que evidencia un notable interés por comprender los principios del mecanismo de ejecución. Algunos de estos músicos investigaron con fines pedagógicos y otros con el propósito de optimizar su propia ejecución. Dentro de los primeros están: Leopoldo Mozart en el siglo XVIII, con su tratado sobre la ejecución del violín (1756); Iván Galamian, en el siglo XX con su libro *Principles of Violín Playing and Teaching* (1971), (Oh, 2005); y Lev Tseitlin, Konstantin Mostras y Abraham Yampolski. Estos tres últimos, fueron figuras muy importantes para la conformación de la escuela de violín rusa, en Moscú, a principios del siglo XX (Lankowsky, 2009).

En nuestro tiempo, violinistas destacados por su notable habilidad interpretativa, mencionan anécdotas sobre violinistas de antaño que alcanzaron gran renombre y de cómo éstos se hallaban en una búsqueda constante de las sensaciones en sus movimientos para optimizar su propio nivel de ejecución, a través de la experimentación con un determinado movimiento, un nuevo desplazamiento, una nueva posición para sus manos, etc. (Bonsaingeon, 2000). Estos comentarios subrayan el lugar importante que daban estos violinistas a la exploración de las sensaciones corporales como vehículo para el logro de una mejor ejecución.

La práctica del violín exige realizar movimientos con gran precisión y una coordinación bimanual compleja (Konczak, van der Velden, & Jaeger, 2009). Así, una buena calidad de ejecución demanda muchas horas de práctica constante; incluso, se ha señalado que para alcanzar niveles expertos de ejecución se

requiere de aproximadamente 10 años de práctica intensa (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993).

Ida Haendel, reconocida violinista del siglo XX, señala que para alcanzar un nivel interpretativo alto en el violín se requiere comenzar un proceso de aprendizaje a temprana edad, cuyo desarrollo se caracterice por una íntima relación entre el niño y el instrumento. Exponiéndolo en sus propias palabras, es necesario que: “el niño crezca con, y dentro del instrumento” (Bonsaingeon, 2000).

La observación de que el aprendizaje del violín debe iniciarse a edades tempranas no significa definitivamente que los adultos no puedan desarrollar una habilidad de ejecución. Sin embargo, la infancia es un período muy fértil para el aprendizaje de habilidades motoras, pues durante esta etapa se sientan las bases de lo que será el repertorio de habilidades motoras en el adulto (Goodwin & Wheat, 2004) y hay evidencia que muestra que quienes inician el entrenamiento musical antes de los 7 años obtienen beneficios más duraderos para la práctica futura, en comparación con individuos que iniciaron su formación después de esa edad (Watanabe, Savion-Lemieux, & Penhune, 2007).

Pelinski (2004) señala que el alumno adquiere habilidades y hábitos que, a través de la práctica, “se sedimentan en disposiciones duraderas”. Estas disposiciones no son estáticas, sino que poseen una plasticidad que permite transportarlas desde la experiencia práctica del estudio “...a situaciones musicales semejantes” (Pelinski, 2004, pág. 22). Esto sugiere que lo más recomendable es iniciar un proceso de aprendizaje a edades tempranas, pero tomando en seria consideración que las habilidades adquiridas en una etapa influirán en las posteriores. La finalidad es, entonces, adquirir habilidades que incidan positivamente en el éxito de la práctica futura.

## **1.2 Aprendizaje perceptual**

La cuestión de la importancia de la atención a la percepción háptica en el inicio del aprendizaje del violín se aborda a partir de los planteamientos de las

investigaciones sobre el aprendizaje perceptual, considerando que en ellas se señala a este tipo de aprendizaje como un componente clave para el desarrollo de notables habilidades y destrezas humanas en casi cualquier dominio, incluida la música (Kellman & Garrigan, 2009).

Kellman y Garrigan (2009) plantean que, mientras en la enseñanza tradicional se enfatizan hechos y procedimientos que son expresados verbalmente, la experiencia eficiente, o *expertise*, "...depende fuertemente de patrones de reconocimiento y de habilidades de extracción selectiva adquiridos a través del aprendizaje perceptual" (Kellman & Garrigan, 2009, pág. 53). Ellos sugieren que el aprendizaje perceptual es el elemento más importante del *expertise*.

Los seres humanos han desarrollado habilidades sobresalientes en el procesamiento de la información, que les permiten cumplir desde tareas simples hasta muy complejas, y son capaces de realizar sorprendentes selecciones no necesariamente indispensables para la supervivencia. Por ejemplo, para su alimentación, en el proceso de discriminar un fruto convenientemente maduro de uno inconveniente, es necesario percibir, seleccionar y procesar un cúmulo de información visual, olfativa, táctil, etc.; y un catador de vino puede encontrar sutiles diferencias en sabores que un individuo sin experiencia jamás notaría.

Se ha sugerido que el desarrollo de estas notables habilidades es posible a través del aprendizaje perceptual. Este tipo de aprendizaje se refiere "... a las mejoras inducidas por la experiencia en la recolección de la información" (Garrigan & Kellman, 2008, pág. 2248). Este aprendizaje no se refiere al procesamiento del estímulo *per se*, sino que se observa ligado a la percepción (Ahissar, Nahum, Nelken, & Hochstein, 2009). Kellman y Garrigan (2009) han propuesto que, aunque el aprendizaje perceptual no consiste, específicamente, ni de conocimientos declarativos, ni de procedimientos, trabaja de manera conjunta con ellos.

En términos generales, el aprendizaje perceptual es la optimización en la forma de seleccionar los estímulos que resultan relevantes para realizar

exitosamente una tarea determinada: el efecto que se obtiene es un cambio en la habilidad para extraer información (Kellman & Garrigan, 2009; Ahissar & Hochstein, 2004.) Este concepto ha sido explorado desde hace varias décadas. En 1969, Eleanor Gibson definió el aprendizaje perceptual como "...un incremento en la habilidad para extraer información del ambiente como un resultado de la experiencia y la práctica, con la estimulación que proviene del mismo" (Gibson, 1969, p. 3, citado en Kellman & Garrigan, 2009).

En el aprendizaje perceptual es fundamental el concepto de estímulo: un evento físico es detectado por un organismo quien determinará el tipo de estímulo del que se trata dependiendo de las propiedades que de él registra y clasifica (Kellman & Garrigan, 2009). El punto clave es el *cambio* que ocurre en la forma de recolección, pues, con la experiencia, el organismo va afinando la forma de recolectar la información y, de este modo, "...el aprendizaje perceptual conduce al perceptor a detectar y distinguir las características, las diferencias o las relaciones que antes no podía registrar" (Kellman & Garrigan, 2009, pág. 55).

Así, pues, el aprendizaje perceptual permite la construcción de un filtro optimizado por medio del cual se obtiene la información sensorial adecuada, dependiendo del contexto de cada tarea determinada, de tal forma que el procesamiento cognitivo posterior pueda contar con la información relevante, suficiente y específica para cada tarea.

Se han realizado investigaciones que procuran observar cómo un individuo puede agudizar su capacidad perceptiva en tareas de discriminación en diferentes modalidades sensoriales. En estos trabajos se emplean tareas de discriminación sensorial básica. Por ejemplo, en el estudio de Kaas y sus colaboradores (2013), se entrenó a 16 individuos en una tarea Vernier de discriminación táctil (también utilizada en otras modalidades sensoriales). En ella, los individuos debían percibir con el dedo índice una serie de conjuntos de puntos en relieve. Estos conjuntos consistían de tres puntos acomodados de forma vertical que describían una línea casi recta debido a que el punto central del conjunto estaba ligeramente ubicado fuera del trazo de esa línea vertical imaginaria, ya sea, a la derecha o a la

izquierda de la misma, con lo que se describía una dirección para cada conjunto (a la izquierda o la derecha, respectivamente).

La tarea se complicaba porque la diferencia en la distancia entre los puntos externos que describían la línea vertical imaginaria y el punto central que indicaba la dirección iba de 3.37 mm (distancia máxima) a 0.25 mm (distancia mínima), disminuyendo por pasos de 0.25 mm en cada conjunto de puntos. De hecho, la tarea consistía en que el individuo indicara hacia qué dirección apuntaba cada conjunto. Este estudio muestra cómo 4 días de entrenamiento devinieron en una significativa reducción en el umbral de discriminación en los individuos, es decir, al final, los individuos pudieron identificar la dirección descrita por los puntos aún con diferencias muy pequeñas de distancia entre ellos, que al inicio de la prueba, no fueron detectadas (Kaas, Ven, Reithler, & Goebel, 2013).

Aunque en ocasiones se ha mencionado que el aprendizaje perceptual se limita a efectos de aprendizaje de bajo orden, que conlleva a cambios estructurales en cortezas primarias, también se ha señalado que el resultado de este tipo de aprendizaje no proviene exclusivamente de estos efectos (Kellman & Garrigan, 2009) sino que involucra una interacción de procesos en los diferentes niveles del procesamiento neural (Ahissar & Hochstein, 2004). Dentro de la percepción visual, se ha concebido que el aprendizaje es un proceso *top-down* (de arriba hacia abajo) que se inicia en áreas superiores y que, cuando no se satisfacen las demandas de la tarea, el mismo progresa a los niveles más básicos de percepción con el objetivo de "...localizar *ingresos de información* más precisa" (Ahissar et al., 2009, pág. 288).

El trabajo sobre el aprendizaje perceptual se ha dirigido principalmente a la investigación en la modalidad sensorial visual; sin embargo, en años recientes se ha incrementado el interés en otras modalidades, e incluso se habla del aprendizaje perceptual multisensorial (Proulx, Brown, Pasqualotto, & Meijer, 2012). La investigación sobre este tema se ha extendido a las sensaciones táctiles, como en el ejemplo citado anteriormente, y no se ha limitado a estímulos sensoriales básicos, sino a las implicaciones de éstos en actividades tan complejas como el

ajedrez, la lectura, las habilidades visuales en radiólogos e, incluso, en las habilidades necesarias para la resolución de complicadas fórmulas matemáticas (Kellman & Garrigan, 2009), pues se ha considerado que el entrenamiento perceptual puede ser un recurso eficaz para el mejoramiento del rendimiento en diversas habilidades, incluso, en la rehabilitación de la percepción anormal (Ahissar et al., 2009).

### **1.2.1 Aprendizaje pasivo y aprendizaje por atención**

Existen dos consideraciones dentro del aprendizaje perceptual en cuanto a las condiciones de atención en las que ocurre. Una línea de investigación sostiene la hipótesis de que los individuos "...necesitan estar conscientes y focalizar su atención en una característica del estímulo para que esa característica sea aprendida" (Seitz & Dinse, 2007, pág. 149); por el contrario, otra línea se opone a esta evaluación señalando evidencia que muestra cómo el aprendizaje puede presentarse en condiciones pasivas (Seitz & Dinse, 2007).

El aprendizaje pasivo no implica atención consciente. Este dato, con base en los estudios revisados, puede referirse a dos situaciones: (1) cuando el estímulo es presentado de forma simultánea con un tipo de estimulación cortical dado por protocolos de potenciación de la actividad neural (Seitz & Dinse, 2007) o, (2) cuando la característica de un estímulo que es relevante para resolver una tarea está acompañada de otra característica dentro del mismo estímulo que no determina la solución de la tarea pero que existe conjuntamente con la principal, de tal modo que cuando el sujeto se ocupa de atender la principal, pasivamente, aprende a diferenciar la otra (Tsushima et al., 2008).

Este segundo tipo de aprendizaje pasivo se ha investigado en la modalidad visual; ejemplo de esto es el trabajo de Tsushima y sus colaboradores (2008), en cuyos resultados se pudo observar que un aprendizaje pasivo ocurre sólo cuando la señal del estímulo secundario es débil en comparación a la señal relevante. Estos autores señalan que "los resultados están de acuerdo con la hipótesis de

que una señal irrelevante débil falla al ser 'notada' y, en consecuencia, no es suprimida por el sistema de atención [ya que no lo consideraría necesaria para la tarea]. Así, esta señal es aprendida, mientras que una señal de estímulo fuerte se detecta, y es suprimida y no aprendida” (Tsushima et al., 2006, citado en Tsushima et al., 2008).

Con respecto al aprendizaje por atención, los estudios sobre percepción visual han mostrado que la habilidad para identificar ciertas características en los estímulos está determinada tanto por la forma en que se presenta el estímulo como por el tipo de tarea que realizan los sujetos (Seitz & Dinse, 2007). Igualmente, con respecto al aprendizaje perceptual multisensorial, se ha dicho que el tipo de tarea involucrada afecta al aprendizaje y se le considera según lo que plantea la teoría de la jerarquía invertida: “la dificultad y las características de una tarea determinan el nivel de procesamiento cortical en el que son requeridos los mecanismos de atención” (Proulx, Brown, Pasqualotto, & Meijer, 2012, pág. 2), y señala que cuanto más difícil sea una tarea más estará implicada una discriminación específica, es decir, un análisis de las características más elementales en el estímulo, que son procesadas en áreas sensoriales primarias de la corteza cerebral para cada modalidad (Proulx, et al., 2012).

Además, Seitz y Dinse (2007) mencionan que, en las investigaciones sobre el aprendizaje háptico, se han observado notables mejoras en la habilidad de discriminación táctil y la evidencia de estudios con potenciales provocados sugiere que “...la atención tiene un importante papel en la modulación de procesamientos corticales de la información táctil” (Seitz & Dinse, 2007, pág. 149).

Seitz y Dinse (2007) mencionan que, si bien, hay investigaciones que demuestran que es posible un aprendizaje perceptual en condiciones carentes de atención o refuerzo, otras prueban la necesidad de la atención. Por lo tanto, ellos sugieren que “la clave para el aprendizaje es que la estimulación sensorial sea suficiente para que el sistema neural rebase el punto del umbral del aprendizaje” (Seitz & Dinse, 2007, pág. 150). Estos autores plantean la posibilidad de que aunque esto llegue a conseguirse con una exposición pasiva a los estímulos, en

tareas más difíciles, el umbral de activación puede rebasarse mediante factores como protocolos de potenciación neural, señales de refuerzo o, incluso, procesos de atención.

### **1.2.2 Aprendizaje perceptual multisensorial**

El contexto multisensorial que rodea al individuo significa un ambiente muy rico y favorecedor, pues se ha sugerido que el cerebro humano ha evolucionado para operar de forma óptima en este tipo de ambientes (Shams & Seitz, 2008). En la vida cotidiana, se obtiene información de distintas modalidades sensoriales para una misma tarea; lo que implica una redundancia muy útil en la infancia temprana pues “es crucial para extraer información que no sería posible sólo con base en una estimulación unisensorial” (Shams & Seitz, 2008, pág. 412).

El beneficio multisensorial está ligado a lo mencionado anteriormente sobre los factores que favorecen el aumento en la actividad neural durante el aprendizaje de tareas de discriminación sensorial: la redundancia que provee la estimulación multisensorial puede significar un efecto de refuerzo en cada tarea que se realice (Shams & Seitz, 2008). Los estudios muestran cómo el rendimiento es mejor en condiciones bi- o multimodales, que en condiciones unimodales (Proulx et al., 2012), y también se habla de que existe una facilitación del aprendizaje unisensorial mediante el entrenamiento multisensorial (Sham & Seitz, 2008).

Sham y Seitz señalan que los resultados de los estudios considerados en su trabajo indican que “los mecanismos de facilitación multisensorial pueden tener importantes beneficios en la pedagogía” (Shams & Seitz, 2008, pág. 415).

### **1.2.3 Teoría de la jerarquía invertida**

La teoría de la jerarquía invertida postula que el nivel del procesamiento de la información, para el cual se requieren mecanismos de atención, depende de las

características de la tarea y la dificultad que representa su cumplimiento (Proulx et al., 2012).

El procesamiento cognitivo comienza desde la entrada de la información sensorial que avanza hacia niveles superiores de procesamiento neural (Albright & Neville, 2002). En este transcurso, hay procesos de nivel bajo, referidos a las primeras fases, y de nivel superior, que ocurren conforme progresa el procesamiento de la información. (Ahissar et al., 2009). Por ejemplo, en la modalidad visual "...se cree que las representaciones de nivel bajo (que se inician en la retina) extraen características básicas, propósitos generales, primitivos y locales, tales como la orientación de líneas y colores básicos, [y] en el otro extremo, las representaciones de nivel alto que están estrechamente relacionadas con nuestra percepción global" (Ahissar et al., 2009, pág. 285). En la modalidad auditiva, se ha aceptado que las representaciones de bajo orden corresponden a características acústicas espectro-temporales y que en los niveles altos se hallan las representaciones fonológicas que subyacen al lenguaje (Ahissar et al., 2009).

De acuerdo con la teoría de la jerarquía invertida, según sea el grado de dificultad que implique resolver una tarea, la necesidad de atención recaerá en un nivel diferente del procesamiento cognitivo. En el contexto visual "una tarea fácil puede realizarse con base en niveles generales de discriminación de características, implicando recursos de procesamiento y atención a niveles corticales altos en cortezas asociativas [...]. Las tareas más difíciles, que requieren una discriminación más específica, implican recursos de procesamiento y atención en niveles bajos, y áreas sensoriales primarias, tales como V1 con campos receptivos pequeños" (Proulx et al., pág. 2). El primer tipo de tareas involucrará a fibras nerviosas rápidas mielinizadas de la sustancia blanca, mientras que el segundo se realizará con fibras nerviosas lentas no mielinizadas de la sustancia gris de las áreas sensoriales (información personal E. Castro-Sierra).

La teoría de jerarquía invertida es un concepto que se refiere "...al vínculo entre la jerarquía del procesamiento y la dinámica de la percepción" (Ahissar et al.,

2009 p.286). Esta teoría propone que nuestra percepción inmediata se basa en representaciones de nivel superior, de tal modo que "... típicamente, nuestra experiencia perceptual (referida a la percepción consciente) sólo refleja la información almacenada en esos niveles superiores" (Ahissar et al., 2009, p.286) ya que comúnmente esto es suficiente para el desenvolvimiento diario. Por ejemplo, cuando observamos un escena podemos determinar de forma inmediata de qué objeto se trata (una casa) sin que haya una consciencia de sus partes constitutivas (colores, tamaño), ni mucho menos de los elementos sensoriales básicos que intervienen (componentes espaciales, luminosidad, etc.).

Ahissar y Hochstein (2004) sugieren que el aprendizaje es un proceso que se inicia en áreas de nivel alto para luego progresar a niveles bajos. Esto sucede cuando, en determinadas condiciones, dadas por la demanda de la tarea, la información obtenida de niveles superiores es muy general y no proporciona elementos suficientes para un rendimiento exitoso. En ese momento, comienza una búsqueda en los niveles inferiores de información de ingreso que brinde datos más específicos (Ahissar, et al., 2009).

El proceso de aprendizaje comienza con la primera ejecución de una tarea en la que se asume un desempeño inexperto. Ahissar y Hochstein (2004) proponen que las ejecuciones primerizas están gobernadas por representaciones que están en la cima de la jerarquía, en donde ocurren categorizaciones rápidas pero de calidad gruesa, cuyas representaciones, pudiendo ser insuficientes, confusas o ilusorias, causan que el rendimiento falle. Conforme progresa el aprendizaje, los individuos van teniendo acceso a niveles más elementales de procesamiento en los que encuentran información relevante y específica sobre la tarea (representaciones específicas). Cuando se alcanza el rendimiento de experto, este procesamiento ya ha sido optimizado y el individuo puede volver a realizar las tareas con bases en procesamientos de nivel superior, pero con un andamiaje modificado (comparado con el inicio del aprendizaje) que está dirigido a los requerimientos específicos de la tarea (Ahissar & Hochstein, 2004).

Debemos enfatizar que la teoría de la jerarquía invertida se desarrolló inicialmente para la modalidad visual y se extendió a la modalidad auditiva (Ahissar et al., 2009). En nuestro conocimiento, no hay un abordaje específico de esta teoría desde el contexto de la percepción háptica. Sin embargo, el trabajo de Proulx y sus colaboradores (2012) abordan el aprendizaje perceptual desde la perspectiva multisensorial, y describe evidencia empírica al respecto; pero se debe señalar que, en cuanto a la teoría de la jerarquía invertida, el enfoque se refiere principalmente a la integración de los estímulos de diferentes modalidades y no específicamente a modalidades sensoriales particulares. Lo que Proulx y sus colaboradores señalan está dirigido, más bien, a proponer una concepción metamodal del procesamiento, y hace referencia a la perspectiva del aprendizaje multisensorial de Sham y Seitz (2008).

### **1.3 La percepción háptica**

La percepción háptica ha sido observada como un sistema perceptual que involucra dos tipos de información de ingreso, las cuales han sido señaladas por Klatzky y Lederman (2009) como dos distintos subsistemas aferentes: cutáneo y cinestésico. Así, la percepción háptica no se reduce a lo que comúnmente conocemos como sentido del tacto, puesto que implica una exploración manual activa (Lederman & Klatzky, 2009).

Sin embargo, el sentido del tacto, como tal, ha sido objeto de múltiples estudios y algunos han intentado estudiarlo, aislándolo de componentes de exploración activa, mediante la aplicación de estímulos táctiles sobre un dedo con movimiento parcialmente restringido (Loomis, 1979, citado en Goodwin & Wheat, 2004) o totalmente inmovilizado (Wheat et al., 1995; Srinivazan & LaMotte, 1987; Goodwin et al., 1991; Dodson et al. 1998, Lechelt 1992, citados en Goodwin & Wheat, 2004).

En los estudios sobre el sentido del tacto se destaca la importancia que tiene éste para nuestro desenvolvimiento motor diario. El tacto es tan esencial que

se ha mencionado que constituye un apoyo fundamental de los mamíferos para el éxito en la crianza e, incluso, para el desarrollo cognitivo (Goodwin & Wheat, 2004). Dependemos del tacto para una infinidad de actividades. Gracias a los receptores especializados que encontramos en la punta de nuestros dedos, los seres humanos somos capaces de manipular objetos con mucha precisión, lo que va desde atarse las agujetas de los zapatos hasta tocar un concierto de W. A. Mozart (Lumpkin, Marshal, & Nelson, 2010).

Sin embargo, observamos que no se trata solamente del tacto, en un sentido estricto, más bien, nos referimos a un conjunto de señales que son recibidas por medio de aferentes cutáneos y cinestésicos, cuyo procesamiento deviene en la percepción háptica.

### **1.3.1 Elementos de la percepción háptica: propiocepción y exterocepción**

El sentido del tacto, junto con otras sensaciones somestésicas, como el calor, el frío, la presión y la angulación de las articulaciones, son algunos ejemplos de *modalidades de la sensación* (Guyton, 1987).

La sensibilidad somestésica puede ser dividida en tres grupos (Guyton, 1987):

1. Sensibilidad exteroceptiva.
2. Sensibilidad propioceptiva.
3. Sensibilidad visceral.

En esta investigación, se consideran únicamente las dos primeras, pues constituyen la principal fuente de información somestésica para la ejecución de un instrumento musical, y nos referiremos a ellas en conjunto como *sensación háptica*.

Gracias a la modalidad sensorial háptica, los seres humanos obtenemos información sobre las propiedades de los objetos, como las características de su superficie, su dureza, su temperatura y su peso. Tal información nos permite tener

una representación de nuestro entorno próximo y es vital para guiar la manipulación de un objeto (Klatzky, 2002).

Las sensaciones que se perciben a través de la piel son las exteroceptivas; se refieren al tacto, la presión, el calor, el frío y el dolor (Guyton, 1987). Esta información se deriva de los mecano-receptores y los termo-receptores localizados debajo de la piel, y está constituida por las señales obtenidas mediante el subsistema cutáneo del sistema háptico (Lederman & Klatzky, 2009).

Las sensaciones propioceptivas “...son las que indican al cerebro el estado físico del cuerpo. Se trata de sensaciones como la longitud de los músculos, la tensión de los tendones, la angulación de las articulaciones y la presión profunda en la parte más baja del pie” (Guyton, 1987, p. 142). A través de la propiocepción, somos capaces de conocer las disposiciones de nuestras extremidades en diferentes posiciones corporales asumidas, y podemos percibir la trayectoria de nuestros movimientos. Estas señales son recibidas por los mecano-receptores ubicados en los músculos, los tendones y las articulaciones, y constituyen las señales de tipo cinestésico.

La percepción háptica es un sistema integral que involucra señales exteroceptivas y propioceptivas que, en conjunto, proporcionan un rico sistema de información que permite la adquisición de habilidades motoras de un alto grado de complejidad, como la observada en la ejecución de un instrumento musical.

### **1.3.1a Receptores**

En nuestro cuerpo existen receptores sensoriales especializados que se encargan de recibir el estímulo que es enviado al cerebro a través del sistema nervioso central. Cada uno de ellos tiene su propio medio de estimulación pero, por lo general, los receptores táctiles se estimulan por efecto de algún tipo de deformación física de la fibra nerviosa dentro del receptor (Guyton, 1987).

Dentro de estas estructuras, se encuentran insertas fibras nerviosas que dejan de estar mielinizadas justamente al introducirse la fibra en el receptor. Así, el receptor y la fibra nerviosa que lo inerva constituyen una aferencia (Johnson, 2001).

Los corpúsculos de Meissner, los discos de Merkel, los corpúsculos de Paccini y las terminaciones de Ruffini, son cuatro de estos órganos receptores que han sido señalados como mecano-receptores, y cuya función es la transducción en impulsos nerviosos de las fuerzas aplicadas sobre la superficie de la piel (Klatzky, 2000).

Los receptores varían en cuanto a sus propiedades funcionales y el tamaño y estructura de sus campos receptivos (Vallbo & Johansson, 1984), y se pueden categorizar, atendiendo a aquellas propiedades "...según el tamaño del campo receptor (grandes o pequeños) y según sus propiedades temporales (de adaptación rápida -AR- o de adaptación lenta -AL)" (Klatzky, 2000, pág. 935). De la combinación de estas categorías surge la siguiente clasificación (Klatzky, 2000):

- AR-I. De adaptación rápida y campo receptor pequeño.
- AR-II. De adaptación rápida y campo receptor grande.
- AL-I. De adaptación lenta y campo receptor pequeño.
- AL-II. De adaptación lenta y campo receptor grande.

Debido a las diferencias en las respuestas temporales y espaciales, los receptores se asocian a diferentes sensaciones (Klatzky, 2009) y parecen estar especializados en determinadas funciones asignadas (Johnson, 2001).

Los corpúsculos de Paccini corresponden al grupo AR-II y, debido a que "emiten un máximo de respuesta con secuencias de impulsos del orden de 250 Hz", funcionan en la detección de señales vibratorias "como las que se producen cuando recorremos superficies muy finas...". (Klatzky, 2000, pág. 935). Además, este sistema aferente permite la detección de eventos que ocurren a la distancia, mediados por un objeto (Johnson, 2001).

Los discos de Merkel son receptores del tipo SA-I. Responden a la indentación sostenida, lo que les concede propiedades de respuesta de resolución espacial (Johnson, 2001). Actúan selectivamente a los componentes particulares de tensión-deformación en la piel que los hace sensibles a orillas, esquinas y curvaturas; por lo tanto, son particularmente efectivos en la representación de las superficies o la forma de los objetos (Johnson, 2001). También se ha sugerido que estas estructuras están involucradas en la propiocepción, y que envían información al cerebelo (Verillo & Bolanowski, 2008).

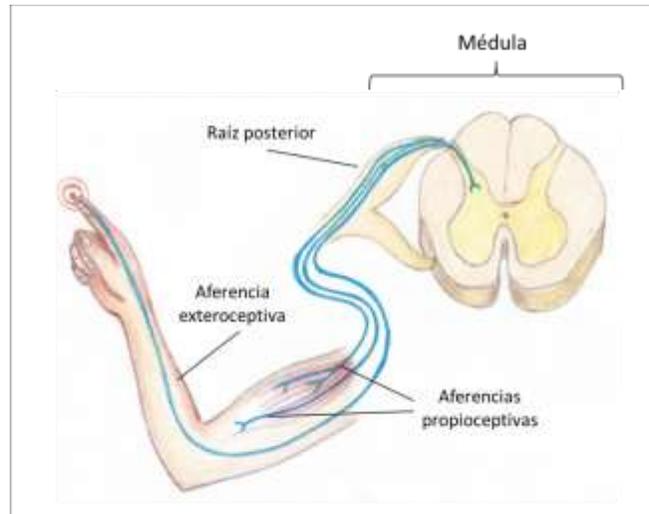
Los Corpúsculos de Meissner, del tipo AR-I (Lederman & Klatzky, 2009), poseen una sensibilidad uniforme, la cual permite transmitir una señal robusta cuando detecta movimiento en la piel. Se ha sugerido que son responsables de detectar los pequeños deslizamientos entre la piel y el objeto, durante la aprehensión, así, "...su más importante función, parece ser, la provisión de señales de realimentación para el control de la aprehensión" (Johnson, 2001, pág. 458).

Las terminaciones de Ruffini son receptores del tipo AL-II (Lederman & Klatzky, 2009). Johnson (2001) señala que se han detectado dos funciones principales de los receptores AL-II: la primera se refiere a la percepción de la dirección del movimiento de un objeto, o la fuerza del movimiento o la dirección causada por el estiramiento de la piel; la segunda desarrolla un papel fundamental en colaboración con los propioceptores (husos musculares, y quizá aferencias en las articulaciones), en la percepción de la forma que asumen la mano y las posiciones de los dedos (Johnson, 2001).

### **1.3.1b Vías neurales**

La información que el organismo recibe por medio de los receptores se transmite hacia el cerebro a través de dos vías: el sistema dorsal y el sistema espinotalámico. Esta información es enviada hasta la corteza somestésica (donde se encuentra representado todo el cuerpo), cuya función está relacionada con la

localización precisa de los puntos del cuerpo en donde se originan las sensaciones (Guyton, 1987).

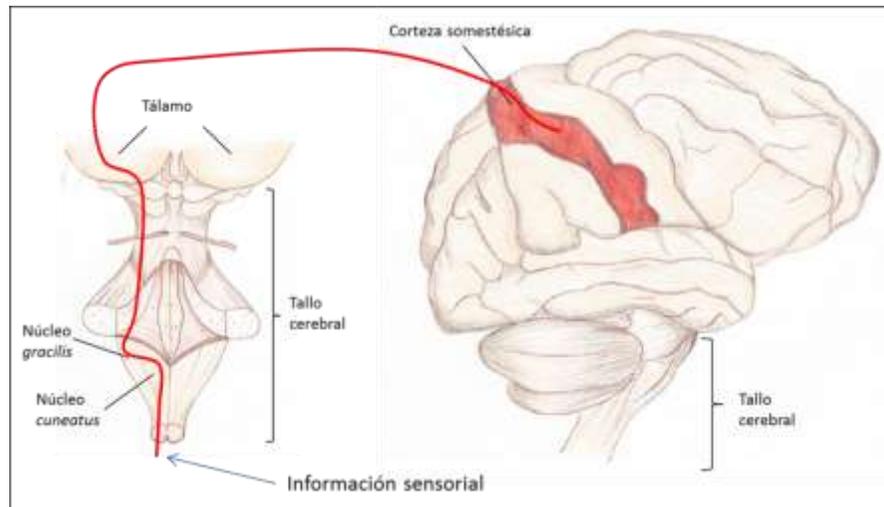


**Figura 1.** Ingreso de la información propioceptiva y exteroceptiva a la médula, por las raíces posteriores. Se observa un corte transversal de la médula.

Una vez que la información ingresa al organismo a través de los receptores, viaja por fibras nerviosas aferentes que van a la médula espinal donde se encuentran dos raíces nerviosas: las fibras nerviosas sensoriales ingresan a la médula por las raíces posteriores de estos nervios raquídeos (Guyton, 1987) (Ver Figura 1). Un grupo de fibras nerviosas termina en la médula, y produce actividad refleja, y otras fibras continúan hacia arriba de la misma. En general, las vías de transmisión sensitiva se dividen en dos partes separadas que se describen a continuación:

*Sistema dorsal o del cordón posterior.* Por esta vía se conduce la información propioceptiva y la información de tacto fino y discriminativo (Chico, 2003). La mayor parte de las señales que viajan por este sistema “proviene de receptores táctiles especializados que excitan grandes fibras nerviosas mielinizadas” (Guyton, 1987, pág. 147). Las fibras que ascienden por la médula llegan hasta la parte más baja del bulbo raquídeo (Guyton, 1987), a los núcleos

*gracilis* y *cuneatus* (Chico, 2003), donde ocurre la primera sinapsis de la vía. Después, las fibras continúan su ascenso hasta llegar al complejo ventrobasal del tálamo. En este sitio, las fibras hacen sinapsis (por segunda vez) con otras neuronas que a su vez envían sus fibras hacia la corteza cerebral para terminar en la corteza somestésica (Guyton, 1987). Ver Figura 2.



**Fig. 2.** Trayecto de la información sensorial proveniente de la médula (simplificado). En la imagen izquierda se muestra una vista posterior del tallo cerebral (sin cerebelo) y parte del tálamo; en la parte inferior se observan los núcleos *gracilis* y *cuneatus*. En la imagen derecha se muestra una vista lateral del cerebro.

**Sistema espinotalámico.** A través de este sistema viaja la sensibilidad exteroceptiva referida al tacto grueso no discriminativo y de presión, exceptuando el tacto fino (Chico, 2003). Las fibras nerviosas periféricas que integran este sistema son muy pequeñas y regularmente no están mielinizadas (Guyton, 1987). El ingreso a la médula es, igual que en el sistema dorsal, por las raíces posteriores, pero "...termina casi de inmediato en las astas posteriores de la sustancia gris medular. Aquí, las fibras forman sinapsis con varias neuronas sucesivas, y la última envía su axón hacia el lado opuesto de la médula y a continuación por todo el camino hasta el tallo cerebral y el tálamo" (Guyton, 1987, pág. 149). Algunas fibras terminan en el complejo ventrobasal del tálamo, junto con las fibras del sistema dorsal, y otras llegan a los núcleos intralaminares y

desde allí “...las neuronas de conexión prosiguen hacia la corteza cerebral, donde terminan también en la corteza somestésica” (Guyton, 1987, pág. 149).

Las diferencias en las estructuras entre las fibras de estos dos sistemas conducen a diferencias en su función. Las fibras del sistema dorsal tiene fibras nerviosas grandes que transmiten señales rápidamente con una velocidad de 30 a 110 m por segundo; además, estas fibras nerviosas “...están orientadas con mucha exactitud según su punto de origen desde las diferentes partes del cuerpo, con poco entrecruzamiento de señales en cualquier punto de la vía” (Guyton, 1987, pág. 149). De esta forma, cuando se estimula un solo receptor, se transmite una señal definida hacia un punto bien definido en el tálamo y, luego, en la corteza. En contraste, las fibras del sistema espinotalámico, son pequeñas y algunas totalmente sin mielina, tienen una velocidad de transmisión lenta de 10 a 60 m por segundo y su orientación es menor. Así, las señales que estas fibras transmiten excitan áreas cerebrales más dispersas (Guyton, 1987).

### **1.3.2 Vibro-tacto y audición**

Las investigaciones sobre la interacción entre estímulos vibro-táctiles y auditivos han contribuido al planteamiento de que el ser humano depende de la interacción de señales sensoriales de distintas modalidades para guiar su conducta. Por ejemplo, Fox (2009) señala que resulta sorprendente “...lo mucho que uno se basa en la combinación de la audición y los ingresos somato-sensoriales durante una tarea tan cotidiana” (Fox, 2009, p. R373), refiriéndose al hecho de afeitarse, e incluso señala que probablemente las personas no se atreverían a afeitarse si alguna de estas señales estuviese ausente.

Algunos estudios sugieren que existe una estrecha relación entre las cortezas auditiva y somato-sensorial cuando los individuos son expuestos a estímulos auditivos y táctiles (Butler et al., 2011; Schürmann et al., 2006). Incluso, se ha sugerido que la co-activación observada entre la corteza somatosensorial y la corteza auditiva durante la exposición a esos estímulos, podría derivarse de una

audición facilitada que pudiera reflejar “el análisis del sonido como patrones temporales en la vibración” (Schürman et al., 2006, pág. 1325).

Otros estudios han mostrado que el estímulo de una modalidad sensorial (auditiva o háptica) puede modificar la percepción del estímulo en la otra modalidad (Jousmäki & Hari, 1998; Suzuki et al. 2008). En el estudio de Jousmäki y Hari (1998) se observó una modificación de la percepción de la textura de la mano cuando los participantes recibieron la retroalimentación del sonido resultante del frotamiento de sus manos, la cual fue manipulada al enfatizar determinadas frecuencias, produciéndose, así, lo que ellos llamaron Ilusión piel-pergamino. Los participantes consignaron que sus manos se percibían lisas o ásperas, húmedas o secas, sin que, en realidad, la superficie de su mano se modificara. Este estudio muestra que los sonidos sincronizados con el movimiento exploratorio háptico de una superficie, en este caso, la palma de la mano, puede modificar considerablemente la sensación percibida.

De igual manera, Suzuki y sus colaboradores (2008) encontraron que hay un efecto selectivo de los estímulos auditivos en la percepción de la textura, los cuales modifican la estimación de la intensidad de la rugosidad. Sus resultados muestran que los sonidos complejos afectan la percepción de la textura aunque éstos no estén relacionados directamente con la superficie explorada (los tonos puros no causaron el mismo efecto).

Aunado a esto, el trabajo de Butler y sus colaboradores (2012) muestra que el cerebro podría estar procesando estímulos auditivos y vibro-táctiles de forma integral. Como resultado de sus estudios con potenciales provocados, se observó que cuando un individuo recibe simultáneamente estímulos bi-modales (vibro-táctil y auditivo), el cerebro muestra una actividad que no representa la sumatoria lineal de la activación de los dos estímulos por separado sino una activación producto de un acoplamiento de las señales, por lo que estos autores sugieren que podría estar ocurriendo una integración de ambas señales a niveles tempranos del procesamiento dando como resultado una representación integral de la frecuencia (vibro-táctil y auditiva).

### **1.3.2a Interacción vibro-táctil auditiva en la percepción de texturas**

Se ha sugerido que el vibro-tacto puede ser la base principal para distinguir texturas (superficies) y que, por lo tanto, las señales vibro-táctiles podrían ser empleadas para la investigación en los mecanismos de discriminación de texturas (Hollins et al., 2002). Los estudios realizados han explorado esta posibilidad mediante la creación de superficies complejas con variaciones sutiles (variación de la onda en las relaciones de fase de sus componentes) observando la habilidad que tienen los individuos para discriminar tales vibraciones (Bensmaïa et al., 2000, citado en Hollins et., al, 2002).

Además, en la exploración de superficies de texturas *ultra-finas*, los individuos consignan la sensación vibratoria y distinguen a aquellas de superficies en blanco, aunque parecen no experimentar propiamente el estímulo como una superficie texturizada (La Motte & Srinivasan, 1991).

Los informes de la investigación sobre el vibro-tacto y la audición en la percepción de la textura (Hollins, Bensamaïa, & Roy, 2002; Schürmann, et al., 2006; Suzuki, et al., 2008; Foxe, 2009), aportan datos que nos permiten considerar que durante una tarea de exploración de texturas con estimulación auditiva ocurre una interacción de señales vibratorias, tanto táctiles como auditivas, susceptibles de procesamiento neural superior. En estas investigaciones, se ha observado que es posible que el sonido modifique la sensación percibida de una determinada textura (Suzuki, Gyoba & Sakamoto, 2008); incluso la textura de la palma de la mano (Jousmäki & Hari, 1998). Además, otros resultados sugieren una dependencia de los individuos en señales hápticas y auditivas, para la realización de determinadas tareas (Foxe, 2009; Suzuki et al., 2008; Jousmäki & Hari, 1998) cuyo ejercicio a lo largo de la vida pudiera incluso verse reflejado en actividad a nivel de corteza cerebral (Schürmann et al., 2006).

En este contexto, las vibraciones táctiles producidas durante la exploración háptica de superficies texturizadas son tomadas, en esta investigación, como el recurso que proporciona estimulación vibro-táctil durante el entrenamiento que exige focalizar la atención en este estímulo.

### **1.3.3 Percepción vibro-táctil en instrumentos de cuerda**

Algunos investigadores han sugerido que las sensaciones táctiles y cinestésicas tienen un papel importante en el auto-monitoreo de la práctica instrumental y en la expresividad (Grosshauser, Järveläinen, Papetti, & Schiesser, 2013). Grosshauser y colaboradores (2013) señalan que probablemente gestos hápticos primitivos (gestos básicos como presión, pulsación, deslizamientos etc.) en interacción con la audición, podrían ser cruciales para la ejecución. En su experimento piloto, investigaron el papel de la retroalimentación vibro-táctil y auditiva en una tarea de control de la presión con el dedo índice y encontraron que las ejecuciones alcanzaron mayor precisión en presencia de retroalimentación vibro-táctil.

La sugerencia de que la sensación vibro-táctil puede proporcionar claves importantes al intérprete, ha propiciado que las investigaciones para el desarrollo de instrumentos electrónicos consideren la posibilidad de incorporar dispositivos que emulen la señal vibro-táctil (Chafe, 1993; Grosshauser et al., 2013); algunos han encontrado que la incorporación de retroalimentación vibro-táctil favorece el vínculo entre el intérprete y el instrumento, pero que una fuerte presencia de ella puede producir reducción en el control del instrumento (Marshall & Wanderley, 2011).

Además, las técnicas de construcción de violines han explorado la posibilidad de favorecer las respuesta vibratoria del brazo y la tapa del violín, dado que los violinistas muestran preferencia por esta característica en los instrumentos (Ramírez, 2015). Por otro lado, se ha explorado la posibilidad de que la percepción vibro-táctil tenga implicaciones en la valoración de la calidad de los instrumentos de cuerda como el violín (Wollman, Fritz, & Frelat, 2012).

En todos estos casos, la presencia de la sensación vibro-táctil es señalada como un elemento importante en la actividad musical y se apunta a que los dedos son de significativa consideración como segmento corporal que recibe señales vibro-táctiles. Grosshauser y colegas (2013) mencionan que la sensación vibro-táctil es claramente perceptible en instrumentos de cuerda y particularmente

señalan los trabajos de Chafe (1993) y Askenfelt y Jansson (1992) como evidencia de ello.

En los instrumentos de cuerda, el punto de presión de los dedos en contacto con la cuerda implica el corte de la longitud de la misma, para producir la altura tonal deseada. Esto significa que lo que hay bajo la punta de los dedos es uno de los nodos (puntos fijos) para la onda estacionaria que genera la altura tonal determinada en los instrumentos de cuerda (Roederer, 2008; UNSW. School of physics).

En un sentido estricto y teórico, en este punto no existen vibraciones. Sin embargo, allí, la yema de los dedos está en contacto con el diapasón del violín el cual vibra junto con el resto del instrumento en respuesta a la excitación de la cuerda (Wollman, Fritz, & Frelat, 2012) y el perímetro del punto de contacto en la yema recibe vibración de la cuerda, implicando que existe percepción vibratoria a través de los dedos y que ésta corresponde a la frecuencia del tono. Esta evidencia se observa en el estudio de Chafe (1993) en cuyo experimento se registró la sensación vibratoria a través del dedo índice de cellistas, mediante un acelerómetro colocado en la uña del participante.

La experiencia vibro-táctil puede diferir según el tipo de instrumento musical en cuestión; al parecer, músicos con instrumentos de cuerda y aliento están en más contacto con la vibración táctil. Grosshauser y colegas (2013) sugieren que este hecho puede generar una mayor sensibilidad vibro-táctil en estos músicos, en comparación con pianistas en cuya práctica es difícil sentir la vibración en los dedos. En los resultados de su experimento encontraron que los pianistas mostraron un desempeño cercano al de los no músicos, y aunque en su trabajo no se especifica el tipo de instrumento del resto de los participantes músicos, señalan que estos últimos mostraron un mejor desempeño.

#### **1.4 El aprendizaje del violín: la imitación y la percepción háptica**

Para tocar violín es necesaria la adquisición de habilidades complejas de motricidad fina que involucran la coordinación de movimientos asimétricos de los brazos (Konzak et al., 2009). A diferencia de otros instrumentos, como el piano, en el violín primeramente se requiere de la “creación del sonido” mediante movimientos controlados del arco que demandan el manejo del peso ejercido sobre las cuerdas, el que corresponde tanto al propio peso del arco, como al peso del brazo del ejecutante; además de la correcta posición del arco sobre las cuerdas y la distribución de su desplazamiento en relación al violín, cuyo movimiento debe describir una línea perpendicular al cuerpo de éste (Konzak et al., 2009).

La ejecución (con el arco) de un ritmo determinado requiere de la coordinación de patrones de movimientos del brazo lógicamente organizados en función de la duración de cada figura rítmica dada, con una precisión temporal relacionada al pulso establecido. De esta manera, resulta imprescindible regular la distribución de la longitud del arco conjuntamente con la velocidad de su desplazamiento.

Por otro lado, la función de la mano izquierda es proporcionar al sonido una altura tonal determinada, lo cual se consigue mediante la presión de los dedos sobre las cuerdas que encuentran una ubicación y una distribución espaciales específicas sobre el diapasón del violín (digitación), y cuya referencia está dada por distancias igualmente específicas de separación entre los dedos, dependiendo del tono que desee producirse. La fuerza ejercida por los dedos durante esta tarea tiene repercusiones en la calidad del sonido resultante y, además, es de importante consideración para el bienestar físico del ejecutante (Kinoshita & Obata, 2009).

Este procedimiento se realiza en coordinación con los movimientos de arco, pues la claridad del sonido también está relacionada con la precisión del movimiento del arco en actividad simultánea con la articulación de los dedos sobre el diapasón del violín (Baader et. al., 2005). Así, la correcta afinación está

determinada tanto por la agudeza auditiva del ejecutante, como por la coordinación de movimientos, lo que implica un grado alto de precisión.

Si hemos observado que la ejecución del violín representa una actividad de dificultad importante, este hecho tiene mayor repercusión cuando se trata de niños, ya que, en el inicio de su aprendizaje, ellos deben coordinar una serie de tareas de forma paralela: “a) asumir la correcta postura, b) sostener el violín en la correcta posición de ejecución, y c) mover el arco en su correcta amplitud y tempo, mientras presionan los dedos de la mano izquierda en el tiempo correcto y sobre la localización correcta del diapasón.” (Konzak, et al., 2009)

En tareas que implican gran precisión y coordinación, que incluso demandan simultaneidad casi perfecta, la adquisición de estas habilidades representa una dificultad considerable para los niños que aún están en el proceso del logro de la motricidad fina y la ejecución de movimientos coordinados. Por ejemplo, algunos autores plantean que las habilidades de motricidad fina que se necesitan para la escritura, no se adquieren sino hasta los 6 años, pero también señalan que hay algunos niños, en circunstancias normales, que alcanzan los 8 años de edad y aún no dominan el trazo de las formas básicas de las letras (Craig & Don, 2009)

#### **1.4.1 La imitación**

La imitación es un elemento fundamental en el aprendizaje de un instrumento musical; en general, la imitación es un recurso importante en la enseñanza de cualquier habilidad motora y es común que en un principio el profesor le muestre a su alumno una técnica, un movimiento o un gesto que a continuación debe ser imitado (Sánchez, 2010).

En la cognición motora, el *priming* (detonante) proporciona un medio para mejorar el desempeño de una tarea. El *priming* motor, o detonante motor, es concebido como “el efecto por el que al observar un movimiento o una acción se facilita realizar uno mismo una respuesta motora similar” (Kosslyn & Smith, 2008,

pág. 481). Este efecto beneficia la capacidad imitativa de los seres humanos gracias a la cual "...podemos *traducir* patrones que vemos y percibimos en tercera persona a patrones que debemos realizar [...] por nosotros mismos" (Sánchez, 2010, pág. 34).

Un estudio con estimulación magnética transcranial, realizado hace algunos años, mostró evidencia de excitabilidad cortico-espinal en humanos (12 sujetos), durante la observación de una acción (Fadiga, Fogassi, Pavesi & Rizzolatti, 1995, citado en Fadiga, Craighero, & Olivier, 2005); el patrón de activación de los potenciales provocados motores, registrados durante la condición de observación, reflejó el patrón de actividad muscular presente cuando los sujetos realizaron esas mismas acciones.

Resultados como éste sugieren que cuando observamos la acción de otra persona "...nosotros 'resonamos' fuertemente con su acción [...], nuestro sistema motor simula a bajo umbral la acción observada en una forma estrictamente congruente. Los músculos involucrados son los mismos que aquellos usados en la acción observada y su activación es temporalmente acoplada con la dinámica de la acción observada" (Fadiga, Craighero, & Olivier, 2005). En ese estudio los investigadores concluyen que "...la percepción de las acciones de otros está constantemente acompañada de una facilitación motora del sistema cortico-espinal del observador" (Fadiga et al., 2005, pág. 218)

Aunque en principio puede parecer que la imitación es un acto simple, referido a copiar movimientos observados, en realidad implica cuestiones difíciles de responder (Brass & Heyes, 2005). La imitación está ligada a dos fenómenos cognitivos: la comprensión de las acciones de otros y la capacidad de replicar acciones (Rizzolatti, 2005). Así pues, en el aprendizaje por imitación subyacen complejos mecanismos que implican: "1) el mapeo de variables sensoriales en las correspondientes variables motoras, 2) la compensación por la diferencia física entre el imitador y el demostrador, y 3) el entendimiento de la intención (objetivo) que causa el movimiento observado" (Wolpert, Doya & Kawato, 2003, citado en Oztop, Kawato, & Arbib, 2006, pág. 256).

Se ha planteado la cuestión de cómo puede saber el sistema motor qué músculos se deben activar para realizar los movimientos durante la imitación, cuestión a veces conocida como problema de correspondencia (Brass & Heyes, 2005); o también el problema de “traducción”, sobre cómo la información visual se convierte en patrones motores (Rizzolatti, 2005).

La teoría ideo-motora asume que “...todas las acciones están representadas en la forma de ‘imágenes’ de la retroalimentación sensorial que producen dichas acciones y esas representaciones son usadas para iniciar y controlar los movimientos” (Brass & Heyes, 2005, pág. 2). El modelo de equiparamiento intermodal activo explica que la información visual sobre el movimiento observado es convertida en una representación “supramodal” que contiene información sobre los órganos implicados en el movimiento observado; esto permite que la información visual pueda ser equiparada con un patrón de movimiento. Sin embargo estos modelos no explican cómo ocurre dicha codificación (Brass & Heyes, 2005).

Se ha sugerido que el descubrimiento de las neuronas espejo puede aportar explicación sobre la capacidad de reconocer las acciones de otras personas “mediante la vía cerebral del mapeo de aquellas acciones sobre los planes motores del observador” (Grigaityte & Iacoboni, 2014). Incluso se ha propuesto que estas neuronas podrían ser la base neurofisiológica del mecanismo que permite la transformación de la información visual en comandos motores (Lago-Rodriguez et. al, 2013; Oztop et al., 2006; Umiltà et al., 2001).

Las neuronas espejo fueron descubiertas en experimentos con macacos. En ellos se observó que “las neuronas en el área F5 de la corteza premotora ventral disparan no sólo cuando los monos sujetan comida u objetos, sino también cuando los monos están observando a alguien más sujetando comida u objetos” (Grigaityte & Iacoboni, 2014, pág. 615). Esta activación se presenta aun cuando los sujetos sólo observen el inicio de la acción y se les oculte la conclusión (Umiltà, y otros, 2001). Además, se han encontrado neuronas espejo audio-

visuales "...que descargan no sólo para la ejecución u observación de una acción, sino también cuando esa acción sólo puede ser escuchada" (Kohler et al., 2002).

Oztop y colaboradores (2006) mencionan que aunque hay evidencia de que los seres humanos poseen un sistema o región de neuronas espejo, no está claro si su uso es para la imitación, el reconocimiento del estado mental o un simple reconocimiento de la acción, aunque el supuesto predominante es que sirven a la imitación. Desde la perspectiva de estos investigadores "la ubicación de las neuronas espejo indican que su función debe estar arraigada en el control motor" (Oztop et al., pág. 269).

En una parte importante de la literatura revisada (Brass & Heyes, 2005; Rizzolatti, 2005; Oztop et al., 2006; Umiltà et al, 2001) tanto en cuanto a lo que se refiere a los planteamientos sobre modelos teóricos de la imitación, como a la función de las neuronas espejo, cobra relevancia el hecho de que existe un vínculo entre la imitación y la experiencia previa. Se ha sugerido que, de acuerdo con el modelo del sistema de neuronas espejo para la imitación, este sistema podría aprender a reconocer acciones que ya están dentro del repertorio motor (Oztop, et. al, 2006). Además, las teorías generalistas sobre la imitación sugieren que "las neuronas espejo adquieren sus propiedades en el curso de la ontogenia como un efecto colateral de la operación del aprendizaje asociativo general y los procesos de control de la acción" (Brass & Heyes, 2005, pág. 1).

Rizzolatti (2005) señala que hay suficiente evidencia que sustenta la idea de que el sistema espejo es fundamental para la imitación, pero que las acciones imitadas ya forman parte del repertorio motor de los individuos: "el sistema espejo vincula la acción observada con la repuesta motora almacenada en la corteza premotora y permite una respuesta rápida y eficiente para esa acción" (Rizzolatti, 2005, pág. 71).

Para los generalistas, las experiencias previas y el aprendizaje son determinantes. Particularmente, el modelo de aprendizaje de secuencia asociativo plantea que "... el que una persona pueda imitar y qué tan bien pueda hacerlo dependerá de su experiencia pasada. Sólo podemos imitar una acción A, si hemos

tenido la oportunidad de formar un vínculo entre representaciones visuales y motoras de la acción A” (Brass & Heyes, 2005, pág. 4).

Brass y Heyes (2005) señalan que “...la activación cortical de las áreas implicadas en la imitación y los movimientos observados dependen de la experiencia eficiente adquirida para la realización de los movimientos observados” (Brass & Heyes, 2005, pág. 4). Estos autores mencionan el estudio de Haslinger y colegas (2005) quienes encontraron, mediante un estudio con resonancia magnética funcional, que durante la observación de la ejecución del piano, hubo activación más fuerte en pianistas que en un grupo de controles sin experiencia musical, pero que ambos grupos no mostraron diferencias durante la observación de una serie de movimientos oponentes entre el pulgar y el resto de los dedos. Finalmente, Brass y Heyes (2005) señalan que valdría la pena investigar qué tipo de experiencias son importantes en el desarrollo de la capacidad de imitación.

Con todo lo anterior, consideramos que la imitación es un recurso que ofrece importantes ventajas para el aprendizaje de un instrumento musical, pero que esta habilidad para imitar está estrechamente vinculada con las características de los patrones motores pre-existentes en el repertorio motor del individuo.

#### **1.4.2 Algunas dificultades motoras**

Durante un proceso de imitación, los niños tienen la capacidad de modelar su conducta en función del objetivo dado, aun cuando éste haya sido planteado a través de una observación que presenta patrones ambiguos de acción. Diversos estudios han demostrado que “los niños pequeños no son conductistas estrictos, adaptados sólo para el comportamiento superficial de la gente” (Meltzoff, 2002, pág. 630), sino que son capaces de juzgar un hecho en función del objetivo que se pretende alcanzar y, a partir de lo que observan, pueden imitar el comportamiento de otra persona para realizar una tarea dada, aunque aquella persona no lo haya conseguido en primer lugar (Meltzof, 2002).

La ejecución del violín exige una postura determinada, pero no se trata exclusivamente que el alumno imite una postura, como tampoco resulta coherente “forzar” a un alumno a adquirir una que no convenga a su constitución física.

Igualmente, se puede considerar la aparentemente simple tarea de sujetar el arco. Un hecho que pone en perspectiva esta dificultad es observar a los niños cuando están aprendiendo a escribir, y en principio deben aprender a cómo sujetar el lápiz adecuadamente para luego realizar los trazos convenientes a la escritura. Esto representa un primer “obstáculo” a vencer, y vemos que los niños emplean parte del tiempo tan sólo en lograr sujetar el lápiz en una posición que les permita realizar los movimientos para la escritura. No olvidemos que los niños han visto en repetidas ocasiones cómo los adultos sostienen un lápiz al escribir, pero el proceso de lograr sujetarlo apropiada y eficazmente para conseguir escribir, es, como Guyton lo describiera hace tiempo, “...lento y casi doloroso, que requiere de gran número de intentos y equivocaciones” (Guyton, 1987, pág. 184)

En un plano similar, pero implicando un grado de dificultad mayor, el niño que inicia su aprendizaje del violín está ante la situación de sujetar el arco de una manera específica que no es tan cercana a las formas cotidianas de manipulación de los objetos. De este modo, podría ser que, en efecto, las características particulares de la forma que asume la mano para sujetar el arco, no tengan correspondencia con la experiencia previa del alumno. Entonces, podemos observar que esta dificultad resulta mayor si consideramos el tamaño y el peso del arco y la forma en que éste debe ser sujetado por uno de sus extremos.

En el acto de sujetar un objeto intervienen una serie de elementos perceptivos, relacionados principalmente con el tacto (Goodwin & Wheat, 2004). Para poder manipular exitosamente un objeto, “el sistema de control motor debe contar con información precisa sobre parámetros tales como la forma del estímulo, su posición en contacto con la piel, y la magnitud y la dirección de la fuerza de contacto” (Goodwin & Wheat, 2004, pág. 56). Esta correlación de datos se realiza a través del sentido del tacto.

Algunos métodos de técnica inicial del violín, como el de Mathieu Crickboom (1994), muestran al principio del libro imágenes de la forma correcta de sujetar el arco y la forma correcta de sujetar el violín, así como la forma incorrecta de hacerlo. Incluso, tratados tan antiguos como el de Leopold Mozart, incluyen este tipo de apoyo visual (Oh, 2005). Se trata de representaciones visuales que posteriormente son reforzadas por el profesor mediante la ejemplificación de la misma en su propia ejecución, y la corrección de la postura que asume el alumno y los movimientos del arco.

Sin embargo, planteamos que sujetar el violín y el arco correctamente, y manipular precisamente éste último, dependen en gran medida de la información percibida mediante el sistema háptico, y no necesariamente de la información percibida visualmente.

La producción de las alturas tonales específicas que se requiere para la ejecución de una pieza musical, se abordan después de que el alumno ha conseguido: (1) asumir una postura general del cuerpo, (2) controlar la aprehensión del arco y el peso ejercido (presión), (3) lograr guiar y distribuir los movimientos para la producción del sonido deseado, y (4) tener la habilidad de coordinarlos para un ritmo determinado. Sólo entonces podrá comenzar su tarea de afinar las alturas tonales correctamente.

Esta tarea corresponde a la mano izquierda y depende tanto de la agudeza auditiva del ejecutante como de la habilidad de articular movimientos precisos con sus dedos en una distribución espacial específica sobre el diapasón (Konzac et al., 2009). En este caso, también es posible encontrar ejemplos visuales de la estructura de la mano izquierda, como los del libro de Crickboom antes mencionado, pero para esta tarea, aunque la disposición que deben asumir los dedos parece muy sencilla, la conducta motora exige niveles de precisión muy altos a fin de conseguir los sonidos correctamente afinados. De hecho, la guía visual no es suficiente, tanto por la perspectiva que tiene el ejecutante de su mano izquierda sobre el diapasón del violín, como por las distancias tan pequeñas que se manejan en estos movimientos. En consecuencia, el que el alumno imite los

movimientos que hace su profesor con los dedos de su mano izquierda, no garantiza la precisión en sus propios movimientos.

### **1.4.3 Pro-alimentación y retroalimentación**

Mediante un proceso de retroalimentación auditiva, el músico puede reconocer que un sonido no corresponde con el que previamente se había concebido y en función del sonido que se obtuvo, realiza los ajustes motores pertinentes (Zatorre, Chen, & Penhune, 2007). El sonido se usa para ajustar la acción motora, pero el sistema de control motor necesita reconocer las características del movimiento que ha sido ejecutado como un referente para poder realizar el ajuste conveniente.

Como el sistema de control motor necesita de las características del estímulo del objeto manipulado (Goodwin & Wheat, 2004) y éstas son percibidas a través de los mecanismos de percepción háptica (Klatzky, 2002) las señales hápticas son una fuente indispensable de retroalimentación.

Entonces, cuando el sonido preconcebido no corresponde con el resultante, el efecto es detectado a través del sistema sensorial auditivo, pero la modificación del sonido obedece a un cambio en el trazo de los movimientos que el cuerpo realiza al manipular el instrumento musical, lo cual está basado en las señales hápticas recibidas de la interacción cuerpo-instrumento.

Se ha estudiado considerablemente cómo la retroalimentación auditiva es de primera importancia en diferentes sentidos, pero desafortunadamente hay muy poca información sobre los efectos de la percepción háptica en la ejecución instrumental (Baader et al., 2005), a pesar de que los últimos años ha habido un creciente interés en las interacciones entre la audición y el control motor (Zatorre et al., 2007).

La perspectiva de las teorías actuales sobre la producción de movimientos se enfoca tanto en mecanismos de señales predictivas como en las directrices de

la retroalimentación sensorial en el ajuste de las representaciones sensomotoras. Y podría ser objetable que en secuencias rápidas no hay oportunidad para la retroalimentación somatosensorial (Baader et al., 2005; Rabin & Gordon, 2004).

El conjunto de señales predictivas constituye la pro-alimentación y se le puede describir como “el efecto anticipado de alguna situación que aún no ha tenido lugar; el efecto que genera la causa del presente que –de no haber sido anticipada- no se hubiera producido [ya que] el sólo hecho de haber formulado alguna previsión, modifica el futuro.” (Ferrero & Martín, 2010, pág. 5). La diferencia básica entre la retroalimentación y la pro-alimentación está en el factor temporal. Mientras que la retroalimentación opera sobre la información pasada, la pro-alimentación trata de predecir un acto.

El patrón de movimientos observado en violinistas ha resultado ser sorprendentemente consistente. En el estudio de Baader et al. (2004), el registro de la trayectoria de los movimientos en la ejecución de una secuencia melódica simple reveló “una impresionante consistencia en los componentes más pequeños del movimiento en ejecuciones repetitivas. Esto puede indicar que, al menos, para la simple secuencia de tonos, el control está limitado a mecanismos de pro-alimentación” (Baader et al., 2004, pag. 443).

Aunque es probable que el músico no sea consciente del mecanismo pleno que detona estos patrones, el sistema de control motor actúa por medio de mecanismos de pro-alimentación que muy probablemente mantienen un vínculo con el sistema auditivo (Zatorre, Chen, & Penhune, 2007).

La cuestión importante aquí es cómo estos patrones de movimiento lograron tal consistencia. Al parecer, con la experiencia, los movimientos adquieren cierto grado de automaticidad, pero, en los inicios de un proceso de aprendizaje, las señales de los estímulos son atendidas con una carga importante de atención con el fin de lograr codificar los movimientos correctos y desechar los incorrectos (Kellman & Garrigan, 2009). Por lo tanto, es posible que la atención a la percepción háptica sea relevante en la codificación y la consolidación de estos

patrones de movimientos, de tal forma que los mecanismos de pro-alimentación puedan posteriormente detonar la conducta precisa para el éxito de una tarea.

Los trazos de movimientos observados en el estudio de Baader y colaboradores (2004) mostraron tal consistencia, al grado de que cada repetición del movimiento podría parecer una “copia calca”. Pero cada individuo posee un trazo muy particular y podría ser que la consolidación de estos patrones de movimientos estén más allá de una cuestión imitativa, y que más bien pudieran depender fuertemente de mecanismos de retroalimentación y pro-alimentación háptica.

### **1.5 Perspectiva háptica en el mecanismo de ejecución del violín**

Es indiscutible que el papel de la retroalimentación auditiva es sumamente importante en la ejecución musical pero, como se ha venido señalando, la percepción háptica juega un papel fundamental y, sin embargo, en comparación con la audición, no hay mucha información sobre el papel que tiene este tipo de señales durante el aprendizaje. (Baader, et al., 2004)

Los estudios han aportado valiosa información acerca de cómo las aferencias táctiles “...pueden codificar delicadas fuerzas en la punta de los dedos” (Baader et al., 2005) y que los seres humanos son capaces de distinguir pequeños cambios en la curvatura de los objetos con sólo un dedo inmovilizado (Goodwin & Wheat, 2004). Baader et al. (2005) sugieren que a pesar de que la afinación precisa llega a ser automática con el aprendizaje, la sensibilidad de los dedos aún es importante para la conformación de representaciones entre el tacto y el oído, y que la afirmación de que una ejecución rápida no da lugar a la retroalimentación, somatosensorial podría no ser totalmente cierta.

Se ha encontrado evidencia de que la ausencia de retroalimentación táctil durante movimientos rápidos de los dedos al teclear textos deviene en un aumento en el número de errores (Rabin & Gordon, 2004). Rabin y Gordon (2004) encontraron que al suprimir la retroalimentación táctil en expertos en tecleo de

textos, el número de errores encontrados en las sentencias escritas aumentó, en comparación con la primera ejecución realizada sin suprimir la señal táctil. A partir de sus resultados sugieren que las claves táctiles proporcionan información fundamental sobre la ubicación inicial de los dedos durante el tecleo, la cual es necesaria para realizar movimientos precisos.

Trasladando las observaciones sobre la percepción háptica al contexto de la ejecución musical instrumental, podría pensarse que un entrenamiento en términos de percepción háptica, que implique la estimulación de las terminales sensitivas de las extremidades, la palma de la mano y los dedos, sea una estrategia de pre-entrenamiento que introduzca de manera más efectiva a los alumnos que desean aprender a tocar un instrumento musical. El supuesto es que en la medida en que el alumno disponga de una mayor sensibilidad de respuesta en sus manos, el mismo podrá observar un manejo más efectivo de su instrumento. Por tanto, consideramos necesario realizar una descripción de los elementos del mecanismo motor de ejecución del violín.

### **1.5.1 Postura**

La postura está determinada tanto por la constitución material del instrumento, como por la constitución física del aprendiz. Probablemente, no se enseña a un alumno de violín de 4 años, a tocar con un violín de medida 4/4 (tamaño convencional, es decir, el tamaño para el adulto), sino que se proporciona un tamaño de violín adecuado a su talla (en este caso, podría ser un violín 1/8).

La atención que se brinda a esta situación responde a un criterio lógico de observación de las características físicas de los alumnos y su relación con el instrumento. En la descripción que presenta Ramón Pelinski (2004) sobre una primera clase de violonchelo, el profesor inicia por enseñar la postura correcta en el instrumento:

“Después del saludo de rigor, el maestro coge su violonchelo, se sienta en postura de ejecución frente al aprendiz, y comienza

mostrándole las posiciones correctas del cuerpo requeridas por la naturaleza del instrumento: cómo sentarse, coger el instrumento y el arco, mover el brazo derecho, posicionar la mano izquierda y los dedos sobre las cuerdas, afinar el instrumento, etc.” (Pelinski, 2004, p. 22).

En este relato, se puede observar cómo la explicación de la postura para tocar el instrumento está referida a partir de la experiencia corporal del profesor. Básicamente, la explicación está centrada en la “naturaleza del instrumento” y en la “naturaleza del profesor”, dejándose prácticamente la tarea en manos de la imitación. Pero, ¿qué sucede si lo que resulta funcional para el profesor, no lo es para el alumno? Para conocer los factores que intervienen en adquirir la postura correcta según sea el instrumento, es adecuado conocer su sustrato biológico, el que se halla precisamente en la percepción háptica.

El organismo cuenta con estructuras biológicas (receptores) que proporcionan al cerebro la información necesaria para la activación de su mecanismo motor. A través de la percepción, convertimos la información sensorial en imágenes perceptivas que contienen información sobre la estructura y la causalidad de nuestro entorno (Albright & Neville, 2002). Esas imágenes perceptivas se almacenan en el cerebro como “disposiciones o potencialidades latentes para ser reconstruidas” (Pelinski, 2004, p. 18) y son empleadas cuando cumplimos con los requerimientos de una tarea determinada; por ejemplo, tocar un instrumento musical.

En la adquisición de una postura que permita movernos apropiadamente en el espacio para cumplir un objetivo dado están implicadas señales visuales, propioceptivas y motoras, que nos permiten conocer nuestro cuerpo en relación con el entorno (Sekiyama, 2006) o, en este caso, en relación con un objeto próximo: un instrumento musical. Con estos recursos, el individuo puede acceder a la creación de patrones de posición en relación a una circunstancia dada. Esto podemos exponerlo en términos de *esquema corporal*. Pelinski (2004) distingue tres niveles en los que el cuerpo actúa en la experiencia de aprendizaje musical:

(1) esquema corporal innato, (2) lugar de desarrollo de hábitos y habilidades motrices y (3) sitio de la emoción musical.

El esquema corporal del alumno es la forma según la que expresa “cómo su cuerpo está en el mundo y le permite realizar los movimientos propios de su especie”. Luego, el instrumento se concibe como complementario a sus elementos corporales y se asume construido para este fin, dentro de la expresión musical (Pelinski, 2004).

Desde la perspectiva del alumno, no es posible realizar un monitoreo visual completo de la postura, pero las señales propioceptivas le permiten formarse un esquema de la posición que asume su cuerpo durante la ejecución de la tarea, y la retroalimentación le permite realizar los cambios en las angulaciones de las articulaciones cuando éstas no describen la configuración dada para la posición del violinista. Por tal motivo, se espera que la habilidad perceptual para detectar estas señales propioceptivas, al menos en el inicio del aprendizaje, sea un constante flujo de información que permita el monitoreo de la posición ya que, al ser una posición ajena al cuerpo, se necesita de una práctica consistente para consolidar el efecto de esa postura correcta y, por lo tanto, la retroalimentación es fundamental para detectar las variaciones posturales y promover los ajustes pertinentes.

Aunado a lo anterior, la tarea de sostener el violín constituye la primera fase de la tarea de aprendizaje. Mientras la propiocepción proporciona la guía para mantener la postura, la exterocepción permite la identificación de los puntos de contacto del violín con el cuerpo para así poder generar la postura y la aprehensión correctas del violín. Esto último incluye el manejo de dos instrumentos, donde el arco implica el manejo de un instrumento distal (Konzac et al., 2009) mientras que el violín descansa en una posición más próxima.

Dado que el violín permanece inmóvil descansando sobre puntos definidos del cuerpo, la adaptación a los puntos de contacto, al parecer, resulta en una tarea más sencilla de lo que implica la del arco.

### **1.5.2 Aprehensión y control del arco**

Se ha descrito que el ser humano puede percibir los componentes de la fuerza de contacto que hay durante la experiencia de sujetar un objeto (fuerza normal y fuerza tangencial), que tiene la facultad de percibir sus variaciones y que las respuestas de los nervios aferentes son moduladas por la dirección de estas fuerzas de contacto (Goodwin & Wheat, 2004).

Así, la aprehensión del arco requiere de una atención adicional a la que ocupa sostener el violín, pues durante los movimientos de arcada, los puntos de contacto de las falanges medias con el arco pueden sufrir modificaciones provocando una desestabilización de la posición. Al alzar un objeto, se producen señales procedentes de las terminaciones nerviosas cutáneas y la fuerza de aprehensión necesaria para mantener estable el objeto, pero cualquier ligero deslizamiento puede ser detectado por los receptores “produciendo ajustes correctores de la fuerza de aprehensión” (Westling y Johansson, 1987, citado en Klatzky, 2002). Así, los cambios en los puntos de contacto con el arco podrían estar siendo interpretados como deslizamientos y, dada la naturaleza ajena a lo cotidiano de la forma de aprehensión del arco, el efecto de corrección, supuestamente necesario, conlleva un desajuste de la posición inicial.

Desde esta perspectiva, resulta lógico que el aprendiz sienta que “se le cae el arco” incluso cuando pareciera que ya se ha dominado la posición de los dedos sobre la vara del arco y la flexión pertinente del pulgar que soporta el peso de éste (esto es, el contrapeso).

Cuando se desliza el arco sobre las cuerdas, incluso una pequeña distancia recorrida provoca cambios en los puntos de contacto entre la piel de los dedos que sujetan la vara del arco y, por lo tanto, hay un cambio de dirección de la fuerza de contacto que afecta la posición de aprehensión asumida en un principio. Además, ocurre modificación en el estiramiento de la piel que puede proveer información que junto con información propioceptiva contribuya a la descripción de la posición de la mano y los dedos (Johnson, 2001) que igualmente podría diferir de la posición inicialmente asumida.

Entonces, se puede suponer que para mantener una posición estable en la colocación de los dedos sobre la vara del arco y el pulgar como contrapeso, sería necesaria la adaptación de los puntos de contacto a ese pequeño ámbito de desplazamiento durante el movimiento de la arcada. Y parece que el aprendiz debe reconocer con precisión los puntos de contacto de sus dedos con la vara del arco y administrar correctamente las fuerzas buscando evitar deslizamientos, pero sin excederse, ya que esto podría ir en detrimento de la libertad de movimiento de la cadena articular del brazo (Konczak et al., 2009). En todos los casos, las señales propioceptivas y las exteroceptivas interactúan para dar estabilidad a la posición del arco y mantener la posición correcta del brazo en los movimientos de arcada.

Para mover el arco en su correcta amplitud, se necesita de una serie de requerimientos que, si bien, en su análisis cinemático parecen complicados, el sistema de control motor resuelve mediante las señales hápticas. En el estudio de Konczak et al., (2009) se realizó una prueba con ejecutantes novatos, avanzados y expertos, con el fin de observar el comportamiento de la cadena articular del brazo derecho y tratar de determinar cuál era la estrategia que permitía una trayectoria rectilínea del arco en forma perpendicular al violín, la cual preferentemente debe tener un ángulo de  $90^\circ$  en relación a la línea horizontal que describe el violín y el movimiento perpendicular del arco. Esos autores encontraron que la estrategia observada es una disminución del ángulo articular del hombro que permite el movimiento sagital del mismo, con lo cual se consigue un movimiento consistente del arco.

Ahora bien, si esta estrategia es la adecuada, el problema es cómo resuelve el cuerpo la tarea. Para esto, resulta indispensable una atención a las sensaciones derivadas de los movimientos de arcada para seleccionar sólo aquellos movimientos que son relevantes y eliminar los que no lo son, principio básico del aprendizaje perceptual (Kellman & Garrigan, 2009). No obstante, con el fin de conseguir esto, en el principio de aprendizaje, es necesaria una carga de atención importante a lo que debe ser el movimiento pertinente y aprender las sensaciones derivadas de éste para poder reproducir ambos en cada repetición.

Esto, sin duda, requiere de una importante habilidad propioceptiva y del control de la aprensión del arco durante la arcada, para mantener el equilibrio de la posición y la precisión de los desplazamientos del arco sobre las cuerdas del violín.

### **1.5.3 Producción de alturas tonales**

La alta sensibilidad a los cambios en los parámetros del contacto con un objeto proporciona una ventaja para la mano izquierda. Dado que las distancias en las posiciones de los dedos al dar las alturas tonales son realmente muy pequeñas y exigen precisión, el umbral de percepción del cambio significa un indicador importante en la corrección de las distancias y un referente de la adquisición de la ubicación espacial de los dedos sobre la cuerda y el diapasón del violín. Todo esto permite la afinación correcta, determinada por la precisión en la ubicación de los dedos de la mano izquierda.

Entonces, toda variación en las distancias provocada por un desplazamiento del dedo, por muy pequeño que ésta sea, podrá ser detectada y en consecuencia corregida, no sólo con referencia en el sonido producido incorrectamente sino también por retroalimentación háptica.

Por lo general, resulta imposible diferenciar (en términos de procesamiento neural) las señales provenientes de aferentes cutáneos de las que provienen de aferentes propioceptivos (Goodwin & Wheat, 2004). Aunque se conoce que su procesamiento final es diferente, no es claro cuál es el punto en el que se ramifica la vía y, además, parece ser que este punto es diferente dependiendo del tipo de tarea que se realice. (Goodwin & Wheat, 2004). En cualquier caso, la información obtenida es crucial tanto para la percepción táctil como para la manipulación del objeto. El organismo responde a esos mismos estímulos y modifica su comportamiento en función de ellos.

En todas las tareas que involucran el aprendizaje de un instrumento musical, la percepción es la vía para construir *imágenes* o representaciones que nos serán útiles en la práctica (Pelinski, 2004). Por lo tanto, las características de

esas representaciones influirán en la forma de ejecutar una tarea (Ahissar et al., 2009; Kellman & Garrigan, 2009).

### **1.5.3a Reconocimiento audio-motor**

Aunque el foco de esta investigación se centra principalmente en la percepción háptica, y, dentro de ésta, en la percepción vibro-táctil, se debe abordar también un tema fundamental para la cognición motora, en cuyas bases se encuentra un estrecho vínculo con la percepción auditiva: el reconocimiento audiomotor.

Estudios previos (Zatorre, Chen, & Penhune, 2007; Lahav & Saltzam, 2007), han señalado que en la ejecución de una tarea musical, existe una relación entre la actividad motora y la actividad auditiva. Dichos estudios plantean la hipótesis de que existen estructuras neurales que mediatizan la pro-alimentación de la interacción auditiva-motora durante la producción de la música. Esto es, que antes de producirse la respuesta motora, existe una referencia auditiva “imaginaria” que media su producción (Zatorre, Chen, & Penhune, 2007).

En el estudio realizado por Lahav y Saltzam (2007), se expone que existe un reconocimiento audiomotor cuando alguien que ha aprendido a tocar una pieza musical escucha un fragmento de dicha pieza y que, en ausencia de movimiento en su cuerpo, en su cerebro hay activación de las áreas motoras que corresponden al ejercicio de esa tarea. Esto no sucede cuando esta persona escucha algún otro fragmento que no ha tocado nunca. Además, ese estudio explica que el nivel de reconocimiento audiomotor es bastante alto, pues se suscita aun cuando el estímulo musical sólo corresponda a una porción pequeña de la pieza musical aprendida.

Por otro lado, un hecho significativo es que este reconocimiento ocurre incluso para tareas musicales recientemente adquiridas. Esto fue uno de los puntos principales de la investigación, pues la experimentación se llevó a cabo usando una pieza musical enseñada a participantes adultos en un período de

entrenamiento de sólo 5 días. Además, se descubrió que, ante un nuevo motivo melódico que contuviera las mismas notas de la pieza recién aprendida, existía una respuesta de reconocimiento audiomotor, lo que evidencia un vínculo bastante fuerte entre lo auditivo y el ejercicio motor.

Estos resultados apoyan sustancialmente el supuesto de la forma en que se adquiere la afinación en el violín, lo que se refiere al efecto de “escuchar imaginariamente” el sonido que desea producirse para lograr un movimiento preciso de los dedos y así obtener una afinación precisa. Por lo tanto, el resultado de una afinación correcta puede estar relacionado con ese sonido imaginado. Esto puede ser explicado con las evidencias encontradas que sugieren que la imaginación musical tiene estos dos componentes: el auditivo y el motor. (Zatorre, Chen, & Penhune, 2007).

### **1.5.3b Interacción háptica-auditiva en el reconocimiento audio-motor**

Durante el aprendizaje de las estructuras que describen las posiciones de la mano izquierda en la ejecución del violín, puede ser de particular importancia el concepto de *pro-alimentación auditiva* como clave en la guía del movimiento que corresponde a cada altura tonal.

En la investigación sobre el reconocimiento audiomotor de Lahav y Saltzman (2007), se realizó un estudio con adultos no músicos que aprendieron una pieza en poco tiempo, y en esas condiciones la respuesta fue positiva. Este hecho enfatiza la importancia de atender a un proceso auditivo-motor en la adquisición de habilidades motoras de la mano izquierda desde el inicio del aprendizaje, pues ésta será una base sustancial cuando se busca lograr un mejor desempeño en la tarea de afinar correctamente las alturas tonales en la ejecución de las piezas musicales durante toda la vida de práctica con el violín.

Para que el reconocimiento audio-motor resulte efectivo, se debe disponer de una memoria sobre la afinación correcta del sonido y la respectiva colocación precisa de los dedos en el diapasón del violín, y así lograr que la activación audio-

motora sea útil: de lo contrario, podría suscitarse un reconocimiento audiomotor con afinación imprecisa.

En este punto, son determinantes las señales propioceptivas y exteroceptivas actuando hacia la correcta estructuración de la mano izquierda. Cuando se ha conseguido producir una altura tonal determinada, el sistema de ejecución debe memorizar la estructura de los dedos para su posterior reproducción. Aquí, la propiocepción provee la información esencial sobre las posiciones de los dedos, en un tipo de sub-esquema corporal que se refiere concretamente a la mano izquierda. Pero además, la información exteroceptiva como la tensión de la cuerda, el contacto con la superficie del diapasón y la sensación vibratoria, podría estar proporcionando información háptica adicional que pudiera ser empleada en la memorización de la ubicación precisa de los dedos sobre la superficie del diapasón. Por ejemplo, se ha observado que la información sobre el estiramiento en la piel favorece notablemente el reconocimiento de la posición de los dedos y sus movimientos (Collins, Refshauge, Todd, & Gandevia, 2005)

## **1.6 Atención consciente: focos de atención durante la acción motora**

Se ha venido señalando la importancia que tienen las señales hápticas en la cognición motora y sus implicaciones en el aprendizaje del violín. Por lo tanto debe abordarse hasta qué punto estas señales necesitan ser consideradas dentro del plano de la atención consciente.

Hay investigaciones que se han ocupado de medir los efectos que producen los focos de atención en el proceso de adquisición de habilidades motoras. Un foco de atención interno se refiere al momento en el que la atención del ejecutante recae en la forma en que se ejecuta el movimiento, mientras que en un foco externo, la atención se centra en los efectos que produce la acción de realizar el movimiento. (Peh, et al., 2011). Adicionalmente, se concibe los focos de atención como distales o proximales (Lohse, 2012): en el foco distal, la atención del

individuo recae en un blanco lejos de su cuerpo; en el foco proximal, la atención está sobre un punto que está más cercano al cuerpo, y según el contexto de la tarea, este punto puede referirse al contacto del cuerpo con algún objeto, sin que necesariamente la atención esté sobre el movimiento en sí mismo.

Con base en los resultados de las investigaciones se ha sugerido que un foco de atención externa proporciona efectos benéficos a los individuos con cierta experiencia en las tareas y que incluso un foco interno puede resultar perjudicial (Lohse, 2012; Peh, et al., 2011). Lohse (2012) menciona algunas teorías que señalan que un foco de atención interna es contraproducente conforme la ejecución empieza a ser más automática y que, de acuerdo a la hipótesis de la acción restringida, "...un foco interno induce a una limitación *top-down* (de arriba hacia abajo en el sistema motor neural) que de otro modo está implícita en el comportamiento motor" (Lohse, 2012, p.22). Esta hipótesis de acción restringida propuesta por Wulf y sus colaboradores (2001, citado en Peh, et al., 2011) sugiere que "...cuando los participantes utilizan un foco de atención interno, podrían restringir o impedir los procesos de control automático que normalmente controlarían un movimiento"... pero que un foco externo permite que el sistema motor "...explote los procesos de auto-organización inherente [...] para regular los movimientos con pocos procesos conscientes" (Peh, et al., 2011, p.73).

Sin embargo, en el caso de los aprendices iniciales, se ha sugerido que un foco de atención interna resulta benéfico e incluso necesario. La mayoría de las teorías sugieren que en la etapa inicial del aprendizaje el individuo focaliza su atención "...en el mecanismo de sus propios movimientos antes de desarrollar una representación de la secuencia, la cual les permita actuar con la fluidez, la automaticidad y la efectividad de los expertos" (Lohse, 2012, p.2).

Esta diferenciación entre novatos y expertos no mantiene una delimitación estática, pues en las investigaciones se ha encontrado que "...el foco de atención óptimo cambia como función de la experiencia, los novatos se benefician de un foco más proximal (pero no necesariamente interno) mientras que los expertos se benefician de un foco más distal" (Lohse, 2012, p.13), y que, incluso para

individuos con cierta experiencia, “las instrucciones con focos internos de atención pueden también proveer eficacia en tareas donde la forma del movimiento requerida para producir un resultado inequívoco es altamente estable” (Peh, et al., 2011, p.73). Esto último cobra relevancia en la observación de las tareas motoras involucradas en la ejecución del violín, en tanto que la demanda de precisión sea alta, y una modificación del movimiento puede significar una variación importante del resultado sonoro.

Peh y sus colaboradores (2011) mencionan que uno de los propósitos más frecuentes de la enseñanza es maximizar el resultado de las ejecuciones y por lo tanto, el propósito de la retroalimentación que proporciona el profesor es promover mejoras en los patrones de coordinación de los movimientos que los aprendices realizan, pero “para iniciales totales, una solución de movimiento puede no existir y las instrucciones de focalización interna pueden ser de ayuda en el establecimiento de un patrón de coordinación básico para ser desarrollado con la práctica” (Peh, et al., 2011, p-76). Los autores continúan diciendo que este patrón de movimiento puede ser específico para cada individuo, y en el momento en el que este patrón sea adquirido, los entrenadores pueden enfatizar la atención externa.

Finalmente, es importante señalar que, ya sea, se trate de un foco de atención proximal, no precisamente interno, que es benéfico en la adquisición de habilidades motoras, o un foco interno que promueva la conformación de patrones de movimientos inexistentes, a ambos tipos de focos de atención subyacen habilidades de percepción propioceptiva (foco interno) y exteroceptiva (foco proximal) que median la adquisición de habilidades motoras.

El foco de atención cambia conforme progresa el aprendizaje y no en todas las tareas este cambio es específicamente observable, o puede ocurrir de forma tan rápida que haga imperceptible el paso de una etapa a otra (Peh, et al., 2011). Posiblemente, la diferencia esté determinada por el nivel de complejidad de cada tarea, y podría ser que en tanto más difícil sea la tarea, más tiempo podría tomar la transición.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la intervención experimental realizada dentro del contexto de un estudio de caso. Primeramente se presenta una descripción general de la prueba aplicada, los requerimientos de la misma y la tarea-entrenamiento cuya finalidad fue promover la focalización de la atención en la sensación vibro-táctil. Posteriormente se describen los métodos y recursos (programas de análisis estadístico y de análisis acústico) utilizados para el análisis de los datos (audios).

#### 2.1 Descripción general de la prueba

Se realizó un estudio de caso con 6 alumnos de violín en nivel inicial, del Centro de Iniciación Musical Infantil (CIMI) de la Universidad Veracruzana, a quienes se les aplicó una prueba para observar el posible impacto de focalizar la atención en la sensación vibro-táctil, en la afinación de una octava de la escala diatónica de Re mayor (escala de Re mayor).

En esta prueba se considera específicamente la *atención* sobre el estímulo vibro-táctil y no sobre el estímulo en sí mismo. Esta determinación se tomó debido a que los alcances de la investigación no permiten la valoración directa del papel individual que tiene la sensación vibro-táctil en la actividad motora.

En la prueba se entrenó a 3 de los participantes, durante 4 días, en una tarea (tarea-entrenamiento) que exige focalizar su atención en un estímulo vibro-táctil para después tocar la escala Re mayor. Esta tarea-entrenamiento consistió en la exploración de unas superficies de acrílico que contenían una figura en relieve texturizado. Durante este proceso de exploración, se les presentaron 6 tonos de violín, los cuales dictaron el pulso para el movimiento exploratorio háptico.

Para contrastar resultados, el resto de los participantes realizó la tarea-entrenamiento con superficies que contenían figuras en relieve liso (sin texturizado). Por lo tanto, recibieron la misma cantidad de exposición auditiva previa a la ejecución, sin una estimulación vibro-táctil.

La exploración de las formas texturizadas proporciona la estimulación vibro-táctil durante la tarea-entrenamiento y su único propósito es promover la atención a este tipo de estímulo cutáneo. El interés principal de esta prueba fue que los participantes atendieran la sensación vibratoria táctil producto de cada ejecución de la escala de Re mayor.

Los resultados de estas ejecuciones fueron analizados para determinar la presencia de una posible mejoría en el rendimiento, considerando: (1) el comportamiento de la desviación estándar de la frecuencia fundamental en hz de la afinación de cada tono de la escala de Re mayor a largo de las sesiones, (2) la comparación de cada tono con el tono correspondiente de la escala temperada y (3) la precisión de cada intervalo comparado con los intervalos de la escala temperada.

## **2.2 Requerimientos de la prueba**

La prueba se realizó en las instalaciones del Centro de Iniciación Musical Infantil (CIMI) de la Universidad Veracruzana, durante el período vacacional, ya que los participantes no deberían realizar prácticas de violín durante los días de la prueba, con la finalidad de aislar los resultados del desempeño de cualquier efecto producido por la práctica cotidiana.

Se utilizó un aula cerrada y un equipo de grabación que respondiera a las implicaciones acústicas generales del lugar.

### 2.2.1 Población

Los participantes fueron 6 estudiantes de violín de entre 8 y 11 años de edad, con una experiencia de práctica de 6 meses a 3 años. En la Tabla 1 se muestra la información sobre las edades y la experiencia de los participantes, y el tiempo de práctica semanal durante el periodo vacacional.

Tres participantes se destinaron a la tarea-entrenamiento con estímulos en relieve texturizado, a quienes, para la ejecución de la escala de Re mayor, se les indicó atender la sensación vibro-táctil; ellos son los participantes con foco vibro-táctil (fV). Los otros 3 participantes realizaron el entrenamiento con estímulos en relieve liso, quienes se estima asumieron un foco auditivo durante la ejecución (no se les dio instrucción adicional para conservar su forma de ejecución lo más cercana a la práctica cotidiana); éstos son los participantes de foco auditivo (fA).

Participante	Edad	Experiencia	Práctica vacacional (horas por semana)
NC	10	2 años	4
KA	8	1 año	0.5
JC	8	6 meses	6
AX	9	6 meses	4
MJ	9	3 años	5
EB	11	3 años	3

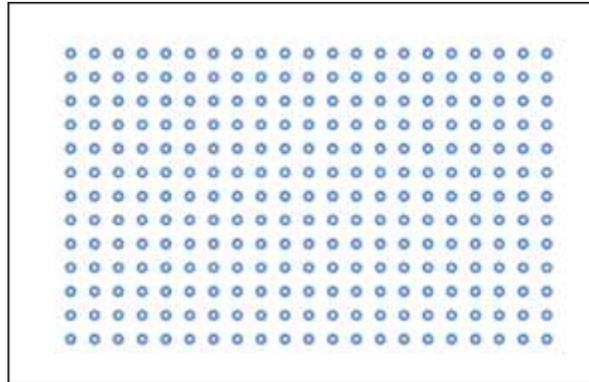
**Tabla 1.** Información de los participantes. La edad se expresa en años y la experiencia corresponde al total de años de práctica con el violín. Toda información fue proporcionada por los padres de los participantes.

### 2.2.2 Materiales y equipo

*Superficies de exploración: estímulos vibro-táctiles y estímulos lisos.*

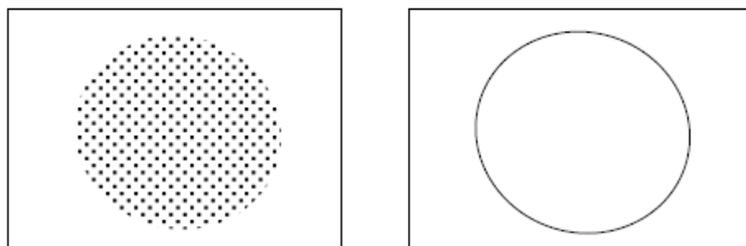
Los estímulos vibro-táctiles consisten en placas rectangulares (25 x 10 x 0.5 cm) de acrílico, con una figura en relieve texturizado. El texturizado se elaboró a partir de retículas hechas con siluetas de puntos equidistantes (diámetro del círculo: 1 mm); estas retículas fueron grabadas sobre el acrílico con técnica láser. La Figura 3 muestra un ejemplo de retícula (consultar apéndice A, para más especificaciones sobre la fabricación).

Se elaboraron 6 diferentes retículas con variación en la distancias entre los puntos (separaciones entre los puntos: 1 mm, 1.2 mm, 1.4 mm, 1.6 mm, 1.8 mm, 2 mm), que a su vez generaron 6 diferentes texturas. Las 6 texturas resultantes fueron pareadas con 6 tonos de violín que constituyen los estímulos auditivos. (Correspondencia de tonos y texturas en Apéndice B).



**Fig. 3.** Ejemplo de retícula empleada para la fabricación de estímulos vibro-táctiles.

Se emplearon 4 formas (ver apéndice A), y de la combinación de éstas con los 6 entramados se obtuvieron un total de 24 estímulos vibro-táctiles. Los estímulos en relieve liso son iguales en las dimensiones antes descritas y las formas empleadas, pero se usó un relieve liso de 0.5 mm de altura. Por tanto, se obtuvieron 4 estímulos sin componente vibro-táctil.



**Fig. 4.** A la izquierda un gráfico de un estímulo en relieve texturizado y a la derecha en relieve liso.

Aunque el total de estímulos lisos sea menor que los estímulos texturizados, su forma de aplicación conserva el propósito de mantener la atención auditiva durante la exploración, considerando que la intención es proporcionar un contexto auditivo igual en ambos grupos, previo a la ejecución de Re mayor.

### *Estímulos auditivos.*

Los estímulos auditivos fueron la guía para la exploración de las superficies. Cada estímulo tenía una duración de 12 segundos, y estaban constituidos por 12 pulsos de 60 *bits* por minuto, organizados en 4 pulsos de preparación y 8 pulsos para la exploración; los primeros 4 eran sonidos percutidos o *chasquidos* (sin altura tonal) y los siguientes 8 constituían la sucesión de tonos de violín. Había un total de 6 estímulos auditivos, uno para cada tono de violín seleccionado (Mi, Fa#, Sol, Si, Do#, Re' [índice 6]). Los tonos de *Re* (índice 5) y *La* fueron omitidos al no tener pisada en la digitación en la ejecución de la escala de Re mayor para esta prueba. Cada estímulo estaba conformado por un sólo tono que se repetía en 8 pulsos (ver Figura 5).



**Fig. 5.** Estructura rítmica de un estímulo auditivo (aquí para el tono de Do sostenido).

Estos estímulos fueron elaborados utilizando tonos reales de violín grabados en el Laboratorio de Informática Musical y Música Electrónica (LIMME) de la Escuela Nacional de Música de la UNAM. Se seleccionaron los 6 tonos más cercanos a las correspondientes con las frecuencias establecidas por el sistema temperado. Estos tonos fueron analizados con el programa *Praat*, versión 5.3.73, para el análisis de la frecuencia.

### *Equipo.*

La tarea-entrenamiento fue registrada con una videocámara Sony HD, para la ejecución de la escala; el audio fue grabado con una pastilla Fishman V-100 para violín. El uso de este método de grabación de audio obedece a que éste permite el registro directo del instrumento y evita las implicaciones de la grabación en espacios no diseñados específicamente para grabaciones, con lo que se obtiene una señal libre de efectos acústicos indeseables. La señal auditiva fue enviada a los participantes por medio de unos audífonos con bloqueo de ruido, Shure SE 215.

El mobiliario para la prueba-entrenamiento consistió en una silla y una mesa para la exploración con recubrimiento plástico que permitía la fijación de los estímulos hápticos sobre la superficie de la mesa. Para la oclusión visual, se utilizaron unas gafas con las lentes cubiertas.

Los violines permanecieron a resguardo del investigador y se afinaron antes de cada sesión con la aplicación de *n-TrackTuner* para dispositivos Apple, con referencia al sistema temperado.

### **2.2.3 Tarea-entrenamiento**

Consiste en identificar (con visión ocluida) la forma contenida en cada superficie, explorándolas con la punta de los dedos de la mano izquierda (dedos índice, medio y anular). Se emplea un movimiento exploratorio lateral para recorrer cada superficie, procurando movimientos uniformes, siguiendo un pulso metronómico de 60 *bits* por minuto.

Como cada superficie puede contener una de las 4 forma empleadas, la tarea consiste en que el participante reconozca cuál de ellas palpó.

El procedimiento exploratorio lateral obedece a un patrón de movimiento específico y sincronizado con un pulso de metrónomo; por tanto, este movimiento se entrenó en una sesión previa. El guión empleado en esta sesión y el guión con

las instrucciones para las sesiones subsecuentes pueden consultarse en el Apéndice C.

En la tarea-entrenamiento cada participante permanece sentado frente a la mesa de exploración, con los audífonos colocados. El investigador coloca una superficie frente al participante y sitúa la mano izquierda de éste en un extremo de la placa. El participante permanece inmóvil durante los 4 pulsos de preparación e inmediatamente después inicia la exploración lateral siguiendo los 8 pulsos restantes (tonos de violín). Al terminar el sonido, el participante permanece inmóvil, el investigador retira la placa y el participante da su respuesta.

Este entrenamiento significa una preparación para el participante, en la tarea de atender sensaciones vibro-táctiles durante una tarea compleja en la que confluyen estímulos auditivos y vibro-táctiles, para que, posteriormente, ejecute la escala de Re mayor, atendiendo la sensación vibratoria táctil en cada pisada de los dedos sobre el diapasón del violín.

### **2.3 Procedimiento**

La prueba tuvo una duración de 6 días. En el primero se hizo la grabación de la ejecución de cada niño, sin ninguna intervención previa. Esta fue la sesión pre-test llamada G0. En ella, cada participante tocó la escala de Re mayor de forma ascendente y descendente, con un *tempo* libre, e hizo 5 repeticiones. El segundo día (sesión S0), se entrenó el procedimiento exploratorio lateral. Los siguientes 4 días (sesiones S1-S4) se realizó la prueba propiamente dicha, constituida por dos momentos: la tarea-entrenamiento y la ejecución.

En la tarea-entrenamiento, cada participante exploraba 12 superficies mientras escuchaba los doce tonos de violín correspondientes, y después tocaba la escala Re mayor, 5 veces. En las series y el orden de presentación de los estímulos se presentó cada tono de la escala el mismo número de veces en cada sesión, y a lo largo de las sesiones.

Antes de la ejecución de la escala de Re mayor, se les indicó a los participantes con foco vibro-táctil (fV) atender la sensación vibratoria en las yemas de sus dedos durante la ejecución. A los participantes del grupo de foco auditivo (fA) no se les dio una instrucción específica puesto que se presume que durante la práctica de ejecución del violín la atención recae sobre el elemento auditivo.

Para una descripción con más detalle sobre el procedimiento de cada tarea y la estructura de las sesiones S1-S4, consultar el Apéndice D.

## **2.4 Procesamiento de los datos**

Los datos recolectados en la prueba corresponden a las grabaciones en audio de las ejecuciones de cada participante. Éstos realizaron 5 repeticiones de la escala diatónica de Re mayor, en forma ascendente y descendente, con lo que se obtuvo 10 repeticiones para cada tono, en cada sesión.

Los audios fueron guardados en archivos WAV y se analizaron con el programa *Praat 5.3.73* de análisis acústico, usando un *script* elaborado por Gisela Gracida, a partir de su trabajo sobre el análisis acústico de la voz cantada (Gracida, 2015).

Este programa proporcionó el análisis de la frecuencia fundamental (F0) en hertz de cada tono de la escala diatónica de Re mayor; posteriormente se realizó un análisis en unidades *cents* para la observación de la variación en la afinación y, finalmente, estos resultados se analizaron con el programa SPSS de análisis estadístico para obtener las medias y las desviaciones estándar de las 10 repeticiones de cada tono por sesión.

El desempeño de cada participante se analizó observando la variación en la afinación de las alturas tonales de la escala de Re mayor en cada día de ejecución y la comparación de la afinación de estos tonos con la escala de temperamento igual moderna (tonos estándar). Finalmente, se compararon los resultados de la

sesión *pre-test* (G0) y la última sesión de la prueba (S4) de los participantes de cada grupo (foco vibro-táctil y foco auditivo).

#### **2.4.1 Procesamiento de los audios con *Praat* 5.3.73**

El *Praat* versión 5.3.73 (Boersma & Weenink, 2014) es un programa de computadora para el análisis acústico concretamente dirigido al lenguaje hablado pero que igualmente permite el análisis de los tonos de violín. Con este programa se obtiene información acústica como espectrogramas, frecuencia fundamental, duración, intensidad, y otros (Correa, 2014).

##### *Descripción del script para el análisis de la frecuencia.*

El programa *Praat* 5.3.73, puede operar a través de *scripts* para optimizar el procesamiento del análisis acústico. Los *scripts* son instrucciones escritas (menú de comandos), ejecutadas por el programa para proporcionar los valores requeridos en dichos *scripts*, evitando la repetición manual de procedimientos. (Boersma, 2014; Correa, 2014).

El *script* utilizado en esta prueba proporciona la duración (en milisegundos), de la frecuencia fundamental (F0) expresada en hertz para cada tono de la escala de Re mayor y la desviación estándar (también en hertz) del promedio de las muestras que toma Praat dentro de cada tono analizado. Ejemplo de resultados en Tabla 2.

##### *Etiquetado.*

Para usar el *script* es necesario crear un archivo tipo *Text Grid* (formato del programa) para cada archivo WAV, donde se realiza un etiquetado que consiste en establecer los límites temporales de cada fragmento a analizarse; cada fragmento resultante es una etiqueta con un nombre asignado. En este caso, se hizo un etiquetado de tono por tono para cada sesión de cada alumno, para luego analizarse con el *script*.

### Obtención de resultados.

Algunos de los resultados con el *script* parecen haber sido afectados cuando había un ruido causado por el arco (como crujidos), la frecuencia fundamental que se obtenía para la etiqueta parecía muy lejana a la de los demás tonos equivalentes y la desviación estándar de la etiqueta era muy grande. En esos casos, se hizo una extracción manual (sin *script*) de la F0 y el resultado era consistente con los tonos equivalentes. Por ejemplo, en la Tabla 2 se muestran los resultados del día 4 para el tono Mi de un participante. El resultado en rojo fue el contemplado como afectado por el ruido pero la extracción manual permitió obtener un resultado pertinente.

Sesión	Tono	F0	SD	Duración
S4	mi1	327.82	5.9	1841
S4	mi1d	323.26	1.1	1670
S4	mi2	329.96	4.4	1806
S4	mi2d	327.45	1.2	1802
S4	mi3	330.08	3.6	1781
S4	mi3d	318.42	41.2	1480
S4	mi4	330.46	1.1	1649
S4	mi4d	327.39	1.4	1755
S4	mi5	330.59	1.5	1692
S4	mi5d	325.75	1.4	1775

**Tabla 2.** Resultados del análisis con Praat, a través del *script*, para el tono de Mi (el número junto al nombre del tono indica la repetición de la escala; si es descendente se indica con una *d*). Los resultados para F0 y la desviación estándar (SD) se expresan en Hz, y la duración en milisegundos. El resultado en rojo (para el tono Mi3d) muestra alteración por el ruido, por lo que se usó la extracción manual (*sinscript*) para ese tono cuyo resultado es 325.61 Hz.

### 2.4.2 Análisis en cents

Los *cents* son una unidad de medida estándar que se utiliza para describir cambios en la frecuencia fundamental (F0) y permite valorar las desafinaciones de notas o intervalos (Roederer, 2008). Un cent equivale a una centésima parte de un intervalo de semitono.

Las F0 de cada tono de la escala de Re mayor, obtenidas del análisis con Praat, fueron comparadas con los tonos de la escala de temperamento igual, estableciendo la diferencia en unidades cents. Es decir, se obtuvo el número de cents que cada tono estuvo por arriba o por debajo del tono estándar (tono de la escala de temperamento igual). Esta diferencia se consideró como el *error de tono*.

Esta operación se realizó aplicando la siguiente fórmula:

$$cents = 1200 \frac{\log\left(\frac{f2}{f1}\right)}{\log(2)}$$

Donde, *f2* es la frecuencia obtenida con Praat y *f1* la frecuencia correspondiente de la escala de temperamento igual.

Esta misma fórmula fue empleada para el cálculo de la justeza del intervalo, que se refiere a la precisión de cada intervalo contenido en la escala de Re mayor que ejecutó cada participante.

En este caso, *f1* es la frecuencia de la nota de partida (la nota de donde parte el intervalo melódico) y *f2* es la nota de llegada (la segunda nota del intervalo). El resultado obtenido para cada intervalo se comparó con los intervalos de la escala de temperamento igual (una distancia de tono equivale a 200 cents y una distancia de semitono a 100 cents). La diferencia en cents entre los intervalos de la escala Re mayor ejecutada por el participante y los intervalos de la escala temperada, fue considerada el *error de intervalo*.

### **2.4.3 Procesamiento estadístico**

Las F0 obtenidas con Praat para cada tono, se analizaron con el programa estadístico SPSS. Como en cada sesión hubo 5 repeticiones de la escala diatónica de Re mayor, se obtuvo 10 repeticiones para cada tono (considerando los tonos que se repiten por la ejecución ascendente y descendente de la escala). Estos 10 resultados se promediaron para obtener la media de la afinación de las

F0 de cada tono (expresadas en Hz), y su correspondiente desviación estándar (también en Hz), para cada participante. Posteriormente, se promediaron los resultados de cada grupo, obteniendo una SD en Hz por grupo para cada tono de la escala de Re mayor, en cada sesión.

Una vez obtenidas estas SD en Hz, los resultados fueron convertidos a unidades cents utilizando la siguiente fórmula:

$$SD_{cents} = 1200 \frac{(f_0 + SD)/f_0}{\log(2)}$$

Donde  $f_0$  es la media (en Hz) de la frecuencia fundamental obtenida para cada tono de la escala de Re mayor; y  $SD$ , es su correspondiente desviación estándar.

Por otro lado, los valores de *error de tono* y *error de intervalo*, expresados en cents, podían ser negativos (cuando la F0 del tono quedaba por debajo de la F0 del estándar) o positivos (cuando la F0 del tono quedaba por encima de la F0 del estándar). No obstante, para el procesamiento estadístico, ambos tipos de diferencia se tomaron como positivas, observándolas como un indicador de error, independientemente de si la F0 del tono quedó por arriba o por debajo de la F0 del tono estándar.

Para el *error de tono* hubo 10 resultados por tono, mismos que se promediaron para obtener las medias en cada sesión. Por otro parte, para el *error de intervalo* se tomaron los intervalos ascendentes y descendentes individualmente, por lo tanto hubo 5 repeticiones para cada intervalo. Estos resultados se promediaron para obtener la media del *error de intervalo* por cada sesión. Todos los promedios se obtuvieron con el programa SPSS.

## CAPÍTULO 3

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan primeramente los resultados sobre la variable llamada *deslizamientos*, posteriormente, los resultados sobre el análisis del *error de tono* y el *error de intervalo*, y el análisis de la desviación estándar del promedio de los tonos. Al final del capítulo se presentan las consideraciones sobre estos resultados.

De acuerdo con la hipótesis planteada, se esperaba encontrar una estabilización de la afinación en la ejecución de la escala de Re mayor, manifestándose, tal efecto, en la reducción de la desviación estándar de la frecuencia fundamental de cada tono a lo largo de las sesiones. Aunque este efecto no fue hallado en ningún participante, se pudo observar un efecto contrastante, en dos participantes, referido al movimiento lateral de los dedos para la modificación de los tonos al momento de la ejecución, lo que se consideró como *deslizamientos*.

#### 3.1 Deslizamientos

Los deslizamientos señalan las correcciones que el participante realiza una vez que ha colocado su dedo sobre el diapasón del violín para producir el tono correspondiente de la escala. Cuando el participante detecta un error, se producen estos deslizamientos para modificar la altura del tono, ya sea, de forma ascendente o de forma descendente; esto implica un movimiento lateral del dedo.

Se identificaron los tonos con deslizamientos a partir de la evidencia auditiva y el análisis con Praat, y se señalaron las modificaciones en la altura dentro de cada tono. En la Tabla 3 se muestran los resultados del número de tonos que presentaron estos deslizamientos para los participantes de cada grupo, en cada sesión.

Número de deslizamientos por sesión.

	Participante	G0	S1	S2	S3	S4
Foco Auditivo	NC	2	0	0	0	1
	KA	2	0	1	4	1
	JC	1	3	2	1	5
Foco vibro-táctil	AX	10	5	4	5	4
	MJ	0	0	0	0	0
	EB	0	0	0	0	0

**Tabla 3.** Número de tonos que presentaron deslizamientos para cada participante a lo largo de las sesiones.

En el grupo de foco vibro-táctil (fV), sólo un participante presentó deslizamientos (participante AX). En el grupo de foco auditivo (fA), aunque en todos los participantes se presentaron deslizamientos, sólo en el participante JC se presentó un efecto notable.

Con estos resultados, puede considerarse que sólo en dos de los participantes se produjo una modificación observable de la conducta motora. Esto podría estar relacionado con el tiempo de experiencia práctica de los alumnos, ya que AX y JC son los participantes con menos tiempo de experiencia. En la Tabla 4 se presentan los datos sobre la edad de cada participante, el tiempo de experiencia práctica con el violín y el número de deslizamientos en G0 y S4.

				Deslizamientos	
	Participante	Edad	Experiencia	G0	S4
<b>Foco Auditivo</b>	NC	10	2 años	2	1
	KA	8	1 año	2	1
	JC	8	6 meses	1	5
<b>Foco Vibro-táctil</b>	AX	9	6 meses	10	4
	MJ	9	3 años	0	0
	EB	11	3 años	0	0

**Tabla 4.** Se observa que los participantes con menor tiempo de experiencia práctica, presentaron un contraste en el número de deslizamientos en G0 y S4.

Para los tonos con deslizamientos de JC y AX, se obtuvo una frecuencia fundamental (F0) inicial y una final, que describen la transición del tono inicial (detectado como error) al tono final que implica la corrección; no obstante, algunos tonos presentaron más variaciones en la F0 que señalan mayor ambigüedad en la producción del tono. Los resultados de este análisis se pueden consultar con más detalle en el Apéndice E.

Se considera que el comportamiento observado en estos dos participantes es contrastante: mientras en AX (de fV) el número de deslizamientos se redujo (10 deslizamientos en la sesión G0 y 4 deslizamientos en S4), en el participante JC (de fA) los deslizamientos aumentaron (1 deslizamiento en la sesión G0 y 5 deslizamientos en S4).

### **3.2 Error de tono y error de intervalo**

#### *Error de tono.*

El error de tono expresa el promedio de desafinación que se obtuvo por cada tono de Re mayor ya sea que éste haya quedado por debajo o sobre la afinación ideal del tono estándar; a mayor cantidad de cents, mayor desafinación. En esta valoración se consideraron las medias de cada grupo, comparando los resultados de G0 y S4.

En la tabla 5 (A y B) se muestra el promedio del error para cada tono en cada sesión. En estos datos se incluyen los resultados del análisis para los tonos Re y La (éstos sólo se consideraron en el análisis del error de tono y del error de intervalo). En la mayoría de los casos, la variación encontrada para los tonos Re y La fueron inferiores a los 10 cents; aunque en 3 resultados fue mayor que 10 (del grupo fA, el tono Re en las sesiones G0, S1 y S2, alcanzaron una variación de 14.07, 14.49, 10.76 cents, respectivamente).

En el contraste de los resultados de las sesiones G0 y S4 del grupo fA, todos los tonos muestran una ligera disminución del error, excepto en el tono de

Sol; en el grupo fV, hubo igualmente disminuciones (Mi, Fa#, Si, Do#, Re'). Sin embargo, estas disminuciones fueron inferiores a los 10 cents y no se considera que esta diferencia indique un comportamiento real de disminución.

## A

Error de tono. Grupo fA.

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	14.0 (9.3)	14.5 (13.2)	10.7 (6.3)	8.7 (7.0)	7.4 (6.9)
Mi	26.1 (17.8)	28.6 (23.0)	17.1 (12.9)	13.6 (11.8)	18.0 (17.1)
Fa#	18.3 (16.4)	17.7 (13.4)	19.6 (13.6)	12.0 (10.1)	13.6 (9.2)
Sol	16.2 (15.0)	20.8 (17.4)	21.2 (17.1)	11.0 (8.3)	16.4 (13.1)
La	5.4 (4.9)	4.9 (17.3)	6.8 (4.8)	3.5 (3.6)	1.8 (1.9)
Si	25.3 (11.9)	20.9 (13.7)	20.8 (11.8)	13.0 (9.9)	18.9 (10.8)
Do#	21.2 (16.4)	22.2 (16.9)	22.7 (18.5)	18.3 (15.9)	16.1 (8.8)
Re'	26.1 (17.5)	25.1 (22.7)	27.8 (27.1)	23.5 (16.0)	20.2 (17.7)

## B

Error de tono fV. Promedio por tono.

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	3.4 (1.4)	6.9 (4.0)	5.0 (4.5)	2.5 (1.3)	3.4 (2.1)
Mi	9.3 (6.8)	16.2 (11.9)	15.8 (10.2)	19.6 (14.2)	15.2 (10.9)
Fa	16.3 (11.5)	13.6 (12.1)	22.3 (18.5)	12.4 (12.3)	13.2 (10.8)
Sol	13.9 (10.4)	22.3 (11.5)	30.8 (15.2)	19.9 (14.0)	14.5 (12.2)
La	2.4 (2.2)	4.1 (2.3)	2.0 (2.3)	1.4 (1.3)	2.0 (1.4)
Si	13.7 (9.0)	8.8 (7.3)	21.4 (13.6)	9.7 (6.7)	9.6 (5.3)
Do	15.4 (10.7)	13.2 (9.1)	30.0 (20.5)	13.4 (10.0)	8.0 (4.9)
Re'	20.0 (14.7)	28.8 (14.1)	45.3 (24.6)	26.3 (9.6)	17.7 (11.8)

**Tabla 5.** Promedio de desafinación expresado en cents (desviación estándar entre paréntesis). Se observan algunas disminuciones entre G0 y S4 en el error de afinación de cada tono con respecto de la escala temperada.

### *Error de intervalo.*

El error de intervalo indica el promedio de desafinación de cada intervalo de la escala de Re mayor (ejecutada por cada grupo), señalando el número de cents que cada intervalo estuvo por debajo o sobre el valor del intervalo correspondiente en la escala estándar. Igualmente que para el error de tono, en el error de intervalo no se hizo comparación entre los participantes, sino entre ambos grupos.

En la Tabla 6 se muestran los resultados del promedio del error de intervalo de cada grupo para las sesiones G0 y S4; la diferencia entre los resultados de estas sesiones describe un aumento (números positivos) o una disminución (números negativos) del error.

Error de intervalo. Promedio por intervalo

Intervalo	Grupo fV			Grupo fA		
	G0	S4	Diferencia	G0	S4	Diferencia
Re-Mi	13.5	15.8	2.2	11.8	13.3	-1.4
Mi-Fa#	8.7	9.3	0.5	13.6	16.8	-3.2
Fa#-Sol	18.5	17.7	-0.7	7.8	11.3	-3.5
Sol-La	10.5	16.6	6.1	18.5	16.6	2.0
La-Si	14.7	10.7	-4.0	19.7	16.6	3.0
Si-Do#	3.8	9.6	5.8	13.2	15.5	-2.3
Do#-Re'	19.6	12.6	-7.0	7.7	10.0	-2.3
Re'-Re'd	4.3	4.9	0.7	5.4	4.7	0.7
Re'-Do	24.6	20.0	-4.6	12.3	13.6	-1.3
Do#-Si	7.5	12.7	5.1	12.6	16.0	-3.4
Si-La	12.8	10.9	-1.9	21.8	19.5	2.2
La-Sol	15.3	10.8	-4.4	12.3	18.4	-6.1
Sol-Fa#	19.2	14.3	-4.9	10.6	13.2	-2.6
Fa-Mi	15.8	14.1	-1.8	21.3	26.9	-5.6
Mi-Re	9.2	12.9	3.7	15.5	12.4	3.1

**Tabla 6.** Promedio de desafinación expresado en cents, para cada intervalo de Re mayor; el orden de presentación de los intervalos expresa la ejecución ascendente y descendente de la escala de Re mayor. La diferencia señala la reducción o aumento del error de intervalo, también expresado en cents; los números positivos indican un aumento en el error y los negativos una disminución.

El grupo fA presenta un mayor número de intervalos con disminución del error de justeza (10 intervalos) en comparación con el grupo fV (8 intervalos); sin embargo, estas disminuciones son, en todos los casos, inferiores a los 10 cents. Por lo tanto, se considera que estos datos tampoco muestran un cambio notable en el rendimiento.

### 3.3 Desviación estándar

El análisis de la desviación estándar (SD) se realizó con el promedio obtenido de la suma de las frecuencias fundamentales (en Hz) para cada tono de la escala diatónica Re mayor (sin Re y La), en cada sesión. Estos resultados fueron luego convertidos a unidades cents y se presentan en la Tabla 7.

	Grupo fV					Grupo fA				
	G0	S1	S2	S3	S4	G0	S1	S2	S3	S4
<b>Mi</b>	9.4	19.4	17.5	24.3	18.7	20.9	28.1	17.8	16.6	21.9
<b>Fa#</b>	17.4	17.2	24.7	17.4	17.1	21.8	21.5	23.9	15.3	16.6
<b>Sol</b>	17.5	25.2	27.6	23.7	19.0	19.3	24.1	27.1	13.6	21.0
<b>Si</b>	16.7	10.8	22.2	11.8	11.0	18.7	19.8	19.8	11.9	20.0
<b>Do#</b>	18.5	13.2	27.1	13.0	9.5	18.2	24.7	21.4	21.7	18.0
<b>Re'</b>	17.0	14.3	28.8	9.6	12.9	18.8	24.2	30.5	20.3	23.7

**Tabla 7.** Análisis de la desviación estándar del promedio para cada tono de la escala de Re mayor, de las ejecuciones por grupo, en cada sesión. Los resultados son presentados en unidades cent.

Los resultados que más interesa contrastar son los de la sesión pre-test G0 y la última sesión S4 (ver Tabla 8).

	Grupo fV		Grupo fA	
	G0	S4	G0	S4
<b>Mi</b>	9.4	18.7	20.9	21.9
<b>Fa#</b>	17.4	17.1	21.8	16.6
<b>Sol</b>	17.5	19.0	19.3	21.0
<b>Si</b>	16.7	11.0	18.7	20.0
<b>Do#</b>	18.5	9.5	18.2	18.0
<b>Re'</b>	17.0	12.9	18.8	23.7

**Tabla 8.** Comparación de resultados de la desviación estándar en unidades cent (SDcent) de las frecuencias fundamentales de los tonos de la escala de Re mayor, entre las sesiones G0 y S4, para ambos grupos.

Se esperaba que en el grupo fV se observara una reducción de la SD de la frecuencia fundamental, que pudiera sugerir una estabilización de la afinación, la

que, a su vez, sugiriera una mejoría en la precisión del movimiento; y además que en el grupo fA no hubiese variación significativa de las SD de las F0 de cada tono. Sin embargo, ambos grupos se comportaron de manera similar, considerando que en ningún caso se presentó una diferencia que indicara un patrón o tendencia (durante las sesiones) de reducción o aumento de la SD de las frecuencias fundamentales (ver Tabla 7).

Aunque en el grupo fV la SD sí disminuye en los tonos Si, Do# y Re' (reducción de 5.7, 9 y 4.1 cents, respectivamente), esta disminución es pequeña; en el caso de los tonos Mi y Sol la desviación estándar aumenta (9.3 y 1.5 cents, respectivamente), y para Fa# permanece igual. Por otro lado, en el grupo fA, se muestra un pequeño aumento de la SD en los tonos Mi, Sol, Si y Re' (1, 1.7, 1.3 y 4.9 cents, respectivamente); en Do# permanece igual y sólo en el tono de Fa# se observa una disminución (5.2 cents) de la desviación estándar de la F0.

La comparación de resultados entre G0 y S4 por participante, tampoco parece indicar una diferencia en el rendimiento entre los grupos (estos resultados pueden consultarse en el Apéndice F). En estos datos se incluyen los resultados para los tonos Re (índice 5) y La, que no fueron considerados al ser producidos por la cuerda al aire, pero que muestran una pequeña variación de la afinación que pudo haber sido causada por efecto del movimiento del arco y por efecto de la afinación del instrumento (la desviación estándar promedio para las F0 de las cuerdas al aire fue de 11.3 cents).

A partir de esto, se considera que los resultados del contraste entre G0 y S4 indican que la atención a la sensación vibro-táctil no propició el efecto esperado de reducción de la desviación estándar de la frecuencia fundamental.

### **3.4 Consideraciones sobre los resultados**

La hipótesis planteada establecía que como resultado de focalizar la atención en la sensación vibro-táctil durante la ejecución de una escala de Re mayor, se obtendría una mejoría en la afinación de los participantes. No obstante,

de acuerdo a los resultados obtenidos, esta hipótesis no fue confirmada: el análisis de la calidad de la afinación con referencia al sistema temperado, no mostró ninguna mejoría en ninguno de los dos grupos y tampoco se observó una disminución de la desviación estándar de la frecuencia fundamental.

Solamente se pudo observar un efecto positivo en el rendimiento de uno de los participantes de fV, en cuanto a la reducción del número de tonos que presentaron deslizamientos, ya que éstos pueden ser interpretados como una deficiencia en la ejecución.

Con relación a lo anterior, los resultados parecen indicar que los participantes con apenas 6 meses de experiencia son los que mostraron un cambio notable en la conducta motora en comparación a la previamente observada en la sesión G0. Esto podría deberse a que conforme se adquiere experiencia, los patrones de movimientos llegan a conformar procesos automáticos albergados en la memoria de procedimientos (Guerra, 2009) y es probable que no sean de fácil acceso para un efecto de cambio, en un periodo tan corto de entrenamiento.

Además, la investigación sobre la adquisición de habilidades motoras señala que sólo los aprendices iniciales pueden beneficiarse de un foco de atención interno o proximal ya que no han adquirido una automatización de patrones de movimientos (Peh, Chow, & David, 2010). Podría pensarse, entonces, que los participantes con menos tiempo de experiencia sean los más susceptibles de observar un cambio en la conducta, que podría ser resultado de un cambio en el foco de atención. Sin embargo, sólo puede especularse que el efecto observado en los participantes AX y JC sea, en efecto, producto del foco de atención asumido.

Los deslizamientos aluden, en primer lugar, a la retroalimentación auditiva que señala un error en la altura del tono producido; por lo tanto, el ejecutante realiza un deslizamiento de su dedo con el fin de aumentar o disminuir la altura tonal, según lo que juzgue conveniente. En segundo lugar, este hecho señala una falla en el movimiento realizado ya sea por a un error en el trazo del movimiento,

por cuestiones de distracción, por carecer de un patrón de movimiento bien establecido o, también, por falta de establecimiento de la memoria propioceptiva en la ubicación correcta de los dedos sobre el diapasón, lo que en conjunto sugiere una falla de planeación.

Los casos en los que se presentan más variantes de afinación para cada tono, sugieren mayor duda en el trazo del movimiento o, posiblemente, una carencia en la memoria auditiva. Sin embargo, sería importante considerar que, si bien, la retroalimentación auditiva indica el error en la afinación del tono producido, la corrección motora obedece no sólo a un ajuste lógico ascendente o descendente con referencia al tono percibido sino que depende también del control del trazo del movimiento hacia el punto objetivo.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los planteamientos sobre el aprendizaje perceptual nos permiten concluir que la práctica del violín, al ser una actividad compleja, requiere de un procesamiento de información sensorial específica, es decir, de las características básicas de los estímulos implicados (Ahissar & Hochstein, 2004; Ahissar et al., 2009; Kellman & Garrigan, 2009); y que esto no está limitado a procesos auditivos.

Aunque se ha demostrado que la memoria auditiva es un importante detonador de conductas motoras (Lahav & Saltzman, 2007), la conformación de patrones motores de factura tan fina y alta estabilidad que requiere la ejecución del violín, y que probablemente no existen en el repertorio motor del aprendiz novato, necesita de focos proximales de atención, o incluso focos internos (Lohse, 2012; Peh et al., 2011), en los que están implicadas las sensaciones hápticas.

Los resultados obtenidos en esta investigación parecen indicar que la atención al vibro-tacto no reporta ningún beneficio en la afinación en la práctica del violín. Sin embargo no se puede afirmar que esto sea contundentemente así, dada las condiciones de la intervención experimental. La prueba sólo se aplicó a 6 individuos con características distintas y, además, la duración del entrenamiento fue muy breve (5 días) Por lo tanto, con estos resultados no se puede asegurar que la información vibro-táctil no tenga ninguna implicación en el rendimiento de la estabilización de los movimientos que pueda traducirse en una mejoría de la afinación.

Algunos efectos del aprendizaje perceptual háptico se han observado tiempo después de haberse realizado el entrenamiento, y al parecer tiene efectos a largo plazo (Kaas et al., 2013). Por lo tanto, es probable que para obtener consideraciones más sustentables pudiera extenderse el periodo de entrenamiento e, incluso, realizar una medición posterior para un posible efecto a largo plazo.

Además, en la aplicación de la prueba no se consideró el hecho de que hay violines que son considerados no vibrantes (Wollman et al., 2012; Rodríguez, 2015), por lo tanto no se aseguró una experiencia vibro-táctil auténtica y suficiente, a pesar de que los participantes manifestaron experimentar la sensación. Entonces, cabe la posibilidad de que no haya existido una estimulación vibro-táctil eficiente durante la ejecución.

También deben considerarse los umbrales de discriminación de la frecuencia táctil en los seres humanos. La posibilidad de discriminación de la frecuencia táctil ha sido establecida dentro del ámbito de 60 Hz a 400 Hz, con un pico de sensibilidad alrededor de los 250 Hz (Birnbaum & Wanderley, 2007; Makous et al. 1995; Verillo & Bolanowski, 2008). Aunque también se ha mencionado que el umbral superior de detección es a los 1000 Hz (Verillo 1992, citado en Russo et al. 2012) pero las tareas de discriminación con frecuencias mayores a 300 Hz muestran pobre desempeño.

El ámbito de frecuencias de los tonos usados en la intervención experimental es de 293-587Hz. Esto pudo ser una de las limitaciones de la prueba. Aunque el supuesto inicial era que gracias a la interacción auditiva y vibro-táctil se podría generar un estímulo integral (Butler et al., 2012; ) susceptible de reconocimiento, procesamiento cognitivo y aprendizaje (Suzuki, Gyoba, & Sakamoto, 2008), no es posible reconocer si en realidad esto se haya presentado.

Probablemente la confirmación de la hipótesis hubiese favorecido el supuesto, pero aun así, tal efecto no podría atribuirse exclusivamente al vibro-tacto, puesto que en la tarea de ejecución de la escala diatónica de Re mayor hubo influencia de la información auditiva y visual.

Por lo tanto, la disminución del número de deslizamientos observada (que alude a una estabilización de los movimientos) no puede ser vinculada exclusivamente a la atención a la sensación vibro-táctil. Un análisis adicional de los resultados, que podría esclarecer la cuestión, consiste en observar la curva de aprendizaje a lo largo de los 5 días de ejecución y posteriormente compararla con los estándares de aprendizaje en las modalidades visual, auditiva y vibro-táctil, y

determinar cuál de ellas describe mejor el comportamiento observado. Pero este análisis necesita de atención cuidadosa, de la que no ha sido posible ocuparse en esta investigación.

Subrayamos que la variable de observación no fue la percepción vibro-táctil en sí misma, aunque ese punto se quiso explorar en los inicios de este trabajo de investigación. Sin embargo, debido a las limitaciones temporales y los recursos materiales disponibles, se decidió observar únicamente la atención a esta sensación durante la ejecución.

Aunque no se comprobó la hipótesis planteada, el efecto de *deslizamientos* observado abre una nueva posibilidad de análisis. El movimiento lateral de los dedos podría ser un gesto importante para la memorización de la posición específica de los dedos de la mano izquierda. Aquí se considera el hecho de que se ha demostrado que la sensación del estiramiento de la piel (sensación exteroceptiva) colabora con la propiocepción para favorecer la precisión con que se registra la posición que asumen la mano y los dedos (Collins et al., 2005). En ese sentido, el movimiento lateral de los dedos genera sensaciones de estiramiento de la piel que puede significar una entrada de información háptica importante que sea aprovechada según lo planteado.

Desde este punto de vista, es posible que los deslizamientos pudiesen resultar benéficos para la memorización y asimilación de la digitación del violín. Para esto, habría que considerar cuál es la información que se genera cuando ocurre un deslizamiento y cuál información se genera cuando se evita esta conducta y simplemente se retira la posición y se coloca de nuevo; y qué implicaciones tienen estas dos condiciones en el rendimiento motor. Esta es una cuestión que aún debe ser investigada.

Podría pensarse que el movimiento lateral de los dedos, que durante la ejecución se manifiestan como deslizamientos, pudiese estar proporcionando información importante sobre el estado de la piel (estiramiento, tensión, deformación) que trabaje conjuntamente con la propiocepción y sea de mucha

utilidad para la memorización de la ubicación correcta de los dedos para una correcta afinación.

Aunque los deslizamientos puedan ser interpretados como una ejecución deficiente desde el punto de vista de la calidad de la ejecución, valdría la pena examinar si estos gestos generan una carga importante de información háptica que redunde en el favorecimiento de la memorización de la posición. Así, los deslizamientos pudieran ser una fase del proceso cognitivo motor que medie la consolidación de los patrones de movimientos y, con la experiencia, los trazos de movimientos adquieran la sorprendente consistencia observada en los ejecutantes (Baader et al., 2004).

A pesar de que en esta investigación el vibro-tacto no reportó un beneficio a la afinación, no debería descartarse su exploración dentro del estudio sobre la práctica del violín, considerando que se ha sugerido que los violinistas prefieren un violín con mejor respuesta vibro-táctil (Wollman, Fritz, & Frelat, 2012; Ramirez, 2015) e incluso se ha tratado de mejorar las técnicas de construcción para que el brazo del violín vibre de forma notoria (Ramirez, 2015).

Por otro lado, a partir de los resultados del estudio sobre la sensación vibro-táctil en la eficiencia en tareas que implican control en la presión (Grosshauser et al., 2013), resulta importante investigar las implicaciones de la percepción vibro-táctil en el control del arco y la producción del sonido.

En la tarea del control de la presión en el arco, valdría la pena considerar si la sensación vibratoria táctil proporciona claves útiles en el control de la cantidad del peso ejercido en el arco y el control de esta presión durante la ejecución: la presión ejercida sobre el arco y las cuerdas está en relación al área en la que se desplaza; el control del peso (presión del arco) necesita una regulación precisa para un resultado sonoro deseable y evitar eventos de ruido.

Finalmente, mencionamos que aunque existe información abundante sobre focos de atención durante la acción motora, y que en algunos casos éstos dependen de señales hápticas, para nuestro conocimiento, hay muy poca

investigación que se ocupe específicamente de las tareas motoras durante la ejecución instrumental musical desde el enfoque de la percepción háptica. Este campo significa un área de investigación que puede servir al establecimiento de nuevas perspectivas en la pedagogía musical sobre la ejecución instrumental.

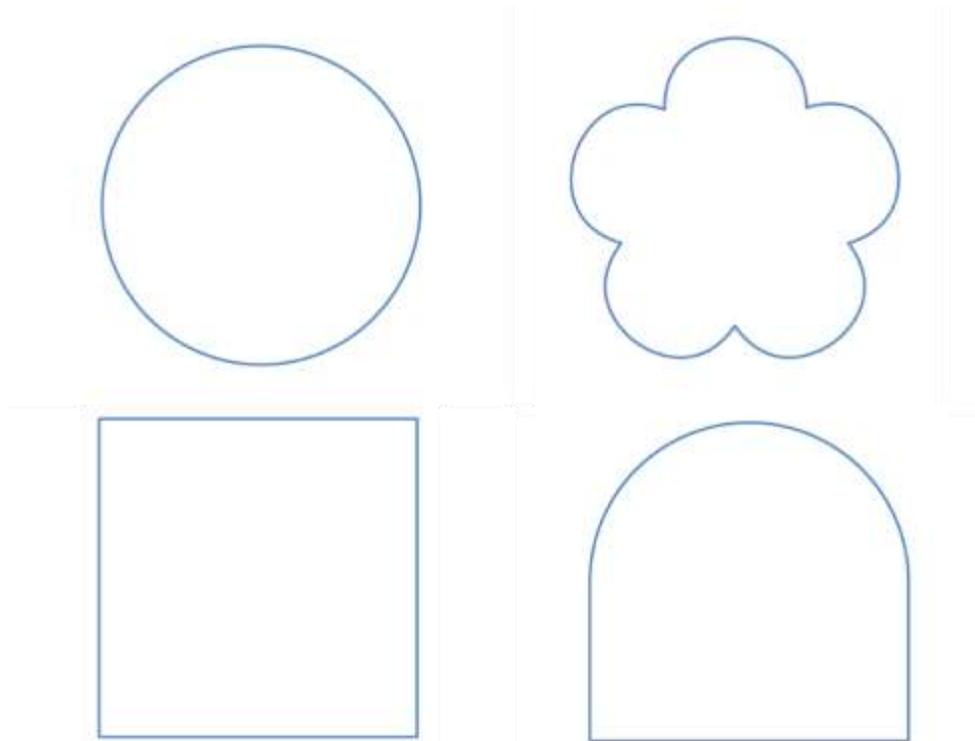
## APÉNDICE A

### Materiales

Para la fabricación de las superficies de exploración fue necesario trabajar con un programa de Modelado 3D (*Rhinoceros*), donde se dibujaron las formas que estarían contenidas en cada superficie.

*Formas empleadas para las superficies de exploración.*

Las superficies empleadas en la prueba contienen una figura en relieve liso para los estímulos lisos, y en relieve texturizado para los estímulos vibro-táctiles. Las formas empleadas en ambos casos son las mismas (Figura A1).

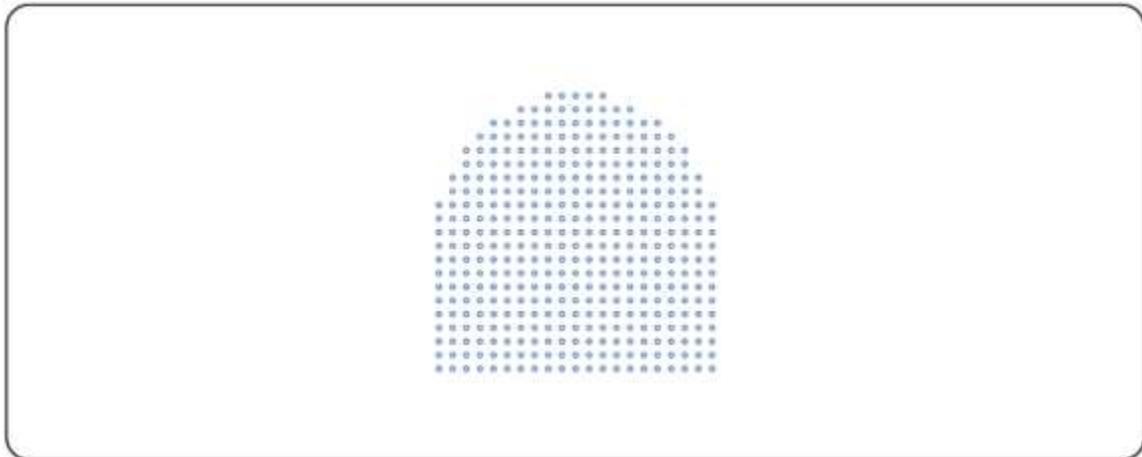


**Fig. A1.** Formas empleadas para las figuras en relieve (liso y texturizado).

### *Diseño de retículas para relieve texturizado.*

Para el relieve texturizado se empleó unas retículas que fueron generadas a partir de siluetas de círculos de 1 mm de diámetro, también diseñadas con el programa de Modelado 3D. La variable fue la distancia de separación entre los círculos empezando con 1 mm de separación, pasando por 1.2 mm, 1.4 mm, y así sucesivamente hasta llegar 2 mm (pasos de 0.2mm).

A partir de estas retículas se elaboraron las formas texturizadas, donde cada forma ocupó un área de 6cm x 6cm aproximadamente, y cada una fue montada en un rectángulo de 25cm x 10cm (ejemplo en Figura A2).



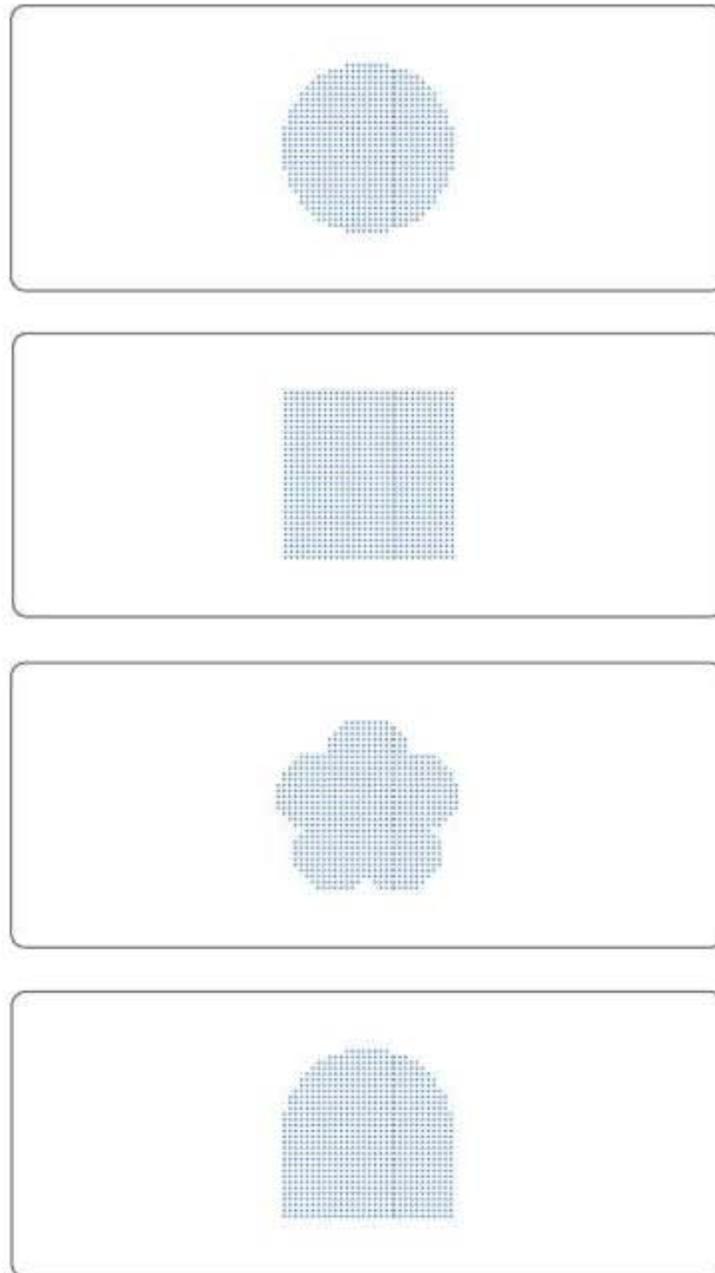
**Fig. A2.** Gráfico de una superficie con figura en relieve texturizado.

### *Fabricación de superficies.*

Una vez concluido el diseño de las superficies, se generaron archivos para trabajar con una máquina de corte con láser. Se cortaron las placas de acrílico de 25cm x 10cm, y las retículas se fabricaron mediante una técnica de grabado o *bajo-relieve* de aproximadamente 0.5 mm de profundidad, de tal forma que la superficie resultante generó un texturizado.

Se utilizó acrílico (PMMA) de 3 mm de espesor, debido a su alta resistencia al impacto e intemperie, así como su ligereza y facilidad para trabajar el corte con láser.

*Ejemplos de estímulos.*



**Fig. A3.** Gráficos de las superficies con figuras en relieve texturizado (estímulos vibro-táctiles).

## APÉNDICE B

### Correspondencia entre tonos y texturas.

Se presentan los tonos de violín empleados en la prueba con su correspondiente textura (Tabla A1), que fueron generadas a partir de puntos equidistantes con una variación entre los puntos de 1mm a 2mm. Los tonos de Re (índice 5) y La fueron omitidos, al no tener pisada en la digitación de la escala diatónica de Re mayor utilizada en la prueba.

Tono	Textura
Mi	2.0 mm
Fa#	1.8 mm
Sol	1.6 mm
Si	1.4 mm
Do#	1.2 mm
Re'	1.0 mm

**Tabla A1.** Estímulos pareados.

## APÉNDICE C

### Guiones

#### *Guión para entrenamiento del procedimiento exploratorio.*

- Explorar para conocer:
  - Nosotros usamos nuestras manos para conocer cómo son las cosas que nos rodean. Si tocamos con nuestras manos los objetos que nos rodean podemos saber si algo es duro, blando, suave o rugoso. Por ejemplo, esta mesa: sentimos que es dura y que tiene algo que la cubre que se siente –pregunta: ¿cómo se siente?
  
- El movimiento para explorar:
  - Entonces, para saber cómo son las cosas nosotros podemos explorar con nuestras manos moviéndolas de diferentes formas.
  - Hoy vamos a aprender a hacer un movimiento de exploración que es especial para cumplir nuestra tarea.
  - Vamos a usar solamente nuestra mano izquierda y la vamos a mover de un lado hacia el otro, nunca de arriba hacia abajo, usando las yemitas de nuestros dedos, que son las que sienten más. Hagámoslo juntos –mover las manos y el sujeto imita- El movimiento debe ser siempre constante y procurando que sea a la misma velocidad. No debemos parar, ni ir más rápido o lento. Siempre igual. Recuerda que siempre debes sentir sobre todo las yemitas de tus dedos que tocan la superficie.
  
- Ámbito de exploración.
  - Ve las dos líneas verdes frente a ti. Trataremos de mover nuestras manos, siempre sintiendo lo que estamos tocando, pero tratando de que nuestro movimiento vaya de una línea hasta la otra; de un lado al otro; siempre constante; sin parar.

- El pulso.
  - Nosotros podemos explorar lentamente -ejemplo- o un poco más rápido. Nuestra tarea es aprender a mover nuestra mano siguiendo un pulso.
  - Para empezar podemos contar -1, 2, 3, 4- 1, 2, 3...-
  - Ahora contaremos siguiendo este pulso –metrónomo a 60 *bits*-
  - Ahora sólo lo haremos escuchando el pulso.
- Ensayo con dibujo.
  - -Sacar dibujo- Ahora vamos a imaginar que nuestras yemitas tienen pintura y queremos pintar todo este rectángulo que tu ves. Entonces, vamos a explorar este rectángulo y al mismo tiempo lo pintamos todo lo que podamos.
  - -El investigador muestra-. Vamos a mover nuestra mano de un lado al otro, y vamos a empezar por la parte de arriba del rectángulo y vamos moviendo de un lado al otro, bajando hasta la parte de abajo del rectángulo imaginando que nuestros dedos tienen pintura y queremos pintar todo el rectángulo.
  - Inténtalo tú y recuerda siempre seguir el pulso.
- Mecánica del estímulo auditivo.
  - Ahora sólo tienes 8 pulsos para pintar el rectángulo. Yo cuento “un, dos, lis-to” y empiezas a pintar mientras yo cuento los 8 pulsos. – Hacerlo varias veces-
  - Ahora sólo cuento “un, dos, lis-to...” y comienzas a pintar, y cuando yo paro el pulso tu detienes tu mano. –Hacerlo varias veces-
  - –Poner audífonos- Ahora vamos a explorar, pero en lugar de que yo cuente, tu escucharás 4 pulsos de preparación e inmediatamente empezarás a explorar siguiendo el pulso de un sonidito, cuando el sonidito termine debes quedarte inmóvil. Vamos a hacerlo juntos.
- Oclusión visual y audífonos.
  - Ahora vamos a explorar el rectángulo sin ver y escuchando el pulso.

*Guión para lectura de instrucciones en la prueba.*

- Ya estamos preparados para nuestra tarea de hoy.
- Ahora exploraremos unas superficies que yo te iré pasando, que son como el rectángulo. Son unas plaquitas rectangulares que voy a ir poniendo frente a ti. Tu tarea será explorarlas como has aprendido y al terminar me contarás lo que sentiste.
- Explorarás igualmente cada plaquita, siguiendo el pulso. Recuerda, escucharás 4 pulsos de preparación que suenan como un golpecito, e inmediatamente después debes comenzar a mover tus manos como aprendiste a explorar, siempre sintiendo con las yemitas, siguiendo el pulso de los sonidos que escucharás. Recuerda detener el movimiento de tu mano en cuanto se acabe el sonido.
- Quizá yo vea que necesites un poquito de ayuda cuando estás moviendo tu mano, y entonces yo te voy a ayudar un poquito. No te preocupes.

NOTA: Los estímulos hápticos utilizados en este entrenamiento no fueron los mismos que se usaron en la prueba.

## APÉNDICE D

### Procedimientos: tarea-entrenamiento y ejecución.

- **Tarea-entrenamiento:** Reconocimiento de formas. (12 formas en orden casi-aleatorio).
  1. Reconocimiento visual de las formas. Asignación de etiquetas por cada participante (sólo en S1). Los nombres fueron sugeridos por cada participante, por lo tanto, hubo diferentes etiquetas dentro del grupo, aunque hubo coincidencias.

Ejemplo:



2. Instrucciones para el procedimiento exploratorio y la tarea de identificación (guión).
3. Oclusión visual (gafas), colocación de audífonos y prueba de sonido.
4. Exploración de las superficies siguiendo un pulso metronómico (60 *bits* por segundo): uso de la porción de los dedos índice, medio y anular de la mano izquierda, para realizar el movimiento exploratorio lateral.
  - Preparación: el participante escucha 4 pulsos del metrónomo como preparación para la exploración.
  - Exploración: se presentan 8 tonos de violín (estímulo auditivo) a modo de pulso, durante los que ocurrirá la exploración; al finalizar los 8 pulsos, se retira la mano de la superficie.

- El participante da su respuesta de la forma que identificó en la superficie explorada, mencionando la etiqueta particular asignada en el inicio.
  
- **Tarea ejecución:** Ejecución de la escala de Re mayor.

Antes de la ejecución, se revisó que el violín estuviera correctamente afinado, y se colocó la pastilla *Fishman* en el puente del violín. Se dieron dos condiciones: a los participantes con foco vibro-táctil se les pide atender la sensación de la cuerda vibrando debajo de las almohadillas de sus dedos (grupo FV) y a los participantes controles sólo se les indica tocar la escala al *tempo* que deseen (grupo con foco auditivo, FA). Ambos grupos deben tocar 5 veces una octava de la escala de Re mayor, en forma ascendente y descendente, con una velocidad de ejecución libre.

## APÉNDICE E

### Análisis de los deslizamientos.

Se muestran los resultados del análisis de los tonos que presentaron deslizamientos, de los participantes JC (Tabla D1) y AX (Tabla D2), de los grupos fA y fV, respectivamente. Para cada tono, se extrajo la F0 inicial y final (expresada en hertz), y en el caso de aquellos tonos en los que observaron más cambios, la variación con menor duración se presenta entre paréntesis.

Deslizamientos: Participante JC de fA.			
Sesión	Tono	F0 inicial	F0 final 8
<b>G0</b>	fa4	376.78	371.03
<b>S1</b>	sol1	389.84	397.71
	sol4	387.78	395.12
	sol5	393.0	(383.52)-397.64
<b>S2</b>	re'2	583.25	587.07
	fa3	359.57	370.79
<b>S3</b>	fa2	371.63	(367.6)-371.25
<b>S4</b>	fa 2	377.5	371.06
	mi3	335.85	332.61
	fa4	370.77	364.51
	mi4d	328.28	331.51
	sol5	390.85	395.95

**Tabla D1.** El nombre del tono se presenta con un número que indica el número de repetición de la escala; la *d* indica que corresponde a la escala descendente. Los resultados de las F0 se expresan en hertz.

Deslizamientos: participante AX de fv.			
Sesión	Tono	F0 inicial	F0 Final
<b>G0</b>	mi1	(319.01)-330.37	(324.68)-327.23
	fa1d	365.28	369.15
	mi2	324.53	330.03
	si2	483.31	494.42
	fa2d	364.72	375.23
	sol3	394.46	390.55
	sol3d	379.74	390.65
	si4	(493.99)-500.95	487.6-(494.41)
	si4d	496.35	490.8
	fa4d	366.95	378.5
<b>S1</b>	sol1d	377.2	387.8
	mi2	320.18	329.2
	do2d	533.98	552.1
	fa3d	364.32	371.57
	fa4d	362.48	371.4
<b>S2</b>	mi1	323.40	326.95
	mi3d	322.59	330.14
	fa4d	357.57	368.76
	sol1d	368.58	385.53
<b>S3</b>	do2	538.39	(545.95)-550.5
	do2d	543.74	554.44
	sol2d	376.46	386.28
	do3	542.65	(534.88)-546.28
	fa5	361.09	371.37
<b>S4</b>	si1	481.54	493.54
	do1	546.63	556.62
	si5	488.34	496.96
	do5	541.80	559.13

**Tabla D2.** El nombre del tono se presenta con un número que indica el número de repetición de la escala; la *d* indica que corresponde a la escala descendente. Los resultados de las F0 se expresan en hertz.

## APÉNDICE F

### Desviación estándar por participantes.

Se muestran los resultados de la desviación estándar (SD) de la frecuencia fundamental obtenidos de las sesiones G0-S4 y se incluyen los tonos Re (índice 5) y La, que corresponden a las cuerdas al aire. Las tablas F1 a F3 conciernen a los participantes con foco auditivo (fA), y las F4-F6, a los participantes con foco vibrotáctil (fV).

**Participante NC. Grupo fA**

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	2.09	2.65	3.28	1.80	2.02
Mi	12.01	13.85	13.66	16.35	5.66
Fa#	18.13	22.31	17.37	20.21	15.48
Sol	20.66	21.45	16.45	16.36	12.54
La	1.14	1.60	1.54	1.84	1.81
Si	8.82	18.30	7.84	8.85	3.30
Do#	17.10	26.09	15.69	16.10	6.95
Re'	16.02	25.30	11.78	13.96	7.32

**Tabla F1.** Resultados de la SD (expresados en cents) de la F0 para cada tono promediado en cada sesión.

**Participante JC. Grupo fA**

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	1.59	1.38	1.29	1.03	1.27
Mi	12.19	9.38	8.42	3.59	9.03
Fa#	8.47	11.92	13.02	8.25	14.31
Sol	4.67	10.86	9.32	9.19	9.29
La	0.89	3.43	1.92	4.91	1.05
Si	14.33	6.52	5.90	5.16	12.70
Do#	6.81	8.59	7.37	8.33	12.53
Re'	6.95	7.59	3.18	7.37	6.58

**Tabla F2.** Resultados de la SD (expresados en cents) de la F0 para cada tono promediado en cada sesión.

**Participante KA. Grupo fA**

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	2.98	8.54	4.18	4.23	4.90
Mi	16.34	17.67	8.98	15.46	19.51
Fa#	17.89	17.44	11.46	14.57	18.51
Sol	18.50	26.90	16.88	10.94	22.26
La	5.79	28.82	2.31	6.66	3.00
Si	8.30	9.73	13.19	7.47	15.66
Do#	11.56	14.07	14.55	20.54	19.24
Re'	8.69	13.87	19.70	12.02	16.39

**Tabla F3.** Resultados de la SD (expresados en cents) de la F0 para cada tono promediado en cada sesión. El resultado en rojo fue omitido en el cálculo de la media para las cuerdas al aire

**Participante AX. Grupo fV**

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	1.60	3.50	3.53	2.69	1.78
Mi	6.65	13.11	12.91	16.26	11.64
Fa#	20.77	9.90	9.75	21.01	9.35
Sol	7.80	10.51	9.99	13.56	12.29
La	1.14	44.99	5.05	2.24	0.99
Si	8.02	9.03	6.75	7.59	7.25
Do#	7.88	17.08	10.16	12.75	10.95
Re'	7.02	16.04	9.76	8.48	12.99

**Tabla F4.** Resultados de la SD (expresados en cents) de la F0 para cada tono promediado en cada sesión. . El resultado en rojo fue omitido en el cálculo de la media para las cuerdas al aire

**Participante MJ. Grupo fV**

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	0.79	1.13	1.35	0.73	0.74
Mi	5.80	7.13	22.07	11.63	11.43
Fa#	17.20	17.92	31.53	16.54	20.72
Sol	13.04	12.46	30.61	15.11	14.58
La	0.80	0.80	0.67	0.80	0.83
Si	7.16	6.79	10.56	7.90	7.49
Do#	9.62	9.78	16.43	10.10	7.79
Re'	7.94	11.21	19.60	12.13	12.11

**Tabla F5.** Resultados de la SD (expresados en cents) de la F0 para cada tono promediado en cada sesión.

**Participante EB. Grupo fV**

	G0	S1	S2	S3	S4
Re	1.10	5.21	3.21	1.31	1.23
Mi	10.23	8.96	16.38	11.78	12.97
Fa#	13.96	8.54	20.10	10.24	16.55
Sol	19.54	17.28	28.14	16.23	17.62
La	4.30	2.48	1.57	1.93	1.90
Si	9.95	7.47	15.95	9.83	5.82
Do#	9.57	9.61	26.44	8.90	8.63
Re'	8.43	11.94	23.52	8.31	12.91

**Tabla F6.** Resultados de la SD (expresados en cents) de la F0 para cada tono promediado en cada sesión.

*Desviación estándar de las cuerdas al aire.*

Se promediaron los resultados de la desviación estándar (en cents) de la F0 de los tonos producidos por las cuerdas al aire (La y Re índice 5) de todos los participantes, en todas las sesiones. El total de resultados obtenidos fue de 60; sin embargo se omitieron dos resultados que se consideraron extremos dentro del conjunto de datos (ver tablas F4 y F3).

La media obtenida para la desviación estándar de las cuerdas al aire fue de 11.38 cents.

## REFERENCIAS

- Ahissar, M., & Hochstein, S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 457-464.
- Ahissar, M., Nahum, M., Nelken, I., & Hochstein, S. (2009). Reverse hierarchies and sensory learning. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 285-299.
- Albright, T., & Neville, H. (2002). Neurociencias. En F. Keil, & R. Wilson, *Enciclopedia MIT de Ciencias Cognitivas* (págs. 41-66). Madrid: Editorial Síntesis.
- Askenfelt, A., & Jansson, E. (1992). On vibration sensation and finger touch in stringed instrument playing. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 311-349.
- Baader, A., Kazennikov, O., & Wiesendanger, M. (2004). Coordination of bowing and fingering in violin playing. *Cognitive Brain Research.*, 436-443.
- Birnbaum, D., & Wandereley, M. (2007). A systematic approach to musical vibrotactile feedback. *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC) (Vol. 2, pp. 397-404)*. Copenhagen: ICMA.
- Boersma, P. (2014). Scripting. En: Manual Praat de Praat: doing phonetics by computer (5.3.73) Recuperado el 21 de Abril de 2014, de <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Boersma, P., & Weenink, D. (2014). Praat: doing phonetics by computer (5.3.73) Recuperado el 21 de Abril de 2014, de <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Bonsaingeon, B. (Dirección). (2000). *The art of the violín* [Película].
- Brass, M., & Heyes, C. (2005). Imitation: is cognitive neuroscience solving the correspondence problem? *TRENDS in Cognitive Sciences*, 1-7.

- Butler, J., Fox, J., Fiebelkorn, I., Mercier, M., & Molholm, S. (2012). Multisensory representation of frequency across audition and touch: high density electrical mapping reveals early sensory-perceptual coupling. *The Journal of Neuroscience*, 15338-15344.
- Chafe, C. (1993). Tactile audio feedback. *Proc. Int. Computer Music Conference*, (págs. 76-79).
- Chico, F. (2003). Anatomía funcional del cerebro. México: Laboratorio de Neuromorfología del Instituto Nacional de Psiquiatría. [Multimedia]
- Collins, D., Refshauge, K., Todd, G., & Gandevia, S. (2005). Cutaneous receptors contribute to kinesthesia at the index finger, elbow, and knee. *J Neurophysiol* , 1699-1705.
- Correa, J. (2014). *Manual del análisis del análisis acústico del habla con Praat*. Bogotá: Publicaciones del Instituto Caro y Cuervo. Recuperado de [http://www.bibliodigitalcaroycuervo.gov.co/998/1/Manual\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_ac%C3%BAstico\\_del\\_habla\\_con\\_Praat\\_Correa\\_Alejandro\\_Mayo\\_2\\_2014.pdf](http://www.bibliodigitalcaroycuervo.gov.co/998/1/Manual_de_an%C3%A1lisis_ac%C3%BAstico_del_habla_con_Praat_Correa_Alejandro_Mayo_2_2014.pdf)
- Craig, G., & Don, B. (2009). *Desarrollo Psicológico*. México: Pearson Educación.
- Crickboom, M. (1994). *El Violín. Libro I*. Bruselas: Schott, Frere.
- Ericsson, k., Krampe, R., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *American Psychological Association, Inc.*, 363-406.
- Fadiga, L., Craighero, L., & Olivier, E. (2005). Human motor cortex excitability during the perception of others' actions. *Current Opinion in Neurobiology*, 213-218.
- Ferrero, M., & Martín, M. (2010). *La importancia del feedback en las evaluaciones de las ejecuciones musicales grupales*. Recuperado el 13 de 05 de 2013,

de SACCOM. Actas de la IX Reunión:

[http://www.saccom.org.ar/2010\\_reunion9/actas/47.Ferrero-Martin.pdf](http://www.saccom.org.ar/2010_reunion9/actas/47.Ferrero-Martin.pdf)

- Foxe, J. (2009). Multisensory integration: Frequency tuning of audio-tactile integration. *Curr Biol*, 373-375.
- Garrigan, P., & Kellman, P. (2008). Perceptual learning depends on perceptual constancy. *PNAS*, 2248-2253.
- Goldstein, E. (2005). *Sensación y percepción*. Colombia: Ed. Thomson.
- Goodwin, A., & Wheat, H. (2004). Sensory Signal in Neuro Populations Underlying Perception and Manipulation. *Annual Review of Neuroscience*, 53-77.
- Gracida Olvera, G. (2015). Caracterización acústica y perceptual de la expresividad vocal en el canto operístico. (Tesis de doctorado). En proceso.
- Grigaityte, K., & Iacoboni, M. (2014). The brain prize 2014: complex human functions. *Trends in Neuroscience*, 37, 615-617.
- Grosshauser, T., Järveläinen, H., Papetti, S., & Schiesser, S. (2013). Audio-tactile feedback in musical gesture primitives: finger pressing. *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, (págs. 109-114). Estocolmo.
- Guerra, I. (2009). Memoria procedural musical. Adquisición de nuevas habilidades. (Tesis de maestría). Recuperada de <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/>
- Guyton, A. (1987). *Fisiología Humana*. México: Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C. V.
- Hollins, M., Bensamaïa, & Roy, E. (2002). Vibrotaction and texture perception. *Behavioural Brain Research*, 51-56.
- Johnson, K. (2001). The roles and functions of cutaneous mechanoreceptors. *Current Opinion in Neurobiology*, 455-461.

- Jousmäki, V., & Hari, R. (1998). Parchment-skin illusion: sound biased-touch. *Current Biology*, 190.
- Kaas, A., Ven, V., Reithler, J., & Goebel, R. (2013). Tactile perceptual learning: learning curves and transfer to the contralateral finger. *Exp Brain Res*, 477-488.
- Kellman, P., & Garrigan, P. (2009). Perceptual learning and human expertise. *Physics of Life Reviews*, 53-84.
- Kim, J., & Zatorre, R. (2012). Can you hear shapes you touch? *Exp Brain Res*, 202: 747-754.
- Kinoshita, H., & Obata, S. (2009). Left hand finger force in violin playing: Tempo, loudness, and finger differences. *J. Acoust. Soc. Am.*, 388-395.
- Klatzky, R. (2002). Percepción háptica. En F. Keil, & W. Robert., *Enciclopedia MIT de Ciencias Cognitivas* (págs. 935-937). Madrid: Editorial Síntesis, S. A.
- Klatzky, R., & Lederman, S. (2010). Multisensory texture perception. En J. Kaiser, & M. Naumer, *Multisensory object perception in the primate brain* (págs. 211-230). New York: Springer New York.
- Klatzky, R., Lederman, S., Hamilton, C., Grindley, M., & Swendsen, R. (2003). Feeling textures through a probe: effects of probe and surface geometry and exploratory factors. *Perception & Psychophysics*, 613-631.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 846-848.
- Konczak, J., van der Velden, H., & Jaeger, L. (2009). Learning to Play the Violin: Motor Control by Freezing, Not Freeing Degrees of Freedom. *Journal of Motor Behavior*, 243-252.
- Kosslyn, S., & Smith, E. (2008). *Procesos Cognitivos. Modelos y Bases Neurales*. Madrid: Pearson Education, S. A. Prentice Hall.

- Lago-Rodriguez, A., López-Alonso, V., & Fernández-del-Olmo, M. (2013). Mirror neuron system and observational learning: behavioral and neurophysiological evidence. *Behavioural Brain Research*, 104-113.
- Lahav, A., & Saltzman, E. S. (2007). Action Representation of Sound: Audiomotor Recognition Network While Listening to a Newly Acquired Actions. *The Journal of Neuroscience*, 308-314.
- Lankowsky, M. (2009). *The pedagogy of Yuri Yankelevich and the Moscow violin school, including a translation of Yankelevich's article "On the initial positioning of the violinist"* (Tesis doctoral). De la base de datos de Proquest Dissertations and Theses (UMI No. 3344983)
- Lederman, S., & Klatzky, R. (2009). Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception & Psychophysics*, 1439-1459.
- Lohse, K. (2012). *The role of attention in motor learning and control* (Tesis doctoral). De la base de datos de ProQuest Dissertations and Theses (UMI No. 3508016)
- Lumpkin, E., Marshall, K., & Nelson, A. (2010). The Cell Biology of Touch. *JBC: Review*, 237-248.
- Makous, J., Friedman, R., & Vierck, C. (1995). A critical band filter in touch. *The Journal of Neuroscience*, 2808-2818.
- Marshall, M., & Wanderley, M. (2011). Examining the effects of embedded vibrotactile feedback on the feel of a digital musical instrument. *Proc. Conf. on New Interfaces for Musical Expression*. Oslo.
- Meltzoff, A. (2002). Imitación. En R. A. Wilson, & F. C. Keil, *Enciclopedia MIT de Ciencias Cognitivas* (págs. 629-632). Madrid: Editorial Síntesis S. A.
- Oh, H.-S. (2005). *Interpreting J. S. Bach's solo violin sonatas and partitas through Leopold Mozart, Joachim/Moser, and Galamian* (Tesis doctoral). De la base de datos de Proquest Dissertations and Theses. (UMI No. 3181697)

- Oztop, E., Kawato, M., & Arbib, M. (2006). Mirror neurons and imitation: A computationally guided review. *Neural Networks*, 254-271.
- Peh, S., Chow, J., & David, K. (2010). Focus of attention and its impact on movement behaviour. *Journal of Science and Medicine in Sport.*, 70-78.
- Pelinski, R. (2004). Corporeidad y Experiencia Musical. *TRANS Revista Transcultural de Música*, 1-63.
- Proulx, M., Brown, D., Pasqualotto, A., & Meijer, P. (2012). Multisensory perceptual learning and sensory substitution. *Neurosci. BioBehav.*, 1-10.
- Rabin, E., & Gordon, A. (2004). Tactile feedback contributes to consistency of finger movements during typing. *Exp Brain Res.*, 362-369.
- Rizzolatti, G. (2005). The mirror neuron system and imitation. En S. Hurley, & N. Charter (Edits.), *Perspectives on imitation. From neuroscience to social science* (Vol. Vol. 1 Mechanisms of imitation and imitation in animals., págs. 55-76). Cambridge: MIT Press.
- Rodriguez, A (2015). *Importancia del acoplamiento de la resonancia de las efes del violín y una resonancia de su diapason.* (Tesis de licenciatura). Recuperada de: <https://sites.google.com/site/acusticadelviolin/descargas>.
- Román, D. (s.f.). Recuperado el 23 de Mayo de 2014, de <http://www.raco.cat/index.php/EFE/article/viewFile/140077/216446>
- Russo, F., Ammirante, P., & Fels, D. (2012). Vibrotactile discrimination of musical timbre. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1-6.
- Sánchez, R. (2010). Metodologías de primera persona en la enseñanza de habilidades motrices. *Apunts. Educación física y deportes.*, 32-40. Recuperado de <http://www.revista-apunts.com/es/hemeroteca?article=1421>
- Schürmann, M., Caetano, G., Hlushcuk, Y., Jousmäki, V., & Hari, R. (2006). Touch activates human auditory cortex. *NeuroImage*, 1325-1331.

- Seitz, A., & Dinse, H. (2007). A common framework for perceptual learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 148-153.
- Sekiyama, K. (2006). Dynamic spatial cognition: components, functions, and modifiability of body schema. *Japanese Psychological Research*, 48(3), 141-157.
- Shams, L., & Seitz, A. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 411-4117.
- Silnik, M., Trabucco, A., & Yurcik, A. (2004). Entrando a la Música de Cuerpo Entero. *Huellas*, 34-47.
- Suzuki, Y., Gyoba, J., & Sakamoto, S. (2008). Selective effects of auditory stimuli on tactile roughness perception. *Brain Research*, 87-94.
- Toyka, K., & Freund, H.-J. (2006). Music, motor control and the brain. Book review. *Brain*, 2794-2798.
- Tsushima, Y., Seitz, A., & Watanabe, T. (2008). Task-irrelevant learning occurs only when the irrelevant feature is. *Current Biology*, 18(12), K516.
- Umiltà, M., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., y otros. (2001). I know what you are doing: a neurophysiological study. *Neuron*, 31, 155-165.
- UNSW. School of physics. (s.f.). *Music Acoustic*. Recuperado el 09 de 2015, de <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/waves-sound/standing-waves/index.html>
- Vallbo, A., & Johansson, R. (1984). Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand. *Human Neurobiol.*, 3-14.
- Verillo, R., & Bolanowski, S. (2008). Tactile responses to vibration. En D. Havelock, S. Kowano, & M. Vörländer, *Handbook of signal processing in acoustic*. (págs. 1185-1213). New York: Springer.

- Verillo, R., & Bolanowski, S. (2008). Tactile responses to vibration. En D. Havelock, S. Kowano, & M. Vörländer, *Handbook of signal Processing in acoustics*. (págs. 1185-1213). New York: Springer.
- Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. (2007). The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Exp Brain Res*, 332-340.
- Wollman, I., Fritz, C., & Frelat, J. (2012). Vibrotactile feedback in the left hand of violinist. *Proceedings of the Acoustics. Nantes Conferences.*, (págs. 3605-3610). Nantes, Francia.
- Zatorre, R., Chen, J., & Penhune, V. (2007). Whe the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews. Neuroscience.*, 547-558.