

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ciencias de la Computación**

Sonificación interactiva de movimientos de niños con autismo

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Judith Guadalupe Ley Flores

Ensenada, Baja California, México
2017

Tesis defendida por
Judith Guadalupe Ley Flores

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Director de tesis

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera

Dr. José Antonio García Macías



Dr. Jesús Favela Vara
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Computación

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Judith Guadalupe Ley Flores** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación.

Sonificación interactiva de movimientos de niños con autismo

Resumen aprobado por:

Dr. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Director de tesis

Un niño con autismo se caracteriza por sus problemas de conducta social, habilidades de comunicación y comportamientos repetitivos. Adicionalmente es posible que los niños con autismo presenten problemas motrices, los cuales se trabajan con terapias que involucran repeticiones de movimientos para coordinación y control de fuerza. Desafortunadamente, muy pocas herramientas para las terapias motrices proporcionan retroalimentación adecuada para guiar paso a paso los movimientos de los niños. La sonificación interactiva de movimientos, mediante el uso de estructuras de sonidos, se ha implementado para conducir los movimientos de individuos con problemas de motricidad en sesiones terapéuticas. Este tipo de técnica puede definirse como: el uso de sonido dentro de una interfaz humano-computador, donde la señal auditiva provee información sobre datos bajo análisis, o sobre la interacción en sí misma. En este trabajo de investigación se explora como el uso de sonificación interactiva puede apoyar las terapias motrices en combinación con soportes visuales-táctiles y otras herramientas. En esta tesis se siguió una metodología iterativa con diseño centrado en el usuario, para crear estructuras de sonidos que promuevan el movimiento lateral y de empuje en niños con autismo. Se realizó un estudio exploratorio con la intención de conocer si los niños entendían la sonificación y diseñar los sonidos potenciales que apoyan los movimientos. Luego, se realizó un estudio formativo con el fin de acotar y rediseñar los sonidos propuestos. En general se diseñaron dos tipos de sonidos: discretos y continuos, los primeros a su vez se dividen en sonidos discretos con trayectoria y sonidos discretos sin trayectoria. Con el fin de evaluar la propuesta, se desarrollaron e implementaron las estructuras de sonidos en una superficie interactiva y un dispositivo vestibular, los cuales permiten la sonificación de movimientos en las extremidades superiores de niños con autismo. En la última iteración, se llevó a cabo una evaluación sumativa en un entorno real como el Centro Psicopedagógico PASITOS. Los niños realizaron movimientos con ambos dispositivos, demostrando un mayor rendimiento del movimiento de empuje en la superficie interactiva, mientras que para el dispositivo vestibular en el movimiento lateral presentó mayor aceptación. Adicionalmente los sonidos discretos promueven más movimiento de empuje y los sonidos continuos más movimientos de tipo lateral.

Palabras clave: autismo, sonificación interactiva, patrones sensoriales, superficie interactiva, dispositivo vestibular

Abstract of the thesis presented by **Judith Guadalupe Ley Flores** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Computer Science

Interactive sonification for movements of children with autism

Abstract approved by:

Dr. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Thesis Director

A child with autism is characterized by problems of social conduct, communication skills and repetitive behaviors. Moreover, it is possible that children with autism have motor impairments, hence they need practicing repetition of movements during therapeutic interventions for: coordination and control of strength. Unfortunately, nowadays very few tools for motor therapies can provide adequate feedback to guide children's movements. The interactive sonification of movements, using sound structures, has been implemented to conduct the movements of individuals with motor problems in therapeutic interventions. Interactive sonification is defined as the use of sound within a tightly closed human–computer interface where the auditory signal provides information about data under analysis, or about the interaction itself. This research explores how using interactive sonification it could support motor therapies in combination with visual and tactile supports or other tools. In this thesis, we followed an iterative methodology with user-centered design, to create sound structures that promote lateral and pushing movement in children with autism. An exploratory study was realized with the intention of knowing if the children understand the sonification concept and to design the potential sounds to support the movements. Then, a formative study was carried out to define and redesign the proposed sounds. In a general way, two types of sounds were designed: discrete and continue sounds, the first ones are divided into “discrete sounds with trajectory” and “discrete sounds without trajectory”. In order to evaluate the proposal sound structures were developed and implemented on an interactive surface and a wearable device, which allows the sonification of movements in the upper limbs of children with autism. In the last iteration, a summative evaluation was carried out in Psychopedagogical Center PASITOS. The children performed movements with both devices, demonstrating a better performance of the push movement on the interactive surface, while for the wearable device generates more lateral movement. Additionally, discrete sounds promote more push movement and continuous sounds promote more lateral movements.

Keywords: autism, interactive sonification, patterned sensory, interactive surface, wereable device

Dedicatoria

*A mis padres Josefina y Everardo,
A mis hermanos Jesús y José*

**No existen las palabras
para describir lo que
significan para mí.**

*Recuerda nunca dudes,
no llegaste hasta acá
por casualidad.*

Agradecimientos

A mis padres por estar conmigo aun en la distancia, quienes a su manera siempre me brindaron amor, apoyándome, cuidándome y motivándome en lo largo de mi formación profesional.

A mis hermanos, que, aunque no les he podido dedicar el tiempo necesario, siempre me han apoyado y entregado su amor incondicional.

A la Dra. Mónica Tentori Espinosa por su gran apoyo, paciencia, asesoramiento e instrucción; fundamental para el desarrollo de esta tesis.

A los miembros del comité de tesis, por su tiempo, observaciones y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron ahí, apoyándome y acompañadme con paciencia y brindándome ánimos e incluso conocimiento cuando me encontraba sin salida.

A CICESE por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y a CONACYT por el apoyo económico para realizar mis estudios de posgrado.

Tabla de Contenido

Resumen en español	ii
Resumen en inglés	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	viii
Lista de tablas.....	xi
 Capítulo 1. Introducción	 1
1.1 Autismo	1
1.2 Problemas motrices en niños con autismo	1
1.3 Musicoterapia.....	2
1.3.1 Musicoterapia Neurológica	3
1.4 Retroalimentación auditiva para el movimiento.....	4
1.4.1 Sonificación interactiva	4
1.5 Planteamiento del problema.....	5
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Preguntas de investigación.....	7
1.8 Objetivos	7
1.9 Metodología	8
 Capítulo 2. Trabajo relacionado	 11
2.1 Sistemas interactivos para motricidad en niños con discapacidades.....	11
2.2 Sonificación interactiva	15
 Capítulo 3. Diseño de sonidos	 18
3.1 Instrumentos	18
3.1.1 Aplicación móvil “Go-with-the-Flow”	18
3.1.2 Música flexible.....	20
3.2 Diseño de sonidos	20
3.2.1 Estudio exploratorio para el diseño de estructuras de sonidos V1.0	20
3.2.2 Resultados – Estudio exploratorio para el diseño de las estructuras de sonido versión 1.0	24
3.2.3 Estudio formativo para el diseño de estructuras de sonidos V2.0	29

3.2.4	Resultados – Estudio formativo para el diseño de las estructuras de sonido versión 2.0	30
3.3	Diseño de MFS	38
3.3.1	Configuración	38
3.3.2	Arquitectura de MúsicaFlexible “sonificada”	40
3.3.3	Implementación de sonidos	41
3.3.4	Escenario de uso	46
Capítulo 4.	Evaluación sumativa	48
4.1	Instalación de MFS	48
4.2	Instalación para GWF	49
4.3	Procedimiento	50
4.4	Colección y análisis de datos	51
4.5	Resultados - Estudio sumativo	53
4.5.1	Uso y adopción	53
4.5.2	Experiencia musical	55
4.5.3	Repetición de movimientos	60
4.5.4	Hipótesis de sonidos	68
Capítulo 5.	Conclusiones	74
5.1	Aportaciones	76
5.2	Limitaciones	76
5.3	Trabajo futuro	77
	Literatura citada	78
	Anexos	82
	Anexo 1	82
	Anexo 2	85
	Anexo 3	88
	Anexo 4	92

Lista de figuras

Figura 1. Metodología iterativa de diseño centrado en el usuario.	8
Figura 2. Froggy Bobby 1.0 Capturas de pantalla: (a) un mapa que muestra los niveles de FroggyBobby; (B) Bobby atrapar moscas; (C) tienda donde los niños pueden comprar diferentes accesorios para personalizar Bobby (Caro et al. 2015).	12
Figura 3. El sistema SensoryPaint muestra la sombra del usuario en la parte superior de su reflejo y la coloración de los dedos mientras se mueven más cerca de la pantalla (Ringland et al. 2014). ...	12
Figura 4. Vista de una silueta jugando Mo-ta-to (Parés et al. 2005)	13
Figura 5. El prototipo de MúsicaFlexible mostrando como niños interactúan con las actividades disponibles en nuestro prototipo. De izquierda a derecha: un niño borrando una capa negra que tapa las nebulosas del espacio; un niño interactuando con los elementos digitales mientras toca música y un niño interactuando con la tercera actividad, el cual está enfocado en tocar una canción.	14
Figura 6. Dispositivo conectado a la persona en la espalda para sonificar el movimiento del tronco durante el ejercicio de inclinar hacia adelante (Singh et al. 2014).	16
Figura 7. Una niña de 9 años usa GWF en su brazo izquierdo con una banda para sujetar dispositivo vestible (izquierda). Captura de pantalla de la interfaz de configuración de GWF (derecha).	19
Figura 8. Niña de 15 años con autismo jugando MFS.	20
Figura 9. Niño de 7 años usando GWF en su brazo izquierdo con una banda para sujetar el dispositivo vestible (izquierda). Un niño de 9 años usando el sistema unido a un chaleco para rastrear los movimientos del tronco (centro).	21
Figura 10. Frecuencia de ayuda verbal, modelada y física dada por los psicólogos a los participantes (Izquierda), porcentaje promedio del tiempo que los participantes estaban enfocados durante el estudio (Derecha).	25
Figura 11. Frecuencia de movimientos dirigidos y no dirigidos que los participantes realizan por sonido	27
Figura 12. Frecuencia de los movimientos laterales, empuje.	33
Figura 13. Frecuencia de los movimientos laterales, empuje, con y sin dirección.	34
Figura 14. Porcentaje de tiempo en que los participantes enfocan el tiempo durante el estudio con los cinco sonidos diseñados.	35

Figura 15. Frecuencia de niños que preferían un sonido (en 1er, 2do y 3er lugar) según la percepción del psicólogo.	36
Figura 16. Niño de 6 años asocio el sonido discreto sin trayectoria a las manecillas de un reloj.	37
Figura 17. Pantalla de calibración para capturar los datos iniciales y finales por movimiento.	39
Figura 18. Pantalla de configuración para sonidos y movimientos.	39
Figura 19. Diagrama de emplazamiento de MFS.	40
Figura 20. Niño de 10 años realizando el movimiento de empuje con la tela.	42
Figura 21. Ilustra el cambio de dB con respecto a la profundidad en el movimiento de empuje.	42
Figura 22. Niño iniciando el movimiento lateral con la tela.	44
Figura 23. Ilustra el cambio de dB con respecto a la longitud en el movimiento lateral.	45
Figura 24. Instalación de la tela interactiva para usar MFS.	49
Figura 25. Ubicación de las cámaras para videograbar el uso de GWF.	49
Figura 26. Resultado de la encuesta para uso y adopción de los dispositivos “Go-with-the-Flow” (DV) y MúsicaFlexible “Sonificada” (TI).	55
Figura 27. Experiencia musical con base en la percepción de los psicólogos, al observar la reacción de los niños a diferentes sonidos y seguimiento de ritmo con cada dispositivo.	56
Figura 28. Gráfica que permite observar el dispositivo donde realizaban más repeticiones espontaneas, basado en la percepción de los psicólogos, al observar a los niños en la actividad.	58
Figura 29. Grafica que muestra el nivel de distracción en ambos dispositivos por participante.	59
Figura 30. Expresión de emociones positivas (POS) y negativas (NEG) en los dispositivos.	60
Figura 31. Numero de repeticiones por dispositivo, tela interactiva (TI) - dispositivo vestibular (DV).	61
Figura 32. Movimiento dirigido (MOD), Movimiento no dirigido (MND) para empuje.	62
Figura 33. Ayuda dada por los psicólogos en el movimiento de empuje.	63
Figura 34. El dispositivo vestibular muestra más repeticiones del movimiento lateral que con la tela interactiva.	65

Figura 35. Movimiento dirigido (MOD), Movimiento no dirigido (MND), en lateral (tela interactiva (TI), dispositivo vestibular (DV).....	65
Figura 36. Ayuda dada por los psicólogos hacia los niños en el movimiento lateral.	67
Figura 37. Nivel de atención por dispositivos (tela interactiva (TI), dispositivo vestibular (DV).	68
Figura 38. Número de repeticiones porcentual por cada sonido: discreto sin trayectoria (ST), discreto con trayectoria (TD) y trayectoria continua (TC).	69
Figura 39. El número mínimo de repeticiones esperadas es de 10 por cada sonido, en cada uno se analizó los movimientos dirigidos (MOD) y no dirigidos (MND).	70
Figura 40. Movimientos dirigidos (MOD) de tipo lateral por sonido.	72
Figura 41. Movimientos dirigidos (MOD) de empuje por sonido.....	72

Lista de tablas

Tabla 1. Descripción de los movimientos de las extremidades superiores propuestos para los niños con autismo (Caro et al., 2015; Cibrian et al., 2016).	6
Tabla 2. Tabla de sonidos prediseñados en GWF para personas con dolor crónico (Singh et al., 2015).	19
Tabla 3. Participantes del estudio exploratorio.	21
Tabla 4. Esquema de codificación para la observación estructurada de los participantes.	23
Tabla 5. Descripción de estructuras de sonidos V1.0 propuestos para las extremidades superiores.....	28
Tabla 6. Ejemplo de la división de movimientos y asignación de sonidos	30
Tabla 7. Resumen de los resultados de los sonidos preferidos según los comportamientos observados..	31
Tabla 8. Descripción de la propuesta de estructuras de sonidos V2.0 con base en los resultados obtenidos en el análisis del estudio formativo.	37
Tabla 9. Descripción de los participantes del estudio sumativo.	48
Tabla 10. Asignación aleatoria de movimiento y sonido (sin trayectoria (ST), trayectoria discreta (TD), trayectoria continua (TC).	50
Tabla 11. Resumen de colección y análisis de datos del estudio sumativo.....	51
Tabla 12. Esquema de codificación del estudio sumativo.....	52

Capítulo 1. Introducción

1.1 Autismo

Un niño con autismo se caracteriza por problemas de comportamiento social, habilidades de comunicación y la presencia de conductas, intereses y actividades repetitivas. Según los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, aproximadamente uno de cada 68 niños, a nivel mundial, tiene autismo. El autismo es un trastorno neurológico que es tres o cuatro veces más frecuente en los niños que en las niñas (American Psychological Association, 2017).

Los movimientos fundamentales en personas con autismo están divididos en: locomotriz (e.g., correr, galopar, saltar en dos pies, un pie, o intercambiando los pies, y deslizarse) y en sub-pruebas de control de objetos (e.g., golpear, llevar hacia delante el objeto, atrapar, patear, lanzar, rodar). Se ha observado que el desempeño de las habilidades esenciales de movimiento entre la mayoría de los niños con autismo se retrasa considerablemente a finales de la infancia (Staples y Reid, 2010).

La mayoría de los niños con autismo demuestran deficiencias significativas en su motricidad (Fournier et al., 2010; Piochon et al., 2014); es decir, pueden tener control limitado y a menudo demuestran una mala coordinación de extremidades superiores e inferiores (Staples y Reid, 2010). Como consecuencia, los niños con autismo a menudo ejecutan sus movimientos sin dirección, es decir, movimientos sin o con poca precisión guiados en direcciones equivocadas o vagas (i.e., movimiento no dirigido). Determinar en qué momento del desarrollo estas habilidades de movimiento se deterioran es crítico ya que la detección temprana permite mejorar el desempeño de sus habilidades motrices (Staples y Reid, 2010).

1.2 Problemas motrices en niños con autismo

Los movimientos motrices se dividen en finos y gruesos. La motricidad gruesa, está constituida por movimientos que permiten la coordinación de grandes grupos musculares, que intervienen en los mecanismos de control de postura, el equilibrio y los desplazamientos. Los problemas en motricidad gruesa incluyen poco control de movimientos, y falta de coordinación bilateral. Los niños con autismo tienen problemas en los movimientos bilaterales ya que requieren la coordinación en un solo miembro y la integración y secuenciación de acciones de dos o más miembros (Cacola et al., 2009). En contraste, la

motricidad fina se enfoca en la aplicación de fuerza. Los niños con autismo no tienen control de cuanta fuerza aplicar al momento de interactuar con objetos (e.g. toques suaves en una pelota).

Las intervenciones terapéuticas motoras podrían ayudar a los niños con autismo a mejorar sus habilidades finas y gruesas; sin embargo, dependen en gran medida de la práctica y la repetición de diferentes movimientos motores (Sterr et al., 2002). Los movimientos motores que se realizan en estas terapias demandan la reorientación de los movimientos de las extremidades superiores y/o inferiores desde una posición inicial, siguiendo la dirección o trayectoria correcta del movimiento, hasta llegar a un objetivo. Aquéllos movimientos que los niños con autismo logran ejecutar con una buena dirección desde la posición inicial hasta el objetivo se le conocen como movimientos dirigidos (Lederman y Lederman 2005).

Llevar a cabo una intervención terapéutica motora exitosa no es una tarea fácil. Los niños con autismo pasan la mayor parte del tiempo de la terapia practicando movimientos sin un objetivo claro para ellos. Además, los niños con autismo se distraen y pierden el interés debido a que las terapias implican repetición de tareas, que es algo que los niños frecuentemente encuentran aburrido. Por consiguiente, apoyar las terapias para mantener la atención de los niños y animarlos a realizar movimientos hasta llegar a su objetivo, se vuelven particularmente importante para ayudarles en el desarrollo de habilidades motoras. Existe evidencia que indica que la música puede ayudar a las personas con autismo durante las terapias motoras. (LaGasse y Hardy, 2013).

1.3 Musicoterapia

Una terapia que toma ventaja de la música y que ha demostrado mejorar los problemas sensomotrices de los niños con autismo es la musicoterapia. La musicoterapia *“es el uso profesional de música y sus elementos como una intervención en ambientes médicos, educativos y cotidianos con individuos, grupos, familias o comunidades buscando optimizar su calidad de vida, y mejorar su salud física, social, comunicativo, emocional e intelectual y su bienestar. La investigación, la práctica, la educación y la instrucción clínica en la musicoterapia están basadas en estándares profesionales según contextos culturales, sociales y políticos.”* (WFMT, 2011).

Tres de los beneficios destacados de la musicoterapia son (Hunt et al., 2004):

1. Acceso al control de sonidos en tiempo real para personas con movimientos corporales limitados. Por ejemplo, una persona en silla de ruedas con sensores en la cabecera de la silla permite la reproducción de sonidos de flauta con movimientos de cuello y cabeza.
2. Creación de nuevos sonidos.
3. Tecnología de vanguardia que es atractiva para personas que no son talentosas con los instrumentos musicales tradicionales.

1.3.1 Musicoterapia Neurológica

Un tipo de musicoterapia para apoyar el desarrollo motriz es la Musicoterapia Neurológica (NMT, por sus siglas en inglés “Neurological Music Therapy”). NMT es el uso terapéutico de la música para mejorar las disfunciones cognitivas, sensoriales y motrices del individuo debido a una enfermedad neurológica del sistema nervioso (Thaut y Hoemberg, 2014). NMT se está utilizando cada vez más para apoyar la regulación sensomotriz de los niños con autismo con prometedores resultados clínicos (Lagasse y Hardy, 2013). Hay alrededor de 20 técnicas utilizadas en NMT, tres de ellas se centran en el apoyo a la rehabilitación sensomotriz, incluyendo la Estimulación Rítmica Auditiva (RAS), la Mejora de los Patrones Sensoriales (PSE), e Interpretación de Música Instrumental Terapéutica (TIMP).

1.3.1.1 Patrones sensoriales (PSE)

En particular, los patrones sensoriales (PSE, por sus siglas en inglés “Patterned Sensory Enhancement”) es una de las tres técnicas de NMT utilizados para apoyar el sistema sensomotriz haciendo hincapié en el uso de aspectos musicales, rítmicos, melódicos, armoniosos y dinámicos para ayudar a los pacientes a practicar ejercicios físicos. PSE, utiliza todos los elementos musicales en una estructura multidimensional al usar patrones de sonido para dar pautas a patrones de movimiento. Por ejemplo, cuando se trabaja con patrones de sonidos, un terapeuta utiliza los sonidos del instrumento musical para marcar el inicio, continuación y fin de un movimiento.

PSE puede ser usado para un rango amplio de personas desde niños hasta pacientes geriátricos; y poder dirigir las metas relacionadas a estiramiento físico, resistencia, balance y postura, rango de movimientos y otras habilidades motrices de extremidades superiores e inferiores (Thaut y Hoemberg, 2014).

Las sesiones actuales de PSE-NMT manejan retos asociados a fuerza. Por ejemplo, la cantidad de fuerza que el paciente ejerce modifica la velocidad de una pieza musical. Otros aspectos musicales que se modifican con los movimientos de los pacientes incluyen, la dinámica y la armonía. La dinámica se utiliza para crear una sensación de incrementar o disminuir la fuerza del movimiento. La armonía, consiste en crear tensión muscular en un movimiento a través de grupos de tonos musicales (Thaut y Hoemberg, 2014).

1.4 Retroalimentación auditiva para el movimiento

La sonificación es la técnica que utiliza PSE para combinar los sonidos y el ejercicio de extremidades del cuerpo, a fin de que la persona obtenga retroalimentación de sus movimientos y establezca sus límites al moverse. Por ejemplo, una persona con dolor o dificultad de movimiento obtiene retroalimentación al hacer sus tareas domésticas, la persona al escuchar los tonos musicales logra reconocer sonidos estables o continuos, por lo que estos actúan como guía para que el paciente identifique si un movimiento termina o continua (Newbold, Bianchi-Berthouze, Gold, Tajadura-Jiménez, y Williams, 2016; Singh et al., 2014)

1.4.1 Sonificación interactiva

La técnica de sonificación interactiva se define como *“El uso de sonido dentro de una interfaz humano-computador, donde la señal auditiva provee información sobre los datos bajo análisis o sobre la interacción en sí misma.”* (Hermann y Hunt, 2005).

La sonificación interactiva podría guiar los movimientos que realizan los pacientes durante las terapias de rehabilitación, a través de señales temporales, espaciales y de fuerza presente en la música; particularmente cuando se practican los movimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de la vida diaria (por ejemplo, movimientos del brazo y de la mano para alcanzar y agarrar objetos) (Thaut y Hoemberg 2014). Además, hay evidencia de que las técnicas de sonificación son comprensibles por los niños (Danna et al., 2013; Ghisio et al., 2015). Sin embargo, no hay evidencia de cómo estas soluciones

podrían ayudar a los niños con autismo para completar las repeticiones de los movimientos dirigidos durante las intervenciones terapéuticas motoras.

1.5 Planteamiento del problema

A menudo los niños con autismo presentan deficiencias de coordinación al realizar ejercicios de deslizamientos de las extremidades superiores o tienen un control pobre de sus movimientos y con frecuencia se sienten frustrados cuando los movimientos son repetitivos (Fournier et al., 2010).

Una sesión de PSE requiere que los niños con autismo y sus terapeutas tengan conocimiento musical y los instrumentos que se utilizan muchas veces no son adecuados para los niños con autismo dados sus problemas de coordinación y control motriz. Los niños con autismo no cuentan con una guía que los motive a realizar movimientos dirigidos, lo que causa que pierdan el interés en la actividad, por lo que es necesario que se exploren soluciones que proporcionen guía paso a paso a los niños durante estas terapias.

El uso de sonificación interactiva promueve una respuesta intuitiva ante los elementos de su estímulo auditivo, proporciona una guía desde la posición inicial hasta el final del movimiento, y no se necesita de un conocimiento especializado en música (Danna et al., 2013; Ghisio et al., 2015). Sin embargo, no se han diseñado estructuras de sonidos para niños con autismo y no existen soluciones interactivas que utilicen las técnicas de PSE para apoyar a esta población.

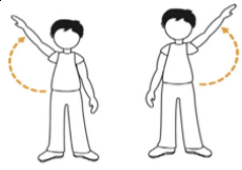
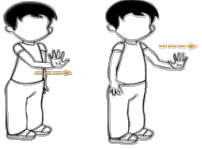
Por lo tanto, en esta tesis se pretenden diseñar y desarrollar estructuras de sonidos que permitan sonificar los movimientos de las extremidades superiores de niños con autismo y evaluar su impacto en la repetición de movimientos dirigidos y experiencia musical. De los movimientos que se practican en una terapia motora este trabajo se enfocará a los movimientos de empuje y lateral de acuerdo a Caro et al. (2015); Cibrian et al. (2016) como se describe en la **Tabla 1**.

Se ha observado que las superficies interactivas (SI) se pueden utilizar para apoyar problemas motrices o de movilidad en niños con necesidades especiales (Caro et al., 2015) para tratar problemas sensomotrices creando música (Troiano et al., 2015). Las superficies interactivas pueden complementarse con la sonificación interactiva ya que permiten la integración de elementos visuales y de audio (Parés et al., 2005). Las SI *“son pantallas que sirven no solo como visualización (salida) sino que permiten la entrada de comandos por medio de los dedos (u otra extremidad) o elementos tangibles específicamente diseñados*

para ello (entrada)” (Pascual Azorín et al., 2012). Los dispositivos táctiles, por ejemplo, prometen ser más fáciles o más cómodos de usar y se piensan a menudo que son más intuitivos; además las SI pueden fomentar la conciencia en entornos colaborativos y proporcionar retroalimentación somestésica (i.e. sensaciones corporales) importante para su interacción (Isenberg et al., 2013)

Las ventajas de las superficies interactivas es que estas permiten al niño realizar de manera divertida sus actividades, además aquellas que son deformables proporcionan más de un estímulo sensorial (e.g. táctil y auditivo). Por lo que, en esta tesis, se integrarán las estructuras de sonido que se diseñen a una superficie interactiva y se comparará su uso con un dispositivo vestible.

Tabla 1. Descripción de los movimientos de las extremidades superiores propuestos para los niños con autismo (Caro et al., 2015; Cibrian et al., 2016).

Movimiento (extremidades superiores)	Descripción	Ejemplo Trayectoria Posición inicial → Objetivo
Movimiento lateral	Posición inicial: Niño de pie con sus brazos al lado. Trayectoria: Los niños mueven cada brazo de arriba hacia abajo "deslizando" de manera lateral dibujando un semicírculo en una trayectoria. Objetivo: Los niños tienen el brazo levantado en el mismo lado donde comienza el movimiento.	
Movimiento de empuje	Posición inicial: Niño posiciona sus brazos flexionados al nivel de su pecho. Trayectoria: Niño mueve los brazos juntos hacia el frente de él. Objetivo: Niño tiene los brazos en posición horizontal.	

1.6 Hipótesis

En esta tesis se hipotetiza:

- Con relación al dispositivo, que la experiencia musical es mejor en la tela interactiva que en el dispositivo vestible, y que los niños realizan más movimiento dirigidos y más repeticiones utilizando la tela interactiva

- Con relación a los sonidos, los sonidos de trayectoria discreta promueven más repeticiones de movimientos dirigidos; los sonidos sin trayectoria promueven más repeticiones, mientras que los sonidos continuos promueven tanto más repeticiones como más movimientos dirigidos.

1.7 Preguntas de investigación

De acuerdo con lo presentado en la sección anterior, esta tesis, se va a guiar con base en las siguientes preguntas de investigación:

[PI1] ¿Los niños con autismo entienden la sonificación de movimientos?

[PI2] ¿Qué estructuras de sonidos son apropiadas para promover las repeticiones y los movimientos dirigidos de niños con autismo?

[PI3] ¿Cuál es la utilidad de la sonificación interactiva en las terapias motoras de niños con autismo?

1.8 Objetivos

En este proyecto nos enfocaremos en el siguiente objetivo general:

Desarrollar estructuras de sonidos para permitir la sonificación interactiva de los movimientos laterales y de empuje de las extremidades superiores de niños con autismo.

Partiendo del objetivo general se propone alcanzar los siguientes objetivos específicos:

[OE1] Diseñar las estructuras de sonido para sonificar los movimientos de los niños con autismo.

[OE2] Implementar las estructuras de sonidos en una tela interactiva como apoyo a las terapias de problemas motrices.

[OE3] Evaluar el impacto de la sonificación interactiva en la experiencia musical, la repetición de movimientos y la ejecución de movimientos dirigidos en una tela interactiva y en un dispositivo vestible.

1.9 Metodología

En esta tesis se siguió una metodología iterativa¹ utilizando técnicas de diseño centrado en el usuario. Se realizaron un total de tres iteraciones. Cada iteración responde a una de las preguntas de investigación (ver **Figura 1**).

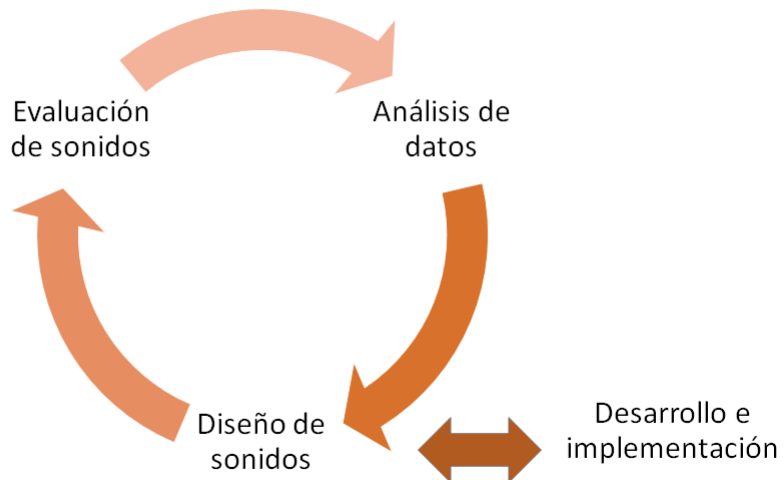


Figura 1. Metodología iterativa de diseño centrado en el usuario.

El proceso metodológico fue el siguiente:

Comprensión inicial del problema. Se realizó una revisión de literatura para conocer el estado del arte del problema.

¹ Metodología iterativa: Metodología que permite realizar una evolución sostenida de la solución a un problema (e.g. un sistema de software), teniendo en cuenta que desde el inicio, la solución seleccionada suele cubrir parte de las necesidades actuales de los usuarios finales. Durante las distintas iteraciones se va agregando funcionalidad adicional al sistema o solución, construyendo así un entorno adecuado para el cumplimiento de los requerimientos del sistema (Caro et al., 2015).

- **Estudio exploratorio - estructuras de sonidos V1.0 (ver Capítulo 3).** En una primera iteración, partiendo de un pre-diseño de sonidos para adultos mayores con problemas de dolor crónico (Newbold et al., 2016), se investigó si los niños con autismo entendían la sonificación y si los sonidos prediseñados eran apropiados para sonificar sus movimientos de las extremidades superiores. Se utilizaron técnicas de observación estructurada y un análisis deductivo para entender el comportamiento de los niños. Los resultados indican que los niños si entienden la sonificación interactiva y se obtuvo el rediseño de los sonidos V1.0 tomando en cuenta las necesidades de niños con autismo.
- **Estudio formativo - estructuras de sonidos V2.0 (ver Capítulo 3).** En la segunda iteración, el diseño de las estructuras de sonido V1.0 se evaluó con un estudio en sitio; para determinar las posibles mejoras, analizar el impacto, y validar si eran efectivos en el apoyo de la sonificación de movimientos y su potencial impacto terapéutico.

Los datos del estudio fueron analizados, dando principalmente un análisis sistemático a los datos. Se realizó una sesión de diseño participativo (grupo focal) para complementar el diseño de las estructuras de sonido donde se trabajó en colaboración con expertos en música, psicología y expertos en Interacción Humano-Computadora (HCI). Los resultados de este estudio indican múltiples beneficios terapéuticos del uso de la sonificación interactiva en relación con la repetición de movimientos y la práctica de movimientos dirigidos, y el rediseño de las estructuras de sonido en su versión V2.0.

- **Desarrollo e implementación (ver Capítulo 3).** Se desarrolló el prototipo de la tela interactiva “sonificada” utilizando los sonidos V2.0. Se modificó el sistema vestible “*Go-with-the-Flow*” (Singh et al., 2015) desarrollado por un estudiante de doctorado en UCL² para integrar los sonidos V2.0. Se utilizaron los lenguajes de programación Processing y Java.
- **Estudio de evaluación sumativa (ver Capítulo 4).** En la última iteración, se evaluó el uso de la tela interactiva y el dispositivo vestible con la versión de sonidos 2.0 en Pasitos³ –una clínica-escuela donde 15 psicólogas-maestras atienden a cerca de 60 niños con autismo. 14 niños con autismo utilizaron la superficie interactiva para realizar los movimientos de empuje y laterales. Se evaluó la utilidad de la sonificación interactiva para promover los movimientos en los niños con autismo;

² Joe Newbold, estudiante de Doctorado en UCL (<https://ucl.ac.uk/people/joseph-newbold>)

³ www.pasitos.org

adicionalmente, se realizó la comparación entre el uso de la tela interactiva y un dispositivo vestible. Los resultados indican que la tela interactiva promueve más movimientos dirigidos de empuje, mientras que el dispositivo vestible fomenta más movimientos dirigidos laterales; con relación a los sonidos, los sonidos discretos con trayectoria motivan a realizar más repeticiones, los sonidos discretos sin trayectoria más repeticiones y movimientos dirigidos de empuje, y los sonidos continuos motivan más repeticiones y movimientos dirigidos laterales.

Capítulo 2. Trabajo relacionado

En este capítulo se presenta el estado del arte en relación con la sonificación interactiva y los sistemas ubicuos basados en movimiento como alternativa para promover la práctica o rehabilitación de capacidades motrices. Esta investigación está enfocada principalmente en los trabajos centrados en dispositivos y superficies interactivas para apoyar la destreza en ese tipo de habilidades (rehabilitación motriz). Se hace énfasis en aquellos que utilizan dispositivos como un teléfono celular “*smartphone*” o superficies interactivas deformables, basados en movimiento dirigidos a niños con problemas de motricidad, en particular a niños con autismo.

2.1 Sistemas interactivos para motricidad en niños con discapacidades

Diferentes autores han propuesto superficies interactivas y juegos serios basado en movimiento para apoyar diversos problemas como: el desarrollo de habilidades sociales (Grierson y Kiefer, 2013; Pares et al., 2005); situaciones relacionadas con problemas de tipo sensorial (Ringland et al., 2014) y actividades para problemas motrices en niños con autismo (Caro et al., 2015). El objetivo de estos proyectos de investigación es mantener la atención de los niños y permitir que realicen las actividades terapéuticas de manera divertida.

Algunos trabajos se han enfocado en apoyar los problemas de movilidad de niños de necesidades especiales. **FroggyBobby**, propuesto por Caro et al. (2015), es un juego serio basado en movimiento que se desarrolló para apoyar la práctica de ejercicios de coordinación motora de los niños con autismo (ver **Figura 2**). La arquitectura de este videojuego incluye un sensor Kinect de Microsoft y una computadora. Los resultados del uso de **FroggyBobby** por niños con autismo, demuestran que FroggyBobby apoya la práctica de ejercicios de coordinación motriz, y los niños exhiben una mejora en su coordinación motriz y practican más movimientos dirigidos.

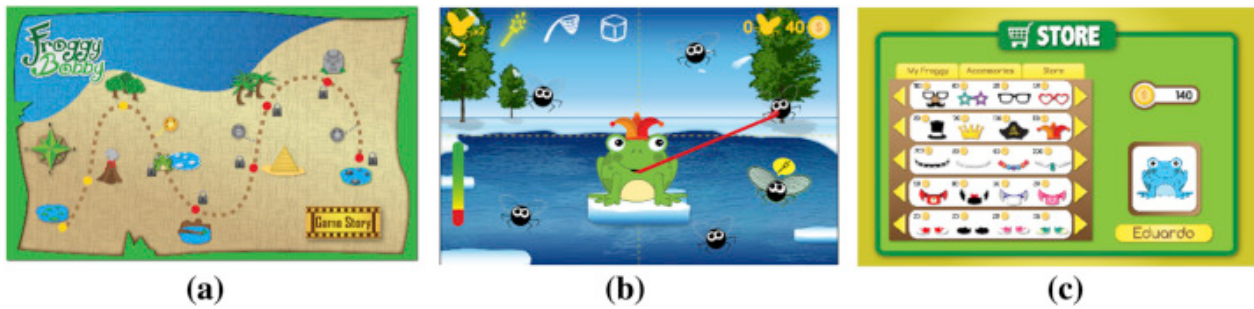


Figura 2. Froggy Bobby 1.0 Capturas de pantalla: (a) un mapa que muestra los niveles de FroggyBobby; (B) Bobby atrapar moscas; (C) tienda donde los niños pueden comprar diferentes accesorios para personalizar Bobby (Caro et al., 2015).

De lo anterior, problemas de movilidad de niños, existe **SensoryPaint** que es un sistema multimodal (visual, táctil y auditivo) el cual permite a los niños con autismo pintar en una pantalla de gran tamaño utilizando pelotas que funcionan como brochas (Ringland et al., 2014). La superficie interactiva muestra un espejo cuya imagen cambia dependiendo de los movimientos del usuario. Un estudio con quince niños con autismo muestra que SensoryPaint mejora las terapias existentes, incrementa la conciencia corporal de los niños y promueve la socialización (ver **Figura 3**).

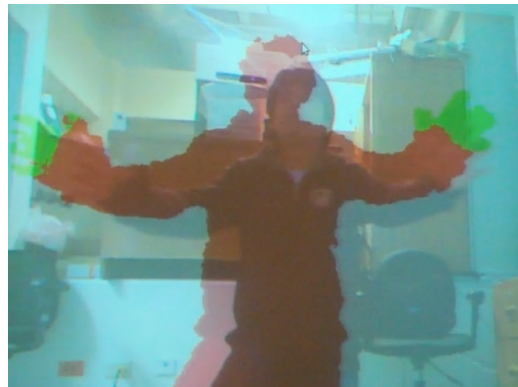


Figura 3. El sistema SensoryPaint muestra la sombra del usuario en la parte superior de su reflejo y la coloración de los dedos mientras se mueven más cerca de la pantalla (Ringland et al., 2014).

MEDIATE es un entorno interactivo que genera estímulos visuales, auditivos y vibro-táctiles en tiempo real para niños entre 6 y 12 años de edad (Parés et al., (2005). Tomando como inspiración el trabajo realizado en MEDIATE y con el objetivo de fomentar el juego, exploración y creatividad en el niño, se creó el modelo MO-TA-TO (MOVE – STAIN ME – TOUCH ME).

Debido a que una de las características propias de las personas con autismo, es la tendencia para realizar actividades repetitivas; cuando el niño entra al entorno de la interfaz de MO-TA-TO, el sistema detecta su presencia y despliega una cuadrícula de pequeñas partículas para comenzar a interactuar (ver **Figura 4**). Los resultados del estudio mostraron una aceptación notable del ambiente, además el entorno ha logrado causar curiosidad en el niño, lo anima a entrar voluntariamente y comenzar a jugar.

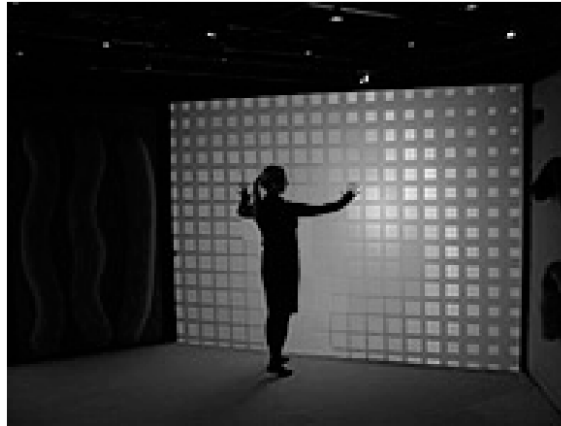


Figura 4. Vista de una silueta jugando Mo-ta-to (Parés et al., 2005)

Dentro de las superficies interactivas en el campo de *Interacción Humano Computadora* (IHC), existen las superficies deformables, las cuales únicamente habían sido probadas en laboratorios. Pocos de estos trabajos se han realizado en apoyar las necesidades de niños con autismo, pero son relevantes para esta tesis ya que nos interesa diseñar una superficie deformable con interacciones musicales.

Troiano et al., (2015) realizó un estudio utilizando diferentes materiales deformables (e.g. caucho transparente, licra, espuma, relleno de colchón, arcilla, etc.) y haciendo pruebas en ambientes libres o no-controlados para músicos. En el estudio participaron músicos expertos y aficionados a la música electrónica, con una edad promedio de 29.7 años. El taller consistió en tres fases: *familiarización*, el participante conoce los objetos deformables; *simulación*, el participante diseña una forma de controlar el sonido en el objeto; y *lluvia de ideas*, permitiendo al participante generar representaciones para usar los materiales a fin de crear música. Por último, los resultados del estudio manifestaron que las interfaces deformables se utilizan principalmente para la manipulación y filtrado del sonido y no para su creación.

Otro ejemplo de superficies deformables es el trabajo conocido como **NoiseBear**, desarrollado por Grierson y Kiefer (2013), el cual presenta un controlador musical diseñado para niños con discapacidades física y cognitivas, en los que es necesario mejorar la comunicación y las habilidades sociales. **NoiseBear**

utiliza un sensor de contacto dentro de un dispositivo inalámbrico conectado mediante un sistema bluetooth de baja energía, alojado en una placa desmontable.

El objetivo del proyecto fue producir un controlador maleable, a partir de talleres de diseño participativo con niños con autismo, que fuese robusto, y lo suficientemente flexible para ser utilizado en una amplia gama de escenarios interactivos. La evaluación mostró que el controlador podría ser atractivo para los niños, y destaco que el diseño es un reto grande para individuos con discapacidades (Grierson y Kiefer 2013).

Este cuerpo de trabajo indica que las superficies interactivas y juegos serios basados en movimiento dados sus estímulos auditivos, táctiles o visuales son adecuadas para apoyar las terapias de niños con autismo. Sin embargo, la mayoría de ellas (NoiseBear (Grierson y Kiefer 2013), SensoryPaint (Ringland et al., 2014) y MEDATE (Parés et al., 2005) se enfocan en apoyar habilidades sociales y sensoriales. En particular, **FroggyBobby** es el único referente que se encontró en la literatura que se ha desarrollado para apoyar el desarrollo motriz en de niños con autismo. Sin embargo, este prototipo no utiliza la sonificación interactiva.

Por último, es importante destacar que la literatura indica que una superficie deformable es más adecuada que una superficie rígida para actividades musicales (Troiano et al., 2015). En especial, las superficies deformables han demostrado que se pueden utilizar por niños con problemas sensomotrices. En particular, en el laboratorio de CICESE, se ha venido desarrollando la superficie deformable **MúsicaFlexible** (MF) por Ortega et al., (2015b).



Figura 5. El prototipo de MúsicaFlexible mostrando como varios niños interactúan con las actividades disponibles en nuestro prototipo. De izquierda a derecha: un niño borrando una capa negra que tapa las nebulosas del espacio; un niño interactuando con los elementos digitales mientras toca música y un niño interactuando con la tercera actividad, el cual está enfocado en tocar una canción.

MusicaFlexible (Cibrian et al., 2016) es una tela interactiva que permite a los usuarios hacer música cuando la tocan (ver **Figura 5**). Los usuarios pueden tocar sonidos de diferentes instrumentos musicales. Las notas musicales están organizadas en una escala musical ascendente iniciando con tonos graves a tonos agudos. MusicaFlexible (MF) tiene como fondo una animación de nebulosas en 3D. Encima de la animación de nebulosas aparecen elementos del espacio como planetas, estrellas, y cohetes que son interactivos y translúcidos. MF es un sistema multi-táctil que utiliza el sensor Kinect, dos bocinas de audio, y un proyector multimedia de corto alcance. Todos estos componentes se encuentran disponibles detrás de la tela. El sensor Kinect, las bocinas, y el proyector están conectados a una computadora de escritorio. MF se evaluó con 24 niños con autismo y una psicóloga que atendieron a una sesión de musicoterapia por 5 minutos rotando de manera aleatoria entre utilizar un piano e interactuar con MF. De manera general, este estudio muestra que MúsicaFlexible apoya exitosamente las sesiones de musicoterapia y mejora a las herramientas tradicionales utilizadas en las sesiones de musicoterapia con diferentes beneficios terapéuticos relacionados con el desarrollo cognitivo, sensorial y motriz (Ortega et al., 2015). Sin embargo, MúsicaFlexible actualmente no tiene mecanismos para la sonificación de movimientos.

2.2 Sonificación interactiva

Diversas investigaciones, han demostrado que la sonificación interactiva es fundamental para proporcionar retroalimentación a los usuarios acerca de sus movimientos en actividades deportivas (Cesarini et al., 2016; Dubus y Bresin, 2013; Schaffert y Mattes, 2015), en actividades de danza (Grosshauser et al., 2012) y para propósitos de rehabilitación (Rosati et al., 2013; Sigrist et al., 2014; Singh et al., 2015).

Existe evidencia de que los niños pueden entender la sonificación de movimientos (Danna et al., 2013; Ghisio et al., 2015); sin embargo, no existen trabajos que han utilizado la sonificación interactiva en apoyo a las necesidades de rehabilitación de movimientos de niños con autismo. Por ejemplo, Danna et al., (2013), utilizaron la sonificación interactiva como un programa de rehabilitación para niños con disgrafía. Los sonidos que diseñaron informan la velocidad de escritura con un sintetizador que frota el sonido en una placa metálica. La sonificación se aplicó de acuerdo con la rugosidad de la superficie y la variación del ruido blanco. La presión vertical de la pluma se utilizó para modificar el volumen de los sonidos. Un estudio de evaluación realizado con siete niños diagnosticados con disgrafía encontró que los niños eran capaces de mejorar su movimiento de escritura a mano, al utilizar la sonificación interactiva. Los niños escribieron

más rápido y más fluido sin reducir la legibilidad de su escritura. Estos estudios proponen que los niños están en capacidad de utilizar y comprender los conceptos relacionados con la sonificación interactiva.

Singh et al., (2015) proponen “*Go-With-The-Flow*”, un marco de trabajo (“*framework*”) diseñado con el fin de crear retroalimentación auditiva en respuesta al movimiento del usuario. GWF es un marco de sonificación que comprende un conjunto de principios de diseño, paradigmas estrategias y elementos de sonidos que facilitan el diseño de estructuras de sonido que se incorporan en dispositivos inteligentes. El objetivo de este marco es facilitar la sonificación de los movimientos. Usando el marco “*Go-With-The-Flow*”, (Singh, et al., 2015; Newbold et al., 2016) en la Universidad “University of Colleague London” desarrollaron una aplicación para un dispositivo vestible llamada de igual manera “*Go-With-The-Flow*” (GWF). GWF usa el acelerómetro y el giroscopio de un celular Android para rastrear los movimientos corporales de los usuarios. El celular se coloca en la parte del cuerpo que se desea sonificar, como en el brazo o espalda. Por ejemplo, cuando se lleva en la espalda, se realiza un seguimiento de los movimientos del tronco. GWF tiene una interfaz visual simple que permite a los usuarios seleccionar un sonido para sonificar y calibrar los movimientos con los sonidos (**Figura 6**). Un estudio del uso de GWF por personas con dolor crónico demostró que la sonificación interactiva puede ser un motivador, informativo, eficaz y atractivo hacia la actividad física. En particular, se encontró que las estructuras de sonido simple son más efectivas para mejorar la conciencia corporal de los usuarios que el uso de sonidos con estructura complejas.

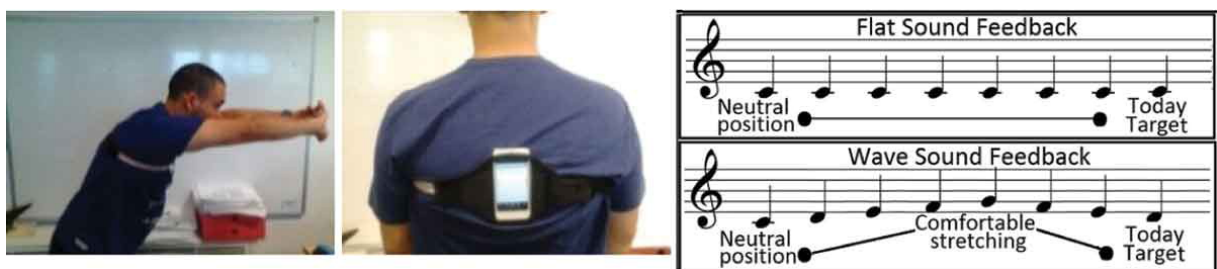


Figura 6. Dispositivo conectado a la persona en la espalda para sonificar el movimiento del tronco durante el ejercicio de inclinar hacia adelante (Singh et al., 2014).

Newbold et al., (2016), Singh et al., (2014) demuestran que la sonificación interactiva podría proveer retroalimentación auditiva para estimular el movimiento de la parte superior del cuerpo en las personas.

Para el caso de niños con autismo, Zhang et al., (2015) sugieren que la técnica de sonificación podría apoyarlos en temas sociales y emocionales, Zhang et al., (2015) proponen un dispositivo que detecta la expresión facial del usuario e interpreta sus emociones para proceder a la sonificación y así contribuir a la modificación del comportamiento.

En esta tesis se plantea explorar las ventajas que ofrece una superficie interactiva flexible y “sonificada”. Por lo que, se estudiarán diferentes estructuras de sonidos para interactuar con una población de niños con autismo de baja y media funcionalidad, principalmente para apoyar la sonificación de los movimientos dirigidos de las extremidades superiores, sin olvidar los problemas de conciencia corporal que los niños con autismo presentan (Bhat et al., 2011).

Capítulo 3. Diseño de sonidos

En este capítulo se presenta el proceso de diseño e implementación de las estructuras de sonidos, y el diseño de una tela interactiva “sonificada”. En primer lugar, se realizó un estudio exploratorio para captar si los participantes entendían la sonificación interactiva y si los sonidos promovían la repetición de movimientos. Después, se realizó un estudio formativo, para identificar los sonidos más adecuados para apoyar el movimiento lateral y de empuje. Por último, se describen los algoritmos que permitieron la implementación de los sonidos en la tela interactiva, Música flexible “sonificada” (MFS).

Los niños con autismo (participantes)⁴ que participaron en los estudios se reclutaron del *Centro de Educación Especial PASITOS*, Tijuana B.C., México. Los participantes fueron video-grabados durante todas las actividades planteadas en cada estudio. Los padres o tutores de los participantes aprobaron su participación firmando un formato de consentimiento (ver **Anexo 1**).

3.1 Instrumentos

En cada uno de los estudios, los participantes utilizaron diferentes versiones de los sonidos, en dos condiciones: utilizando la versión de MFS y/o utilizando el dispositivo flexible “*Go-With-the-Flow*” (GWF).

3.1.1 Aplicación móvil “*Go-with-the-Flow*”

GWF tiene una interfaz visual simple que permite a los usuarios seleccionar un sonido y calibrar los movimientos (ver **Figura 7** – más detalle de cómo funciona esta aplicación en el capítulo 2). Dependiendo de la calibración GWF apoyará con sonido todo el movimiento del participante desde su posición inicial hasta su posición final.

⁴ Para simplicidad de lectura, a partir de aquí se hace referencia a los niños con autismo de baja y media funcionalidad como participantes.

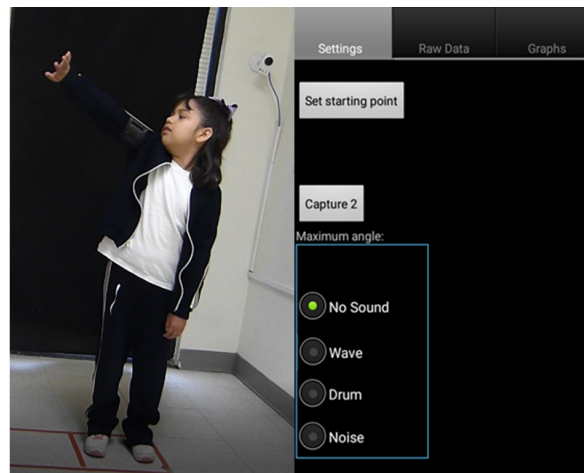


Figura 7. Una niña de 9 años usa GWF en su brazo izquierdo con una banda para sujetar dispositivo vestible (izquierda). Captura de pantalla de la interfaz de configuración de GWF (derecha).

La aplicación original de GWF propone cuatro estructuras de sonidos (ver **Tabla 2**):

- *Sonido plano*: consistente en once repeticiones de una nota musical (do) con el instrumento de piano o xilófono. (el sonido plano no se utilizó en el primer estudio).
- *Sonido ondulado*: el cual está formado por 2 escalas mayores (equidistantes). Las primeras siete notas antes de llegar al objetivo, el tono más alto cuando llega al objetivo, y cuatro notas descendentes al pasar del objetivo. Este sonido se creó con el instrumento de piano o xilófono.
- *Primer sonido continuo*: es un sonido continuo del agua con un “splash” (o chapoteo) al llegar al objetivo.
- *Segundo sonido continuo*: el cual simula el sonido de campanas de viento.

Tabla 2. Tabla de sonidos prediseñados en GWF para personas con dolor crónico (Singh et al., 2015).

Sonido	Descripción	Etapas 1: Antes de llegar al objetivo.	Etapas 2: Cuando llegada al objetivo.	Etapas 3: Pasó del objetivo.
Plano	11 repeticiones del mismo tono	El sonido inicia con el movimiento	Repetición del tono	Repetición del tono
Ondulado	2 escalas mayores separadas por el objetivo.	Siete notas ascendentes equidistantes	Tono más alto de la escala	4 notas descendentes equidistantes después del objetivo
Agua	Sonido continuo de agua	Sonido de flujo de agua	“Splash”	El “splash” se repite
Campanas	Sonido de campas de viento	Sonido continuo de campanas de viento	Sonido continuo de campanas de viento	Sonido continuo de campanas de viento

3.1.2 Música flexible

“*Música flexible*” (MF) es una superficie interactiva que permite a los niños con autismo crear música cuando tocan la superficie de una tela tensionada como se ve en la **Figura 8** (Ortega et al., 2015), más detalle de cómo funciona este prototipo en el capítulo 2). MF utiliza la librería TSPS⁵ para detectar la interacción del usuario con la tela. MF tiene una interfaz de configuración que permite elegir los instrumentos musicales de cómo sonará la tela (p.ej. piano, tambores, flauta).



Figura 8. Niña de 15 años con autismo jugando MFS.

3.2 Diseño de sonidos

3.2.1 Estudio exploratorio para el diseño de estructuras de sonidos V1.0

Para responder la primera pregunta de investigación de esta tesis (ver Capítulo 1, sección 1.7), se realizó un estudio exploratorio con el fin de conocer si los participantes comprendían la sonificación de movimientos, y si los sonidos promovían su repetición. Para este estudio se utilizó la aplicación móvil “*Go-with-the-Flow*” (GWF).

⁵ TSPS, por sus siglas en inglés, Toolkit for Sensing People in Spaces. TSPS es un kit de herramientas multiplataforma para sensar personas en el espacio, contiene un algoritmo de visión por computadora con una interfaz gráfica para su configuración. <http://www.tsp.cc/>

Tabla 3. Participantes del estudio exploratorio.

#Participante	Funcionalidad	Edad	Actividad	Tiempo (aprox.)
1	Baja	6 años	Brazo	2 min
2	Media	7 años	Brazo	2 min
3	Baja	11 años	Brazo, espalda	5 min
4	Media	4 años	Brazo, espalda	5 min
5	Baja	5 años	Brazo	3 min
6	Media	9 años	Brazo, espalda	5 min

Seis participantes no verbales, con una edad promedio de siete años ($\sigma = 2.6$), y un psicólogo del *Centro de Educación Especial PASITOS* participaron en este estudio. Se definieron como criterios de inclusión cualquier niño con autismo asistiendo a Pasitos que no estuviera medicado (ver **Tabla 3**).

3.2.1.1 Procedimiento

Primero, los participantes usaron el teléfono celular con la aplicación de GWF en su brazo izquierdo por dos minutos. Durante este tiempo, los participantes podían subir y bajar su brazo mientras escuchaban uno de los sonidos: notas musicales, agua o campanas de viento (**Figura 9-izquierda**). Después, solo tres participantes aceptaron usar el chaleco para llevar a cabo el ejercicio de estiramiento hacia enfrente durante aproximadamente 3 minutos (**Figura 9-centro**). El psicólogo proporcionó ayuda verbal, modelada o física cuando era necesario.

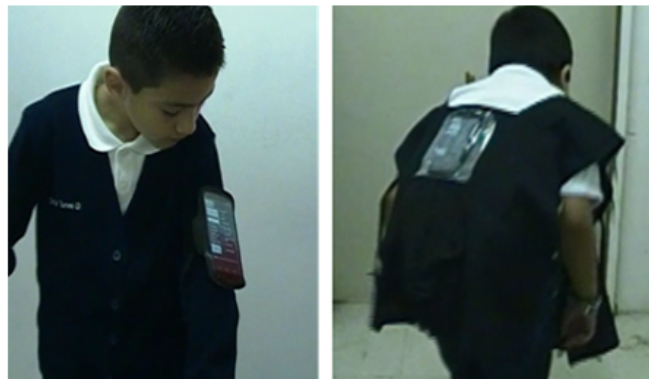


Figura 9. Niño de 7 años usando GWF en su brazo izquierdo con una banda para sujetar el dispositivo vestible (izquierda). Un niño de 9 años usando el sistema unido a un chaleco para rastrear los movimientos del tronco (centro).

Se realizaron entrevistas semi-estructuradas con cinco psicólogos con una duración de 30 min. Las maestras que participaron en la entrevista vieron a los niños utilizando la aplicación GWF y discutieron su percepción general de lo que observaban en el video. Se les preguntó específicamente la reacción de los participantes al usar la aplicación GWF, su potencial impacto terapéutico y si los participantes entendían que sus movimientos producían los sonidos. Debido a las restricciones de tiempo, cada psicólogo observó el video de tres participantes que fueron seleccionados al azar (ver **Anexo 2**).

3.2.1.2 Análisis de datos

El análisis de datos del estudio siguió un enfoque de método mixto. Para analizar las grabaciones de vídeo, se utilizaron técnicas inspiradas en observación estructurada (Bhat et al., 2011). Se examinaron todos los videos y sistemáticamente se etiquetaron los comportamientos de los participantes siguiendo un esquema de codificación predefinido (ver **Tabla 4**).

Se estimó, para cada participante y bajo cada condición, la estadística total y descriptiva del tiempo y la frecuencia que los participantes pasan ejecutando cada comportamiento. Todas las entrevistas con el psicólogo se grabaron y transcribieron. Para analizar los datos de las entrevistas, se utilizaron enfoques analíticos deductivos. La codificación deductiva examinó los comentarios de los psicólogos referentes a las observaciones y su percepción del comportamiento en los participantes, con el fin de entender si apoyaban o contradecían la pregunta de investigación. Por último, utilizamos enfoques inductivos para permitir que nuevos temas emergieran de nuestros datos.

Tabla 4. Esquema de codificación para la observación estructurada de los participantes.

Evento	Código	Definición	Medir
Tipo de movimiento			
brazo	L	Si el niño realiza el ejercicio de elevar y bajar sus brazos	Repeticiones
espalda	C	Si el niño realiza el ejercicio de flexionar su espalda	
Otro	OM	Si el niño asocia otro movimiento con el sonido aplicado.	
Atención			
En la tarea (on task)	ONT	El niño está prestando atención en el desempeño de la actividad	Tiempo
Fuera de la tarea (off task)	OFT	El niño no está prestando atención.	
Expresión de emociones			
Positiva	POS	Demostración de alguna expresión emocional positiva mientras realiza la repetición (e.g. sonrisa, risas, sonidos)	Repeticiones
Negativa	NEG	Demostración de alguna expresión emocional negativa mientras realiza la repetición (e.g. vergüenza, susto)	
Ninguna	NIN	Demostración de ninguna expresión emocional mientras realiza la repetición, es decir, se muestra indiferente.	
Ayuda del movimiento			
Verbal	V	Tipo de apoyo que los niños requieren para realizar los ejercicios, solo siguiendo instrucciones de voz (e.g. brazos arriba, brazos abajo).	Repeticiones
Modelada	M	Tipo de apoyo que los niños requieren para realizar los ejercicios, por medio de la demostración visual del ejercicio (e.g. el niño imita el ejercicio de su maestra).	
Física	F	Tipo de apoyo que los niños requieren para realizar los ejercicios, por medio movimientos con guía de contacto físico (e.g. la maestra toma la mano del niño y le guía hacer el movimiento).	
Ninguno	NN	Si el niño no recibió apoyo de ningún tipo para realizar los ejercicios.	
Ejercicios			
Movimiento	MO	Cuando el niño mueve sus brazos para practicar el movimiento que le corresponde al escuchar el sonido.	Repeticiones
No hay movimiento	NMO	Cuando el niño no mueve sus brazos para practicar el movimiento que le corresponde aun escuchando el sonido o al dar una instrucción.	
Dirección del movimiento			
Movimiento dirigido	MOD	Si el movimiento realizado por el niño va desde su punto de inicio indicado a su objetivo.	Repeticiones
Movimiento no dirigido	MND	Si el movimiento realizado por el niño no va de acuerdo con su punto de inicio y hacia su objetivo indicado con anterioridad.	

3.2.2 Resultados – Estudio exploratorio para el diseño de las estructuras de sonido versión 1.0

3.2.2.1 Uso y adopción

Los psicólogos que se entrevistaron reportaron que los participantes se encontraban motivados cuando usaron la aplicación GWF. Los psicólogos consideraron fácil de utilizar GWF, y percibieron que los niños aprendieron a generar rápidamente diferentes sonidos con un entrenamiento sencillo.

“—Les gusta mucho (GWF), yo creo que ellos disfrutaban mucho [generar los sonidos].” Psicóloga A⁶

Los psicólogos mencionaron que ninguno de los participantes exhibió expresiones negativas cuando usaban la aplicación (ej. ninguno de ellos cubría sus orejas cuando escuchaba los sonidos o decía una expresión negativa como “¡no!”). Un psicólogo también agregó que los participantes disfrutaron el producir sonidos mientras ellos se movían. Incluso, un participante mostró iniciativa para descubrir más sonidos y explorar diferentes movimientos para producir diferentes tipos de sonidos:

“— (el movimiento) fue muy natural, cuando (el participante A) estaba usando el chaleco, se inclinó de manera diferente, él estaba tratando de descubrir diferentes sonidos.” Psicólogo B

Cuando se preguntó a los psicólogos sobre cuál era el sonido preferible por cada participante, ellos no podían estar de acuerdo sobre un sonido en específico (ej. *“—creo que el agua (fue el sonido que él participante D disfrutó más).” Psicólogo S*; *“—yo creo que el (participante U) se emocionó más con el sonido de campanas de viento.” Psicólogo P*; *“—Creo que (al participante B) lo motivó el [sonido de] piano, fue como el [sonido] más motivante para él.” Psicólogo B*

Aproximadamente, la mitad de los participantes prefieren el sonido de campanas de viento. Dos de los seis participantes prefieren el sonido de piano y uno de los participantes el sonido de agua.

En general, estos resultados sugieren que GWF ofrece una experiencia agradable. GWF representa una experiencia amigable para los participantes, permitiéndoles explorar espontáneamente cómo producir los sonidos. Los participantes disfrutaron al utilizar el dispositivo, a pesar de su miedo a estar expuestos a nuevas experiencias (American Psychiatric Association, 2013).

⁶ Psicólogo entrevistado presente durante la actividad en el estudio exploratorio

3.2.2.2 Aprender a generar sonidos

Los resultados cuantitativos indican que después de escuchar cada sonido la curva de aprendizaje decrece (**Figura 10-** izquierda). Los participantes necesitan diferentes ayudas (verbal, modelada o física) para descubrir cómo usar el dispositivo, y con el tiempo estas ayudas pudieran ir disminuyendo. Por ejemplo, en promedio, los participantes reciben 80% del tiempo ayudas del psicólogo al escuchar el primer sonido, 66% al escuchar el segundo y 35% con el tercero (**Figura 10-** derecha).

Por otro lado, los psicólogos comentaron que en su percepción la curva de aprendizaje se redujo a través del tiempo:

“— el primer [participante, que uso GWF en] el brazo [con el sonido] del agua como que no [entendía, y con el sonido de] piano todavía no asociaba. No le [interesaba] tanto [la actividad] y ahorita que ya sabe que es él [quien hace los sonidos con su movimiento] ya está más interesado [porque sabe cómo realizar la actividad].” – Psicólogo C

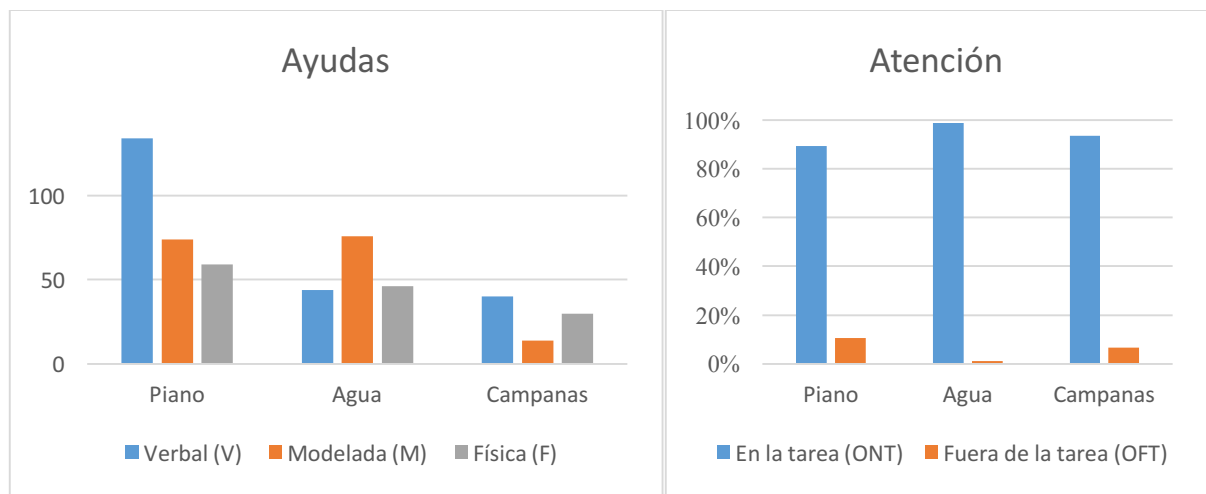


Figura 10. Frecuencia de ayuda verbal, modelada y física dada por los psicólogos a los participantes (Izquierda), porcentaje promedio del tiempo que los participantes estaban enfocados durante el estudio (Derecha).

Por lo tanto, estos resultados sugieren que los niños con autismo severo requieren utilizar el dispositivo por más de una vez y con ayuda de los maestros para aprender a producir sonidos utilizando GWF. Esto exigirá diseñar una estructura de sonidos más comprensible para los niños con autismo, con el propósito que las estructuras pudieran proporcionar una guía mientras los niños están haciendo sus movimientos.

3.2.2.3 Potencial impacto de desarrollo

Los psicólogos percibieron que el uso de GWF podría ayudar a niños con autismo a mantener su atención, a ganar un poco de conciencia sobre sus movimientos, y mejorar su desarrollo motor.

3.2.2.3.1 Atención

Los psicólogos observaron que la mayoría de los niños se mantuvieron enfocados y seguían la instrucción proporcionada por GWF, lo cual puede impactar en su atención.

“— [Go-With-the-Flow puede servir para mejorar] su concentración porque tienen que poner atención hasta donde oyen el sonido.” Psicólogo P

De acuerdo con nuestros resultados cuantitativos, en promedio, los participantes estuvieron el 91% del tiempo centrado en la actividad. Cuando los participantes usaron el sonido del agua, se concentraron el 98% del tiempo, en contraste con el sonido de Piano y las campanas de viento, que estaban enfocados el 90% del tiempo (**Figura 10** - Derecha). Este resultado pudiera indicar que GWF captura la atención de los participantes de manera efectiva.

3.2.2.3.2 Desarrollo del motor

Todos los psicólogos percibieron que GWF podría potencialmente ayudar a los participantes a desarrollar habilidades motoras. Específicamente, percibieron que GWF podría fomentar más repeticiones de movimientos durante las intervenciones terapéuticas motoras. Por ejemplo, los psicólogos explicaron que GWF, podría ser útil para ayudar a los niños con autismo a practicar movimientos laterales:

“—Creo que [GWF podría impactar] en las habilidades motoras gruesas, ya que motiva a los niños a hacer movimientos.” Psicólogo L

“—creo que en trabajar lateralidad... el hacer los movimientos [o] el levantar, por ejemplo, mano izquierda, mano derecha.” Psicólogo A

Los resultados cuantitativos muestran que los participantes realizaron un promedio de 34 movimientos mientras usaban la aplicación GWF con la banda del brazo, y 22 movimientos mientras usaban el chaleco.

De esos movimientos, el 38% se realizó con el sonido de piano, el 30% con el sonido de agua y el 32% con los sonidos de campana de viento.

Además, los psicólogos coincidieron en que los sonidos podrían proporcionar retroalimentación sobre la dirección del movimiento (ej. “—el sistema [GWF] podría tener un impacto en el desarrollo motor, los niños con autismo podrían entender en qué dirección se están moviendo el brazo.” **Psicólogo L**). Los resultados cuantitativos muestran que el 56% de los movimientos fueron movimientos dirigidos (**Figura 11**). De estos movimientos dirigidos, el 22% se realizaron con el sonido del agua, 20% con el piano y 14.15% con el sonido de campanas de viento.

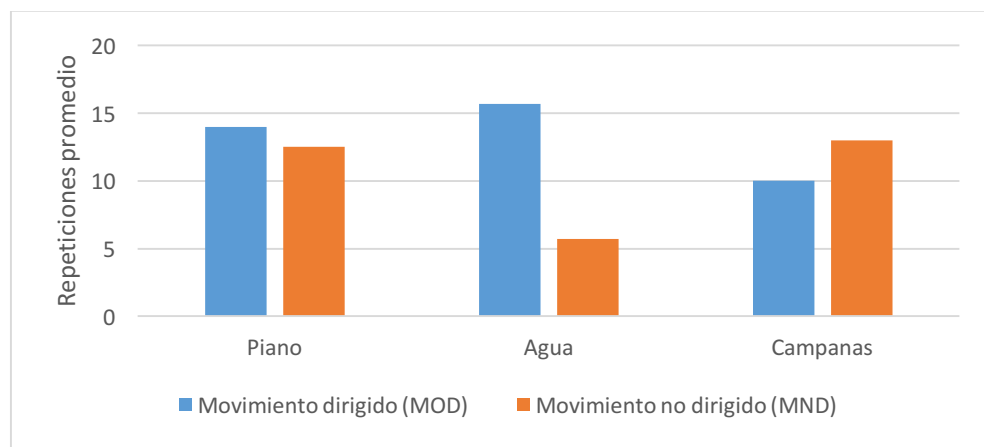


Figura 11. Frecuencia de movimientos dirigidos y no dirigidos que los participantes realizan por sonido

Estos resultados sugieren que *GWF* pudiera fomentar las repeticiones de movimientos y que los sonidos podrían proporcionar información útil a los niños con autismo respecto a sus movimientos. Esto genera preguntas de investigación para estudiar los potenciales usos de la sonificación interactiva como una intervención terapéutica para apoyar a niños con autismo.

3.2.2.4 Selección del diseño de movimientos y sonidos.

El principal resultado de este estudio incluyó la lista de movimientos motores validados por el psicólogo y también disponibles en la literatura (Cibrian et al., 2016; Caro et al., 2015), ver más detalle en el Capítulo 1 y **Tabla 1**.

Se diseñaron cinco sonidos potenciales (ver **Tabla 5**). Los sonidos podrían proporcionar retroalimentación durante todo el movimiento o únicamente en la posición inicial, y al llegar al objetivo del movimiento. El sonido *ondulado* era el sonido que mejor animaba a los participantes a realizar el movimiento, por ello se diseñaron tres variaciones de este sonido.

Tabla 5. Descripción de estructuras de sonidos V1.0 propuestos para las extremidades superiores.

Tipo de sonificación del movimiento	Sonidos	Descripción	Posición inicial 	Trayectoria 	Objetivo 	Paso del objetivo.
Discreta sin trayectoria	Discreto	Sonido que simula el movimiento de un reloj de péndulo (“tic - tac”)	Sonido de “tic”, cuando el movimiento inicia	Sin trayectoria	Sonido de “tac”, cuando llega al objetivo	Sin sonido
Discreta con trayectoria	Base simple de notas	Escala mayor ascendente, con el instrumento de piano	Nota tónica	Notas ascendentes de la escala a partir de la nota tónica.	Nota tónica en una octava arriba (Do agudo)	Sin sonido
	Canción	Estrellita ¿Dónde estás?, versión instrumental, se utilizan los primeros dos compases de la canción sin acordes.	Nota inicial de la canción	Notas de la canción	Nota final del segundo compás	Sin sonido
Continuo	Agua	Sonido continuo de agua	Flujo de agua	Sonido continuo de agua	“splash”	El sonido de “splash” se repite
	Viento	Sonido de viento	Inicio del movimiento con un volumen bajo de viento	Incremento progresivo del volumen de viento	Volumen alto de viento	Mantiene volumen alto de viento

Estas variaciones se definen como "sonidos discretos", puesto que se dividen en intervalos equidistantes que promueven la sonificación. Por lo tanto, es posible brindar retroalimentación del movimiento con base en los momentos predefinidos al dividir el sonido. En general se diseñaron dos tipos de sonidos:

1. Sonidos discretos sin trayectoria (ST): son aquellos sonidos que sólo proporcionan retroalimentación en la posición inicial y al llegar al objetivo. Con el propósito que ST fuese fácil de reconocer por los niños y pudiese no molestarles, se identificó el sonido de un reloj (con péndulo) podría proporcionar una señal que mantuviera el ritmo del movimiento, el sonido de "tic" (posición inicial) y "tac" (posición objetivo).
2. Sonidos discretos con trayectoria (TD): Sonidos que proporcionan retroalimentación durante la trayectoria del movimiento. Por ejemplo, las notas de un sonido basado de escala mayor ascendente se dividen equitativamente entre la posición inicial y final del movimiento.

De igual forma se proponen dos "sonidos continuos", estos sonidos proporcionan una retroalimentación continua desde la posición inicial del movimiento hasta el objetivo. Por ejemplo, los sonidos de un flujo continuo de agua y/o viento (ver **Tabla 5**).

3.2.3 Estudio formativo para el diseño de estructuras de sonidos V2.0

Este estudio exploratorio se realizó para responder la segunda pregunta de investigación (ver Capítulo 1, sección 1.7), la cual consiste en entender que sonidos son apropiados para promover las repeticiones laterales y de empuje en niños con autismo (ver **Tabla 1**). Se realizó el estudio in situ para probar los movimientos con los sonidos presentados en el estudio exploratorio (**Tabla 5**).

En este estudio se incluyeron nueve participantes con una edad promedio de 5.89 años ($\sigma = 1.5$), y un psicólogo. Se definieron como criterios de inclusión niños con autismo asistiendo a Pasitos que no participaron en el estudio anterior.

3.2.3.1 Procedimiento

De manera aleatoria se asignó un tipo de movimiento lateral o de empuje para cada participante. Posteriormente, cada participante realizó por lo menos tres repeticiones con los cinco sonidos disponibles (ver **Tabla 6**).

Tabla 6. Ejemplo de la división de movimientos y asignación de sonidos

Niño	Movimiento	Sonido	Repeticiones
Niño1	Lateral	Canción	Tres por sonido
		Discreto	
		Piano	
		Agua	
		Viento	
Niño2	Empuje	Viento	Tres por sonido
		Agua	
		Piano	
		Discreto	
		Canción	

3.2.3.2 Colección y análisis de datos

Todas las sesiones se video-grabaron. Al final de la actividad de cada participante, el psicólogo ordenó los sonidos (OS) según su percepción en las preferencias de los niños asignando 1 al sonido más agradable y 5 al menos agradable. El psicólogo contestó una breve entrevista semi-estructurada para explicar cómo se sentía el niño al escuchar los diferentes sonidos.

Se calculó la frecuencia para analizar los datos del ordenamiento de sonidos (OS). Las entrevistas semiestructuradas se analizaron utilizando técnicas de teoría fundamentada y diagrama de afinidad.

3.2.4 Resultados – Estudio formativo para el diseño de las estructuras de sonido versión 2.0

3.2.4.1 Uso y adopción

Ocho participantes respondieron exitosamente a las estructuras de sonidos V1.0 (se excluyó a un participante debido a que no quería entrar al cuarto). La psicóloga reportó que todos los participantes querían mover sus brazos después de escuchar los sonidos:

“—Creo que estaba muy animado, le gusto el sonido, y de hecho estaba hasta riéndose.” Psicólogo K

De acuerdo con el tipo de sonificación, el psicólogo creía que los participantes preferían “los sonidos discretos con trayectoria”; especialmente, el sonido de canción. Explicó que a los participantes les había

gustado el sonido de canción porque estaban familiarizados con la canción que se tocaba (“estrellita ¿dónde estás?”):

“—Creo que lo que le llamo más la atención, si te fijaste (participante G) se sabía la canción de estrellita ¿dónde estás? y como le gustó mucho (comenzó a) bailar.” Psicólogo K

Los datos observados respecto a la expresión de emociones confirman los resultados. Seis de ocho participantes muestran emociones positivas (tiempo promedio = 71%) durante la actividad. Incluso algunos de ellos reían mientras escuchaban el sonido (aun cuando los niños con autismo severo apenas exhiben emociones). Solo un participante sintió algún tipo de expresión negativa (tiempo promedio = 1%). Respecto al tipo de sonido, en general, los participantes se sienten más positivos cuando escuchan “el sonido discreto”. Específicamente estuvieron más positivos con “los sonidos discretos con trayectoria” y mostraron menos emociones positivas cuando escucharon el “sonido continuo con trayectoria” (ver los detalles en la **Tabla 7**).

Tabla 7. Resumen de los resultados de los sonidos preferidos según los comportamientos observados.

	Descripción	Discreto sin trayectoria (tambores)	Discreto con trayectoria (canción)	Discreto con trayectoria (Escala de notas)	Continuo (Viento)	Continuo (Agua)
Uso y adopción	Expresiones positivas (% de tiempo por sonido)	72%	80%	78%	66%	45%
	Ayuda (% de ayudas por sesión)	6%	8%	14%	14%	17%
Potencial impacto terapéutico	Repeticiones (% de repeticiones por sesión)	25%	17%	18%	17%	23%
	Movimientos dirigidos (% de repeticiones por sonido)	82%	96%	92%	88%	82%
	Atención (% de tiempo por sonido)	35%	51%	55%	32%	54%

Una posible explicación es que los participantes disfrutaran de las canciones infantiles, entonces, los "sonidos discretos con trayectoria" podrían ser un poco "familiares" para ellos. En contraste, los participantes no reconocieron que los "sonidos continuos" eran sonidos del agua o del viento. Los resultados indican que los "sonidos familiares", son la mejor opción para sonificar los movimientos de los niños con autismo. Se sugiere utilizar sonidos que sean más atractivos y comprensibles.

Todos los participantes necesitaban ayuda verbal, modelada o física para realizar la actividad. Los participantes necesitaban menos avisos mientras escuchaban el "sonido discreto sin trayectoria" y necesitaban más indicaciones al escuchar el "sonido continuo" (ver Tabla 7). Quizás, los participantes encontraron el "sonido discreto sin trayectoria" más comprensible y eran capaces de combinar mejor estos sonidos con sus movimientos, principalmente porque la posición inicial y final del sonido es más fuerte. En general, nuestros resultados sugieren que los participantes disfrutaron de los sonidos propuestos, exhibieron emociones positivas, y necesitaron poco tiempo de instrucciones para entender cómo producir el sonido con sus movimientos.

3.2.4.2 Repetición de movimientos

Los participantes realizaron un promedio de 18.75 repeticiones. Debido a que uno de los participantes no accedió a realizar la actividad correspondiente al movimiento de empuje, sólo dos de ellos efectuaron este ejercicio. Aunque se solicitó a cada participante realizar 15 repeticiones en total (3 repeticiones por sonido). En promedio se realizaron 19.33 repeticiones de movimientos laterales; y 19.5 repeticiones de movimientos de empuje (ver **Figura 12**). Aunque los participantes realizaron más movimientos de empuje, los resultados cualitativos indican que dicho movimiento podría ser el más difícil de realizar para ellos.

“—Es más difícil, de hecho, [realizar el movimiento de empuje] ellos batallan mucho con lo de flexibilidad, no tiene mucha flexibilidad, [practicar el movimiento de empuje] para ellos es más difícil.” Psicólogo K

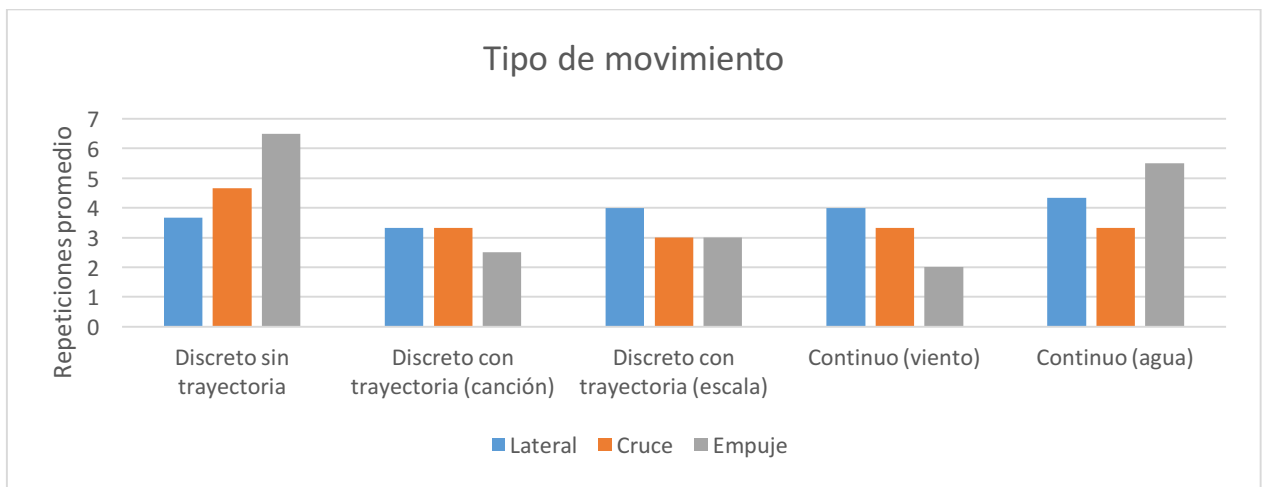


Figura 12. Frecuencia de los movimientos laterales, empuje.

Estos resultados sugieren que, aunque los movimientos pueden ser difíciles de realizar por los participantes, la sonificación puede ayudarles a completar con éxito las repeticiones que necesitan practicar durante las intervenciones terapéuticas motoras.

Según el tipo de sonido, los participantes realizaron más repeticiones al escuchar los "sonidos discretos sin trayectoria" (25% de la repetición realizada por el participante fueron con este sonido), y menos con el "sonido continuo" (17%). (**Tabla 7**). El psicólogo y los músicos atribuyen este comportamiento, a que los "sonidos discretos sin trayectoria" son muy rítmicos ayudándoles a realizar más repeticiones.

“—Creo que desde el principio (el Participante V) empezó a mover los brazos, (refiriéndose a cuando el participante estaba escuchando el sonido sin trayectoria) y los movió con el ritmo de la música.” Psicólogo K

Estos resultados sugieren que las estructuras de sonidos que sonifican la posición inicial y final de los movimientos, como los "discretos sin trayectoria", promueven más repeticiones ya que este tipo de estructuras son más rítmicas. Una posible explicación es que estos sonidos tienen un patrón predictivo que los niños interpretan fácilmente fomentando la repetición. Por el contrario, el "sonido continuo" no proporciona una pista comprensible para los niños con autismo; en especial no es claro cuándo termina el movimiento; ya que el sonido siempre está sonando.

3.2.4.3 Movimientos dirigidos

El 87% de todas las repeticiones de los movimientos realizados por los participantes durante el estudio fueron movimientos dirigidos⁷ (Figura 12). Nuestros resultados indican que los niños realizaron más movimientos dirigidos cuando escuchaban los "sonidos discretos con trayectoria" (96% de movimientos dirigidos), que al escuchar los "sonidos discretos sin trayectoria" (82% de movimientos dirigidos) y el "sonido continuo" (2% de Movimientos dirigidos) (Figura 13, Tabla 7).

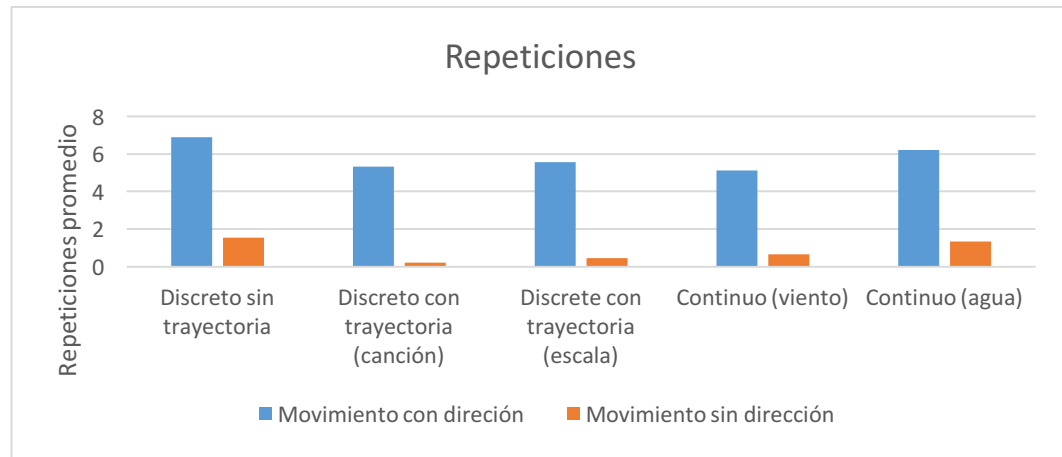


Figura 13. Frecuencia de los movimientos laterales, empuje, con y sin dirección.

El psicólogo cree que la sonificación de la trayectoria de los movimientos permite a los participantes mantenerse más enfocados en la trayectoria de sus movimientos.

“— [El participante estaba] como más quieto, como poniendo más atención al [sonido de] piano mientras hacia el movimiento.” Psicólogo K

Pareciera que la sonificación de la trayectoria del movimiento, especialmente cuando los sonidos de la trayectoria son iguales, podrían servir como bases intermedias que podrían proporcionar guía paso a paso de la dirección del movimiento. Esta guía también podría servir como una recompensa a corto plazo que potencialmente podría animar a los niños a lograr el objetivo del movimiento.

Estos resultados sugieren que existe una compensación entre el aumento del número de repeticiones y los movimientos dirigidos según el tipo de sonido que se está escuchando. Si bien, por ejemplo, la

⁷ Un movimiento dirigido se define como aquellos movimientos que los niños realizan dirigiendo su brazo derecho o izquierdo hacia el objetivo (Caro et al., 2015).

estructura simple del "Sonido discreto sin trayectoria", que sólo sonifica la posición inicial y final del movimiento, estimula más repeticiones, no promueve el realizar movimientos dirigidos. En contraste, el "Sonido discreto con trayectoria" parece aumentar el número de movimientos dirigidos, pero no aumenta el número de repeticiones completas.

3.2.4.4 Atención

Los resultados muestran que, en promedio, los participantes se mantuvieron enfocados el 39% del tiempo durante la actividad. El psicólogo percibió que los sonidos facilitaban la atención de los participantes mientras movían los brazos.

“—Bueno igual creo que con sonido esta mejor, porque les llama más la atención.” Psicólogo k

Se observó que los participantes se mantuvieron más enfocados al escuchar los "sonidos discretos con trayectoria" (55% del tiempo) que al escuchar los "sonidos continuos con trayectoria" (32% del tiempo, ver **Figura 14**). Esto se pudiera explicar ya que los "sonidos discretos con trayectoria" (por ejemplo, escala ascendente) facilitan la integración entre los estímulos auditivos con el movimiento permitiendo que los niños permanezcan más enfocados durante la actividad.

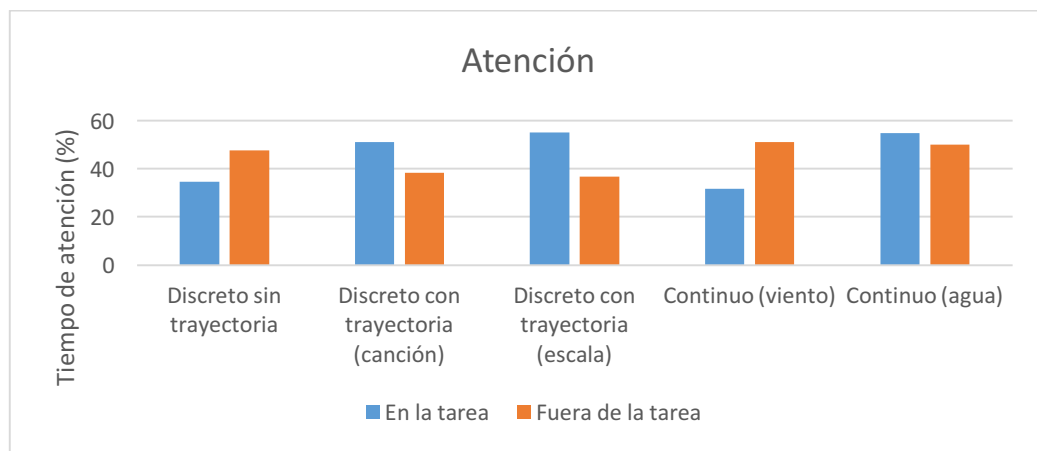


Figura 14. Porcentaje de tiempo en que los participantes enfocan el tiempo durante el estudio con los cinco sonidos diseñados.

Mientras que los participantes realizaron más repeticiones sin mucha ayuda al escuchar "Sonidos discretos sin trayectoria", el número de movimientos dirigidos y su atención fue un poco baja. Por el contrario, al escuchar los "sonidos discretos con trayectoria" los individuos se mantuvieron más centrados, exhibieron más emociones positivas y más movimientos, necesitaron más indicaciones e hicieron menos repeticiones.

En general, nuestros resultados sugieren que los sonidos que se rediseñaron ayudan a los niños con autismo a mantenerse enfocados durante las intervenciones terapéuticas motoras. Sin embargo, el tipo de sonido es altamente determinante de su impacto terapéutico.

Los resultados obtenidos en la encuesta de ordenamiento de sonidos, con base en la percepción del psicólogo, muestran que 3.5 de los participantes en promedio preferían los "sonidos discretos con trayectoria" (canción y piano) en primer lugar, seguido por el "sonido discreto sin trayectoria" (tambor); y, por último, el sonido continuo de viento presentó un comportamiento aceptable al ser preferido por dos niños en 2do lugar (ver **Figura 15**).

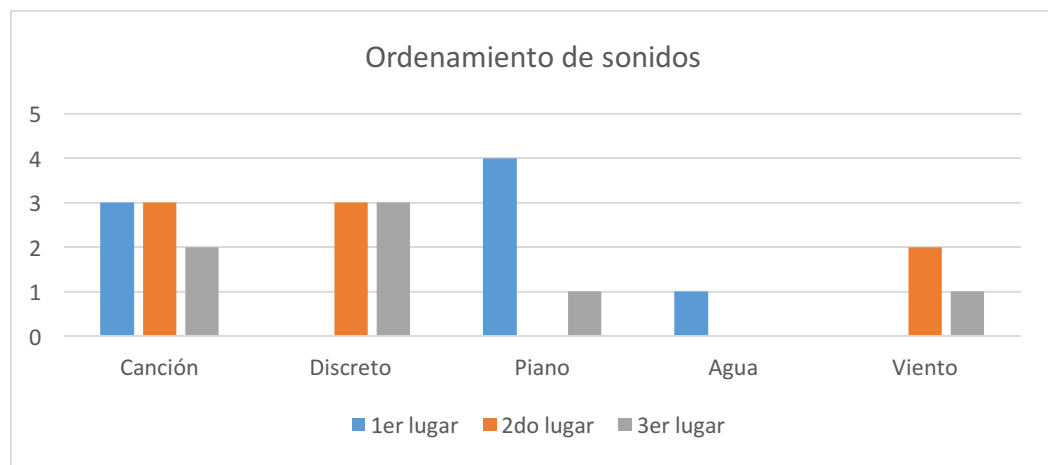


Figura 15. Frecuencia de niños que preferían un sonido (en 1er, 2do y 3er lugar) según la percepción del psicólogo.

3.2.4.5 Selección del diseño de sonidos

Tomando en cuenta estos resultados se realizó un último grupo focal con el apoyo de expertos en IHC, músicos y 1 psicóloga, para seleccionar los tres mejores sonidos y terminar de afinar su diseño. Los sonidos seleccionados son los siguientes (ver **Tabla 7**):

Tabla 8. Descripción de la propuesta de estructuras de sonidos V2.0 con base en los resultados obtenidos en el análisis del estudio formativo.

Tipo de Sonificación del movimiento	Sonidos	Descripción	Posición inicial ●	Trayectoria - - - -	Objetivo ▶	Paso del objetivo.
Discreto sin trayectoria	Percusión	Instrumento de percusión pertenecientes a la batería	Sonido de tarola, “snare drum”, marca el inicio	Sin trayectoria	Sonido de tom de piso “low tom” marca el fin	Sin sonido
Discreto con trayectoria	Base simple de notas	Escala mayor ascendente	Nota tónica	Notas ascendentes de la escala a partir de la nota tónica	Nota tónica en una octava arriba (Do agudo)	Sin sonido
Continuo	Viento	Sonido de viento	Inicio del movimiento con un volumen bajo de viento	Incremento progresivo del volumen de viento	Volumen alto de viento	Mantiene volumen alto de viento

- Sonido “discreto sin trayectoria” (tambores). Se decidió rediseñar el instrumento por uno de percusión ya que durante la observación uno de los participantes asoció el movimiento a un reloj (ver **Figura 16**). Por lo tanto, se cuenta con un sonido de tambor al inicio, y otro sonido al final con el instrumento de batería.



Figura 16. Niño de 6 años asoció el sonido discreto sin trayectoria a las manecillas de un reloj.

- Un sonido “discreto con trayectoria” (base simple de notas). Es un sonido de escala mayor ascendente. La nota tónica se percibe al inicio y al final del movimiento, y se cuentan con 6 notas de la escala ascendente durante la trayectoria. Este sonido se realizó con el instrumento de piano.
- Sonido “continuo” (viento). Con el fin de mantener la retroalimentación auditiva durante todo el movimiento y debido al rendimiento competitivo observado durante el estudio. El sonido de viento inicia con un volumen bajo al inicio del movimiento y un volumen alto al llegar al objetivo. Si el objetivo se sobrepasa, el sonido se mantiene por un lapso (ver **Tabla 8**).

3.3 Diseño de MFS

Una vez que se tenían los sonidos se integraron a la tela interactiva. A continuación, se describen los algoritmos que se implementaron para sonificar los movimientos en la tela y crear la versión de Música Flexible “sonificada” (MFS). Se describe su interfaz de calibración y de configuración.

3.3.1 Configuración

Para comenzar a utilizar MFS es necesario calibrar los alcances de los movimientos del usuario, por lo que este paso se realiza cada vez que un usuario nuevo desea utilizar MFS.

El usuario captura los datos de calibración en el siguiente orden (ver **Figura 17**):

1. **Nombre:** ingresa el nombre del usuario que usará MFS.
2. **Iniciar calibración:** permite comenzar la captura de los datos para empuje y lateral.

Movimiento lateral

3. **Inicial Lateral:** captura la $distancia_{inicial}$, indica la posición (x_1, y_1) inicial requerida para realizar el movimiento lateral sobre MFS. Por ejemplo, el usuario posiciona su mano en el cuadrante inferior izquierdo #3.
4. **Final Lateral:** captura la $distancia_{max}$, indicando la posición de máximo estiramiento para el movimiento dado (x_2, y_2) . Por ejemplo, posiciona su mano en el cuadrante superior izquierdo #1.

Movimiento empuje

5. **Inicial Empuje:** captura la profundidad mínima ($profundidad_{inicial}$) requerida para obtener la primera nota musical en MFS de acuerdo con el movimiento del usuario.

6. **Final Empuje:** captura la $profundidad_{max}$ máxima de estiramiento al realizar el movimiento de empuje sobre la superficie para el usuario.
7. **Guardar:** una vez capturados todos los datos previos, estos datos se almacenan para su uso en MFS.
8. **Recalibrar:** en caso de que el usuario necesite grabar los datos nuevamente es posible reiniciar la calibración.

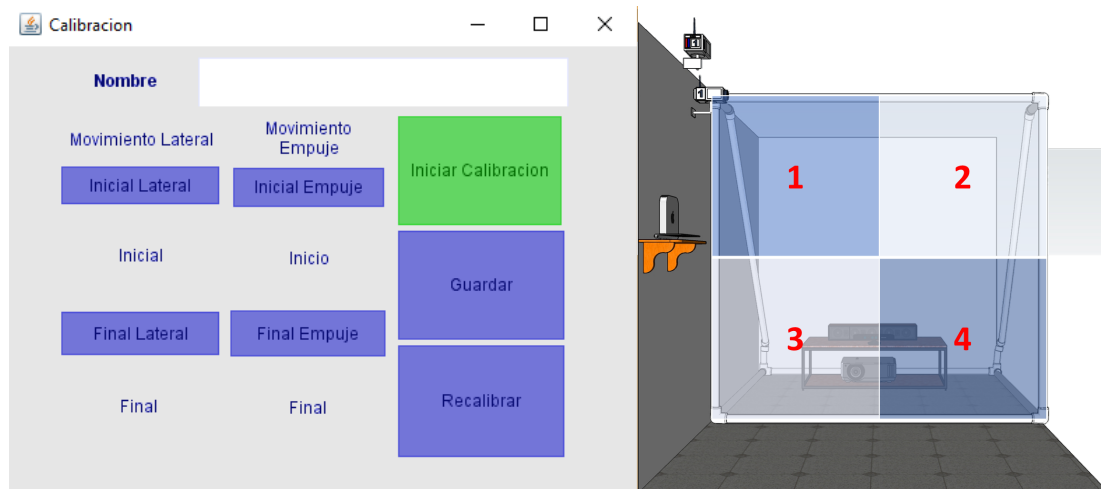


Figura 17. Pantalla de calibración para capturar los datos iniciales y finales por movimiento.

En la interfaz de configuración (Figura 18) el usuario puede seleccionar el sonido con el cual desea interactuar (tambor, notas musicales o viento); puede indicar el número de repeticiones; y seleccionar el movimiento con el cual va practicar (incluyendo el movimiento lateral o de empuje).



Figura 18. Pantalla de configuración para sonidos y movimientos.

3.3.2 Arquitectura de MúsicaFlexible “sonificada”

Los componentes físicos de MFS son: un sensor Microsoft Kinect y una computadora con procesador Intel i5-4308U CPU de 64 bits con Windows 10 pro con 520GB de disco duro y 8G de memoria RAM. Como dispositivos de salida, MFS cuenta con una bocina conectada vía bluetooth a la computadora y un proyector NEC de corto para escuchar los sonidos y visualizar las animaciones de MFS. El Kinect está conectado vía USB a la PC y se utiliza para reconocer los movimientos realizados sobre la tela.

La computadora recibe utiliza la librería TSPS⁸ para procesar los datos que recibe del Kinect. La librería TSPS se conecta con el juego por el protocolo OSC. Las visualizaciones de MFS se implementaron en el lenguaje Processing (lenguaje basado en Java) y los sonidos, que son archivos MIDI⁹, se controlan con la librería Java Sound. En particular, el sonido de trayectoria continua fue creado con la librería de Java Sound utilizando el paquete Javax.sound.sampled¹⁰ (ver **Figura 19**).

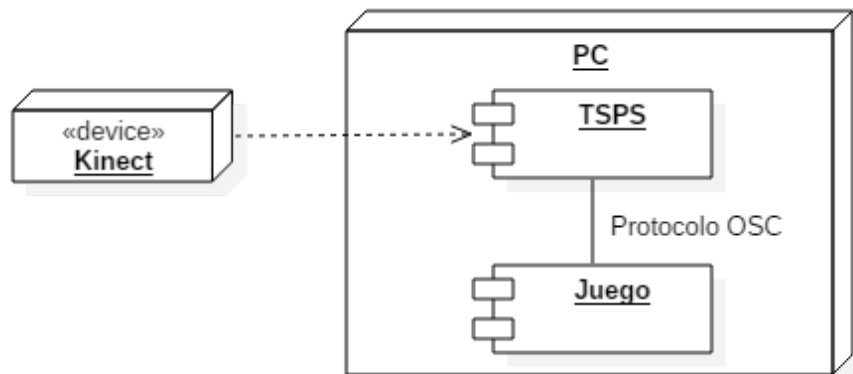


Figura 19. Diagrama de emplazamiento de MFS.

⁸ TSPS, por sus siglas en inglés, Toolkit for Sensing People in Spaces. TSPS es un kit de herramientas multiplataforma para sensar personas en el espacio, contiene un algoritmo de visión por computadora con una interfaz gráfica para su configuración. <http://www.tsps.cc/>

⁹ MIDI, por sus siglas en inglés, Musical Instrument Digital Interface

¹⁰ Paquete javax.sound.sampled que proveía las clases para procesamiento de muestras de audio.

3.3.3 Implementación de sonidos

3.3.3.1 Sonido sin trayectoria o de trayectoria discreta

Para los sonidos específicos de sin trayectoria y trayectoria discreta (ver **Tabla 8**):

- Se define $i = \{1, \dots, N\}$, dado que se pretende reproducir las siete notas musicales $N = 7$ de la escala mayor ascendente de DO y para el sonido de tambor $N = 2$, realizando una discretización del espacio definido entre la posición inicial y de máxima extensión posible. Estas posiciones inicialmente se definen de acuerdo con la altura del usuario con el brazo extendido.
- $nota_i$ contiene las notas musicales que se reproducen al momento de iniciar el movimiento.

3.3.3.2 Movimientos de empuje.

3.3.3.2.1 Sonido sin trayectoria o con trayectoria discreta

Para el movimiento de empuje los datos de entrada necesarios son:

- *profundidad*: Indica la distancia entre la posición inicial y la posición que se produce por la elongación de la tela (profundidad relativa), la cual se puede obtener al momento que el usuario ejerce una fuerza sobre la superficie.
- Se define $prof_i$ como las i – distancias de profundidad calculadas mediante la discretización del espacio, puesto que se pretende dividir la profundidad máxima con la finalidad de reproducir cada nota del sonido en un intervalo específico, el cual se calcula con la $profundidad_{inicial}$ y la $profundidad_{max}$, las cuales se obtienen al momento de la calibración del movimiento de empuje del usuario.

Algoritmo 1. Pseudocódigo movimiento de empuje (sin o con trayectoria discreta).

```

1.  $[nota_i, prof_i] = \text{setup}()$ ; /*Configuración de intervalos para un conjunto de  $N$  notas musicales,  $i = \{1, \dots, N\}$ */
2. reproducirSonido()
3.    $profundidad = \text{leerProfundidad}()$ ; /*Calcula la profundidad relativa entre la posición inicial y el punto
   máximo que alcanza el usuario al empujar la superficie flexible*/
4.   Si  $profundidad \leq prof_1$  hacer
5.     reproducir();
6.   sino  $prof_i < profundidad < prof_{i+1}$ ,  $i \neq N$ 
7.     reproducir( $nota_i$ );
8.   sino  $profundidad \geq prof_N$ 
9.     reproducir( $nota_N$ );
10.  FinSi
11. Fin

```

En MFS el movimiento de empuje con estos dos sonidos (ST y TD), funciona de tal forma que al ejercer presión en la tela si esta se encuentra dentro del rango de profundidad previamente establecido se obtiene un sonido (ver **Figura 20**).



Figura 20. Niño de 10 años realizando el movimiento de empuje con la tela.

3.3.3.2.2 Sonidos de trayectoria continua.

Para obtener el sonido de trayectoria continua en el movimiento de empuje, se selecciona una función de tipo exponencial debido a su curva característica, puesto que permite apreciar fácilmente el cambio en el sonido al modificar la intensidad acústica (volumen) en decibeles (dB). Esta curva se define, en función del valor de *profundidad* (distancia en centímetros) alcanzado por el usuario al momento de interactuar con MFS, desde un valor mínimo audible ($dB_{min} = -40$) hasta un valor alto o máximo que no distorsione el sonido ($dB_{max} = 6$, ver **Figura 21**).

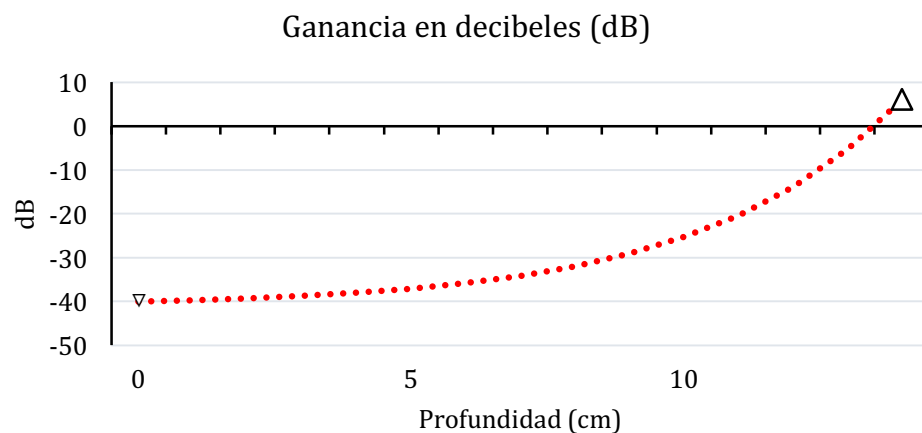


Figura 21. Ilustra el cambio de dB con respecto a la profundidad en el movimiento de empuje.

Por lo tanto,

$$volumen \leftarrow e^{\frac{profundidad}{k}} + dB_{max} - 1 \quad (1)$$

Donde,

$$k \leftarrow \frac{prof_{max}}{\ln[dB_{max} - dB_{min} + 1]} \quad (2)$$

Se define k como el coeficiente de ajuste para el modelo definido en la ecuación (2).

Algoritmo 3. Pseudocódigo movimiento de empuje (trayectoria continua).

```

1. sonido( ); /*Se determina el sonido que se desea reproducir*/
2. [ $prof_{max}$ ,  $dB_{min}$ ,  $dB_{max}$ ] = setup( ); /*Configuración del intervalo de intensidad acústica y la posición objetivo con base en las características del usuario*/
3.  $k \leftarrow \frac{prof_{max}}{\ln[dB_{max} - dB_{min} + 1]}$ ; /*Se calcula la constante de ajuste para el modelo*/
4. reproducirSonido( )
5.    $profundidad = leerProfundidad$ ( ); /*Calcula la profundidad relativa entre la posición inicial y el punto máximo que alcanza el usuario al empujar la superficie flexible*/
6.   Si  $0 < profundidad \leq prof_{max}$  hacer
7.      $volumen \leftarrow e^{\frac{profundidad}{k}} + dB_{max} - 1$ ;
8.     reproducir(sonido( $volumen$ ));
9.   sino
10.    reproducir( );
11.  FinSi
12. Fin

```

3.3.3.3 Movimiento lateral

3.3.3.3.1 Sonidos sin trayectoria o con trayectoria discreta.

Para el movimiento lateral los datos de entrada necesarios son:

- Se define *distancia* ya que indica la longitud entre la posición actual de la extremidad superior y la posición máxima alcanzada por el estiramiento.
- $dist_i$ se calcula con base a la discretización del espacio i , puesto que se pretende dividir la longitud entre la posición inicial ($distancia_{inicial}$) y final ($distancia_{max}$) para reproducir cada nota del sonido.

Algoritmo 2. Pseudocódigo movimiento lateral (trayectoria discreta).

```

1.  $[nota_i, dist_i] = \text{setup}()$ ; /*Configuración de intervalos para un conjunto de  $N$  notas musicales,  $i = \{1, \dots, N\}$ */
2. reproducirSonido()
3.    $distancia = \text{leerDistancia}()$ ; /*Calcula la distancia entre el objetivo y la mano del usuario*/
4.   Si  $distancia \geq dist_1$  hacer
5.     reproducir();
6.   sino  $dist_i > distancia > dist_{i+1}$ ,  $i \neq N$ 
7.     reproducir( $nota_i$ );
8.   sino  $distancia \leq dist_N$ 
9.     reproducir( $nota_N$ );
10.  FinSi
11. Fin

```

En el momento que el niño inicia el movimiento lateral causa la reproducción de la nota musical correspondiente a su posición. Si el participante ejecuta la trayectoria correcta, las notas musicales se escuchan en el orden establecido logrando la sonificación del movimiento, de lo contrario ocurrirá una pausa en el sonido hasta que se realiza adecuadamente el movimiento (ver **Figura 22**).



Figura 22. Niño iniciando el movimiento lateral con la tela.

3.3.3.2 Sonidos de trayectoria continua.

Para obtener el sonido de trayectoria continua en el movimiento lateral, se modeló al igual que en el movimiento de empuje una función exponencial. Se seleccionó una función exponencial ya que permite apreciar el cambio de intensidad acústica en decibeles (dB) desde el volumen mínimo ($dB_{min} = -40$) hasta el más alto ($dB_{max} = 6$), con relación al valor normalizado de la *distancia* del usuario al momento de interactuar con MFS. Entre más cercano a cero mayor es el valor en dB (Figura 23).

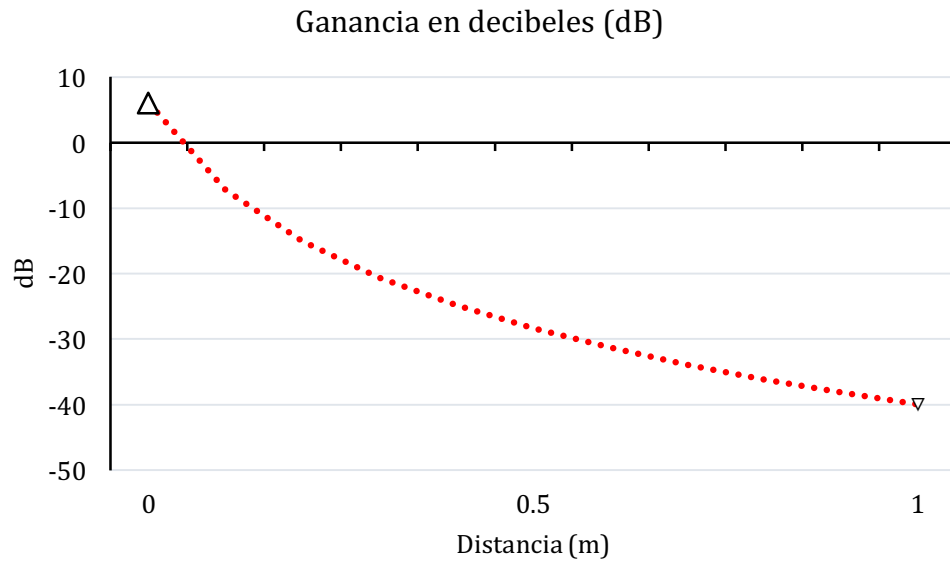


Figura 23. Ilustra el cambio de dB con respecto a la longitud en el movimiento lateral.

Por lo tanto,

$$volumen = dB_{max} - k \cdot \ln(10(distancia) + 1) \quad (3)$$

Donde,

$$k \leftarrow \frac{dB_{max} - dB_{min}}{\ln[10dist_{max} + 1]} \quad (3)$$

Se define k como el coeficiente de ajuste para el modelo definido en la ecuación (4).

Algoritmo 4. Pseudocódigo movimiento lateral (trayectoria continua).

```

1. sonido( ); /*Se determina el sonido que se desea reproducir*/
2.  $[dist_{max}, dB_{min}, dB_{max}] = \text{setup}()$ ; /*Configuración del intervalo de intensidad acústica y la posición objetivo con base en las características del usuario*/
3.  $k \leftarrow \frac{dB_{max} - dB_{min}}{\ln[10dist_{max} + 1]}$ ; /*Se calcula la constante de ajuste para el modelo*/
4. reproducirSonido()
5.    $distancia = \text{leerDistancia}()$ ; /*Calcula la distancia entre el objetivo y la mano del usuario*/
6.   Si  $0 \leq distancia < dist_{max}$  hacer
7.      $volumen \leftarrow dB_{max} - k \cdot \ln(10(distancia) + 1)$ ;
8.     reproducir(sonido( $volumen$ ));
9.   sino
10.    reproducir();
11.  FinSi
12. Fin

```

3.3.4 Escenario de uso

Para ejemplificar el funcionamiento de MFS, a continuación, se describe un escenario de uso.

José, es un niño con autismo de 10 años con problemas motrices. Su maestra Diana activa la pantalla de calibración de MFS para tomar los datos de José.

Diana escribe el nombre de José para guardar los datos de calibración, Diana presiona el botón de *iniciar calibración*. Primero los datos del movimiento lateral se almacenan. Cuando José posiciona su mano en uno de los cuadrantes inferiores de la tela, MFS despliega un cohete, Diana almacena la posición inicial y pide a José que mueva su mano a los cuadrantes superiores. Diana almacena la posición final y MFS despliega una segunda animación (planeta).

Continuando con el movimiento de empuje, MFS despliega un planeta como guía de donde ejercer presión. Diana pide a José que toque suave y luego presione fuerte la tela para guardar ambas posiciones de calibración y terminar el proceso.

Diana abre la interfaz de configuración de MFS. Diana selecciona el sonido de viento e indica que José tiene que realizar 5 repeticiones del movimiento de empuje. José presiona la tela. En función a la presión que José ejerce sobre la superficie, el planeta aumenta y disminuye de tamaño y a su vez se reproduce el sonido continuo.

Cuando José termina las repeticiones, Diana selecciona el siguiente sonido. José presiona y escucha un sonido de tambor, empuja un poco más fuerte y logra escuchar el segundo sonido de tambor, logra completar el movimiento, repite el movimiento 5 veces. Por último, José presiona la tela para escuchar el sonido de notas musicales, pero solo alcanza a escuchar dos notas, entonces Diana le pide que presione más fuerte, José vuelve a presionar la tela, y logra escuchar las notas faltantes, la actividad se repite hasta que José la completa. Diana configura el movimiento lateral que consiste en llevar un cohete a un planeta, José repite los sonidos en el ejercicio lateral moviendo el cohete de arriba abajo hasta completar la segunda actividad.

Capítulo 4. Evaluación sumativa

En este capítulo se describen las actividades que se llevaron a cabo para evaluar MúsicaFlexible “sonificada” (MFS) y “Go-with-the-Flow” (GWF). Esta evaluación se llevó a cabo en un *Centro de Educación Especial PASITOS*—una clínica escuela localizada en la ciudad de Tijuana, Baja California donde 15 maestras-psicólogas atienden a cerca de 60 niños con autismo.

Los participantes del estudio niños con autismo de baja y media funcionalidad y fueron video-grabados durante todas las actividades planteadas en cada estudio. Los padres o tutores de los niños aprobaron su participación firmando el formato de consentimiento (ver **Anexo 1**).

Se reclutaron a 14 participantes entre 8 y 16 años con una edad promedio= 11.25, DE= 2.2 y un psicólogo que apoyó a los participantes en las sesiones (ver **Tabla 9**).

Tabla 9. Descripción de los participantes del estudio sumativo.

Participante	Funcionalidad	Edad
P1	Media	11
P2	Media	11
P3	Baja	10
P4	Media	10
P5	Media	14
P6	Baja	12
P7	Baja	9
P8	Media	10
P9	Media	11
P10	Baja	12
P11	Baja	12
P12	Baja	8
P14	Baja	16

4.1 Instalación de MFS

MFS se instaló en un salón de “Pasitos”, con dimensiones de 3m de largo x 1.85m de ancho. La tela (elástica) se colocó en una estructura de PVC con forma de portería, la cual medía de ancho 1.83 m, 1.85 de largo y 1.85 de alto. El sensor Kinect (v1, modelo 1473) se colocó a una distancia de 1.78 m detrás del

marco de tela y a una altura de 60 cm del suelo. El proyector, el sensor Kinect, la bocina y la PC se colocaron detrás de la tela. En una repisa del lado izquierdo de la puerta se colocaron un teclado y mouse inalámbrico que controlan la PC. Se instalaron dos cámaras con tecnología WiFi –una cámara se colocó en la esquina de la pared de la entrada y la segunda de lado izquierdo a la altura de la portería (ver **Figura 24**).

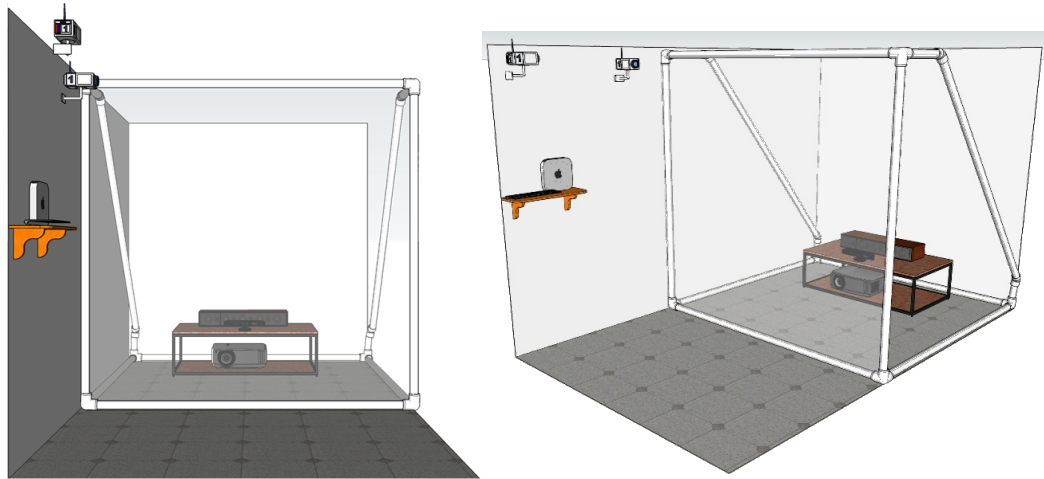


Figura 24. Instalación de la tela interactiva para usar MFS.

4.2 Instalación para GWF

La actividad de GWF se realizó en un salón de juegos de “Pasitos” con dimensiones de 3.65m de largo y 1.83m de ancho. Se instalaron dos cámaras con tecnología WiFi, una en la pared de la entrada a 1.5MF, y la segunda en la pared del fondo a 0.80m de altura (ver **Figura 25**).

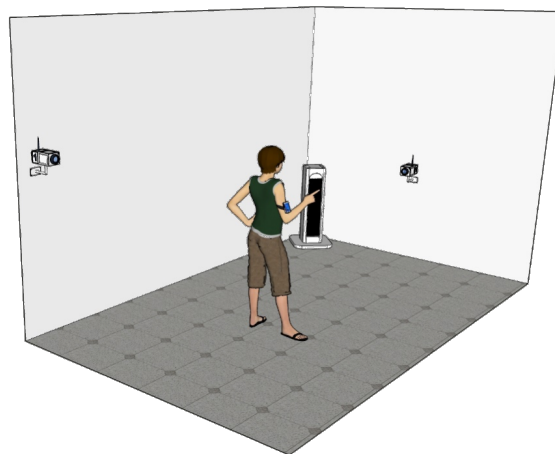


Figura 25. Ubicación de las cámaras para video grabar el uso de GWF.

4.3 Procedimiento

Para realizar las actividades, se siguió un paradigma de diseño experimental “intra-sujetos” (within-subjects), que consiste en que todos participantes realizan actividades en todas las condiciones del estudio. En este caso los participantes completaron cinco repeticiones del movimiento lateral y cinco repeticiones del movimiento de empuje para las tres estructuras de sonidos en dos condiciones: utilizando MFS y utilizando GWF.

Los participantes se dividieron en dos grupos de manera aleatoria. Para evitar efectos de aprendizaje, el grupo uno inició con el movimiento de empuje; mientras que el grupo dos inició con el movimiento lateral. Asimismo, los sonidos fueron asignados aleatoriamente para cada participante¹¹ (ver **Tabla 10**). La duración de cada actividad fue de 9 minutos aproximadamente. Caro et al., (2015) menciona que los especialistas clínicos consideran 10 repeticiones adecuadas para cada tipo de ejercicio y el número de repeticiones puede variar dependiendo de los déficits motrices de cada niño; por lo que se decidió que el niño tiene que realizar cinco repeticiones de cada sonido en ambos movimientos.

Tabla 10. Asignación aleatoria de movimiento y sonido (sin trayectoria (ST), trayectoria discreta (TD), trayectoria continua (TC)).

Participantes	Grupo	Movimiento	Sonido	Repeticiones
7	1	Empuje	ST	5
			TD	
			TC	
7	2	Lateral	ST	5
			TD	
			TC	

Los psicólogos completaron la entrevista semi-estructurada de acuerdo con las secciones (ver **Anexo 4**):

- “por sonido”, después de que terminaran sus repeticiones por sonido;
- “práctica de movimientos”, al finalizar todas las repeticiones para cada movimiento; y
- “todos los sonidos y movimientos” al terminar la primera sesión con uno de los dispositivos.

¹¹ Lista de orden aleatorio de los participantes para asignación de sonidos (<https://www.random.org/lists/>)

4.4 Colección y análisis de datos

Tabla 11. Resumen de colección y análisis de datos del estudio sumativo.

Análisis de datos		Observación estructurada	Análisis deductivo	Análisis inductivo	Estadística descriptiva (sonidos, movimiento, dispositivo)	
Colección de datos		Videograbación (hrs:min)	Entrevista semi-estructurada		[MUE]	[ETO]
Estudio 3	14 participantes	3:37	33 entrevistas		12 encuestas por niño	12 encuestas por niño

Se video-grabaron a todos los participantes durante ambas actividades. Luego, se realizaron entrevistas semi-estructuradas a cada psicólogo presente durante la sesión; se aplicó las encuestas de MUE (motivación, útil y entendimiento) por sonido y ETO (enganchamiento) para entender la reacción de los participantes al usar los dispositivos, y si los participantes reaccionaban a los sonidos que producían sus movimientos. Para el análisis de los datos se tipificaron los comportamientos en video y el análisis sistemático e inductivo de las entrevistas. Se agregó una encuesta para investigar la experiencia musical de acuerdo con la respuesta antes los sonidos, si se seguía el ritmo de estos y su espontaneidad para usar el dispositivo (ver **Tabla 11** y **Tabla 12**).

Para calcular la significancia estadística de los datos ($p > 0.05$), primeramente, se analizó la distribución de los datos utilizando la prueba de normalidad de Shapiro Wilk. Para el caso donde los datos son normales o paramétricos se aplicó la prueba t y en caso de no ser paramétricos se utilizó la prueba U de Mann Whitney. Se compararon los datos recabados de los 14 niños de la sesión de GWF contra los datos de la sesión MFS. Por otro lado, para analizar los sonidos (3 condiciones) se usó una prueba ANOVA de un factor (ej. Los 3 sonidos en la categoría de ONT) cuando los datos son normales y Kruskal Wallis en caso contrario.

Tabla 12. Esquema de codificación del estudio sumativo.

Evento	Código	Definición	Medir
Tipo de movimiento			
Lateral	L	Si el niño/a realiza el ejercicio de deslizamiento lateral	Repeticiones
Empuje	E	Si el niño/a realiza el ejercicio de deslizamiento empuje	
Otro	OM	Si el niño/a asocia otro movimiento con el sonido aplicado.	
Atención			
En la tarea (on task)	ONT	El niño/a está prestando atención en el desempeño de la actividad	Tiempo
Fuera de la tarea (off task)	OFT	El niño/a no está prestando atención.	
Expresión de emociones			
Positiva	POS	Demostración de alguna expresión emocional positiva mientras realiza la repetición (ej. sonrisa, risas, sonidos)	Repeticiones
Negativa	NEG	Demostración de alguna expresión emocional negativa mientras realiza la repetición (ej. vergüenza, susto)	
Ninguna	NIN	Demostración de ninguna expresión emocional mientras realiza la repetición, es decir, se muestra indiferente.	
Ayuda del movimiento			
Verbal	V	Tipo de apoyo que los niño/a s requieren para realizar los ejercicios, solo siguiendo instrucciones de voz (ej. brazos arriba, brazos abajo).	Repeticiones
Modelada	M	Tipo de apoyo que los niño/a s requieren para realizar los ejercicios, por medio de la demostración visual del ejercicio (ej. el niño/a imita el ejercicio de su maestra).	
Física	F	Tipo de apoyo que los niño/a s requieren para realizar los ejercicios, por medio movimientos con guía de contacto físico (ej. la maestra toma la mano del niño/a y le guía hacer el movimiento).	
Ninguno	NN	Si el niño/a no recibió apoyo de ningún tipo para realizar los ejercicios.	
Ejercicios			
Movimiento	MO	Cuando el niño/a mueve sus brazos para practicar el movimiento que le corresponde al escuchar el sonido.	Repeticiones
No hay movimiento	NMO	Cuando el niño/a no mueve sus brazos para practicar el movimiento que le corresponde aun escuchando el sonido o al dar una instrucción.	
Dirección del movimiento			
Movimiento dirigido	MOD	Si el movimiento realizado por el niño/a va desde su punto de inicio indicado a su objetivo.	Repeticiones
Movimiento no dirigido	MND	Si el movimiento realizado por el niño/a no va de acuerdo con su punto de inicio y hacia su objetivo indicado con anterioridad.	

4.5 Resultados - Estudio sumativo

4.5.1 Uso y adopción

Los resultados observados sugieren que los participantes demostraron estar más motivados y entendían los ejercicios, cuando usaron MúsicaFlexible “Sonificada” (MFS) en combinación con los sonidos. Además, encontraron MFS útil, debido a que identificó como estimulante por su aporte multisensorial. Por otro lado, se reportó que los participantes disfrutaban de usar la aplicación “Go-with-the-Flow” (GWF) con los nuevos sonidos y su aplicación útil en ejercicios de educación física.

En cuestión de integración multisensorial comparando ambos dispositivos los psicólogos identificaron MFS sobre el uso de GWF, debido al nivel de percepción en los estímulos, por ejemplo, los psicólogos percibieron que los participantes se disponían a iniciar la actividad atraído por el apoyo visual, y una vez iniciada la interacción respondían positivamente a la combinación del estímulo táctil y auditivo que resultaba motivante para continuar en la actividad:

“— [La tela daba más resultados positivos] porque hay muchos niños que les gusta más ver y sentir, y [en GWF] sería nada más prácticamente el sonido, pero en la tela incluye lo que es la vista, tacto y pues el sonido.” Psicólogo (P)¹²

“— fue una reacción buena porque al tocar [la tela] si se dieron cuenta de que producía el sonido, entonces la querían volver escuchar.” P

Los resultados sugieren que los participantes mostraron tener un entendimiento del origen de los sonidos y como estos se generan, en ambos dispositivos, debido al comportamiento experimental observado en los participantes. Para GWF los psicólogos observaron que los participantes demostraban curiosidad a encontrar la fuente de los sonidos, por lo que los niños indagaban para entender como provocar los sonidos:

“— [el participante movía su cabecita de lado] pues quería escuchar más el sonido, más cerca, quería saber que sonaba, y como es un celular usualmente se lo pone en la cabeza” P

¹² Psicólogo entrevistado presente durante la actividad en el estudio exploratorio

Para MFS los datos observados sugieren que el rápido entendimiento de los participantes se debía al apoyo visual, (e.g. “llevar el cohete al planeta”), los psicólogos comentaron:

“— [él entendía que a través del movimiento hacia el sonido porque] quería estar ahí, o sea la forma en que él lo manifestó fue de que él quería seguir ahí, quería seguir picando [la tela], moviendo [la animación].” P

“—Pues es la imagen lo que yo noté más, ósea es como que se iba más por [la animación], pero es como que quiero que él [cohete] llegue allá arriba.” P

Los psicólogos encontraron útil la integración de la tela interactiva con los sonidos, u otros posibles usos como lo es en terapias para relajar o tranquilizar al participante, los psicólogos dicen:

“—La [tela la] utilizaría [en situaciones] como un medio de descarga sensorial, yo creo que les proporcionaría, por lo menos a los niños como un descanso.” P

Por otra parte, GWF se encontró útil por los psicólogos para fomentar la actividad física requiriendo apoyo en modelar el ejercicio, por ejemplo:

“— [utilizaría el celular] en educación física, donde algún maestro hace rutinas guiadas del ejercicio.” P

Por lo que GWF sería un medio de activación o animación del participante mientras que MFS apoyaría en la regulación sensorial de un ambiente terapéutico.

Los resultados de las encuestas reportan una ligera ventaja por parte de la tela en comparación con el dispositivo vestible (ver **Figura 26**). La tela interactiva presenta un 16.85 % más en motivación, 19.07% más en utilidad y 16.19% más en entendimiento a diferencia del dispositivo vestible.

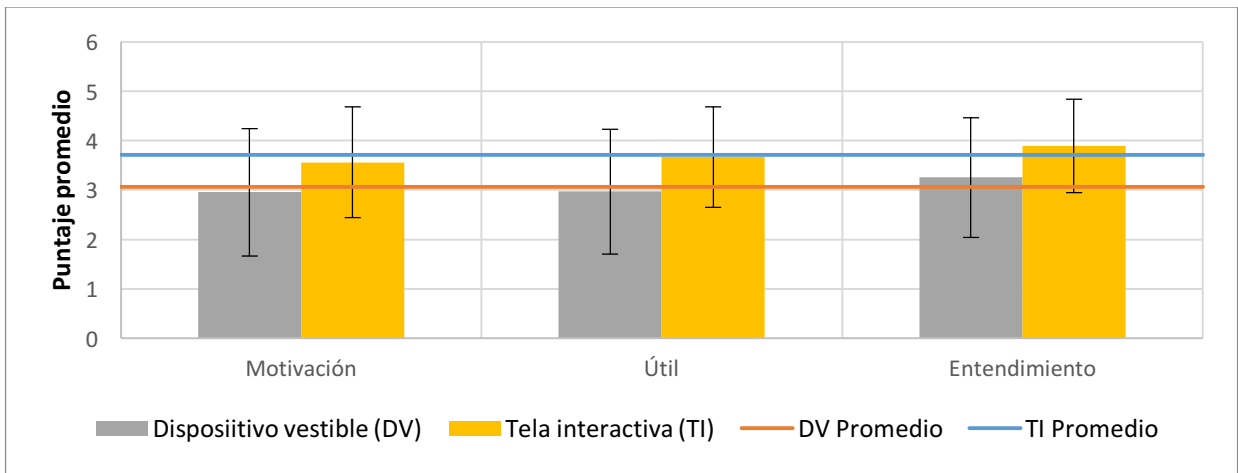


Figura 26. Resultado de la encuesta para uso y adopción de los dispositivos “Go-with-the-Flow” (DV) y MúsicaFlexible “Sonificada” (TI).

4.5.2 Experiencia musical

Para responder la hipótesis 1, la experiencia musical es mejor en la tela interactiva que en el dispositivo vestible, se midió la experiencia musical en función a tres variables: responder a diferentes sonidos, seguir el ritmo y movimientos espontáneos.

4.5.2.1 Respuesta a los diferentes sonidos

Los resultados obtenidos a partir del análisis de las encuestas indican que los participantes responden a los diferentes sonidos propuestos un 4.02% más en el dispositivo vestible, en comparación con la tela interactiva (ver **Figura 27**). Para corroborar la información recolectada, se utilizó una prueba U de Mann-Whitney, la cual entregó como resultado $p=0.018$, por lo tanto, es posible afirmar que existe diferencia estadísticamente significativa entre dispositivos. Lo anterior es complementado con los resultados cualitativos reportados por los psicólogos, quienes sugieren que fue posible observar un comportamiento parecido en el rendimiento de los dispositivos:

“— si la parte de la música también le estaba gustando, si estaba haciendo los movimientos [en el celular] para que sonara más.” P

“— fue reacción buena porque al tocar [MFS] si se dio cuenta de que producía el sonido, entonces lo quería volver escuchar... y era como se acercaba hasta que sonaba” P

Los psicólogos percibieron que los participantes disfrutaban al momento de realizar los movimientos, con la finalidad de escuchar las estructuras de sonidos en los dos dispositivos estudiados; lo cual se puede apreciar en el pequeño valor porcentual de diferencia por el que el dispositivo vestibular es superior a la tela interactiva. Por lo tanto, es posible realizar ajustes que exploten las ventajas de cada dispositivo, partiendo de la posibilidad de enfocarlos en actividades diferentes que pueden ser comprendidas y disfrutadas por los participantes.

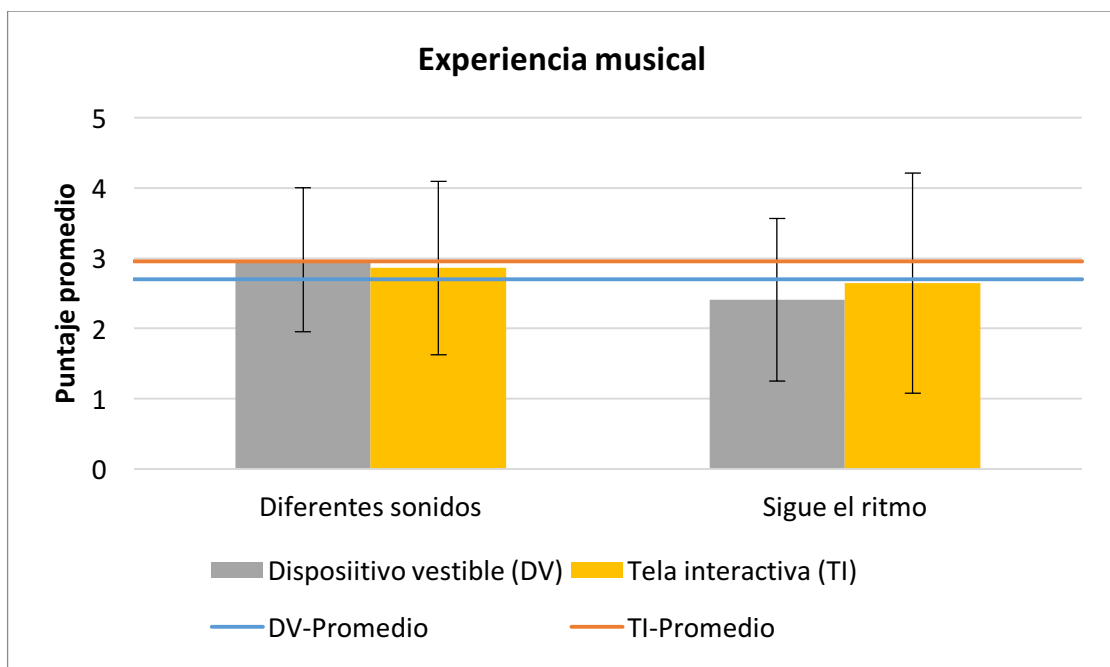


Figura 27. Experiencia musical con base en la percepción de los psicólogos, al observar la reacción de los niños a diferentes sonidos y seguimiento de ritmo con cada dispositivo.

4.5.2.2 Seguimiento del ritmo

Los psicólogos percibieron que los participantes siguen el ritmo 9.05% más en la tela interactiva comparado con el dispositivo vestibular (ver **Figura 27**). Sin embargo, la prueba U de Mann-Whitney entregó como resultado $p=0.329$, indica que no existe diferencia estadísticamente significativa en los datos comparando la tela interactiva y el dispositivo vestibular. Dicho resultado se complementa con los comentarios de los psicólogos de que los participantes eran capaces de seguir el ritmo de los sonidos por igual, por ejemplo:

“—Pues yo miré [la actitud de ella] igual con los tres sonidos.” P

“—Vimos como él mismo lo hacía, y algunos movimientos más firmes [por los sonidos], como ‘me quedo aquí’, ya no lo pensó.” P

Los resultados sugieren que los participantes eran capaces de seguir el ritmo, ya que les brindaba seguridad en el movimiento, debido a que comprender el ritmo de la estructura de sonido le permite saber a los participantes como deben moverse correctamente, independientemente del dispositivo con el que se realiza la actividad; lo cual se puede apreciar en la pequeña diferencia porcentual por la que la tela interactiva es superior al dispositivo vestibular. Por lo tanto, es posible sonificar los dos tipos de movimientos en cada dispositivo.

4.5.2.3 Movimientos espontáneos

Los resultados indican que la tela interactiva genera 18.20% más espontaneidad en comparación con el dispositivo vestibular (ver **Figura 28**). Al aplicar la prueba U de Mann-Whitney el resultado $p=0.00$, indica que existe diferencia estadísticamente significativa en la condición de dispositivos. Los psicólogos observaron que los niños realizaban sus movimientos espontáneamente, es decir, el niño tocaba la tela sin necesidad de ayuda del terapeuta. Los psicólogos atribuyen este comportamiento a la curiosidad de los participantes y a la retroalimentación sensorial, por ejemplo:

“— [el movimiento fue voluntario] porque a él le llamó la atención tocarla y solo, desde que llegó fue como a ver, entonces fue [la tela].” P

“—yo digo que fue más como lo sensorial, porque la telita es muy delgadita y pues más que nada la herramienta palpable.” P

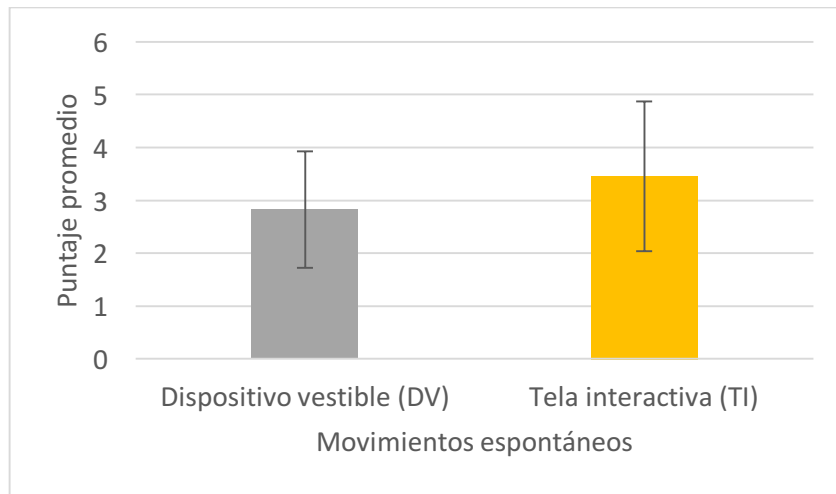


Figura 28. Gráfica que permite observar el dispositivo donde realizaban más repeticiones espontaneas, basado en la percepción de los psicólogos, al observar a los niños en la actividad.

La diferencia porcentual por la que la tela interactiva es superior al dispositivo vestibular en espontaneidad, lo cual se debe a que los psicólogos reportaron que los participantes realizaban más repeticiones espontaneas con la tela interactiva en comparación con el dispositivo vestibular, por la sensación de la tela, lo que sugiere de acuerdo con los resultados anteriores que la atracción táctil de la tela interactiva en combinación con responder a los sonidos promueve a seguir interactuando.

4.5.2.4 Atención

Para analizar el ejercicio realizado, se calculó el porcentaje promedio de tiempo (seg.) que duro la sesión de cada niño. Los resultados indican que los participantes estuvieron 25.26% del tiempo más distraídos utilizando el dispositivo vestibular que usando la tela interactiva. La prueba U de Mann-Whitney que indica que existe diferencia significativa entre los dispositivos ($p=0.001$).

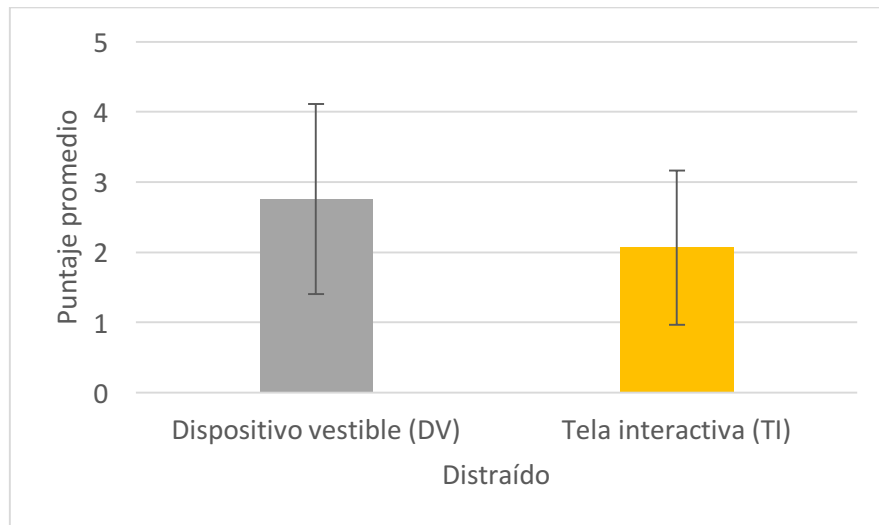


Figura 29. Grafica que muestra el nivel de distracción en ambos dispositivos por participante.

Continuando con los resultados cualitativos basados en las observaciones de los psicólogos, sus comentarios sugieren que el estímulo auditivo no fomentaba el interés en la actividad por los participantes, por ejemplo:

“— anda un poco distraída siento que con los tres (sonidos) igual fue lo mismo [para el dispositivo vestibular].” P

Tanto de los resultados cualitativos y los cuantitativos indican que las estructuras de sonidos no eran suficientes en enfocar la atención en todos los participantes para el dispositivo vestibular. Por lo tanto, es necesario ajustar el modo de uso del dispositivo vestibular para este tipo de población.

4.5.2.5 Expresión de emociones

Los resultados indican que en promedio los participantes mostraron 24% más emociones positivas usando la tela que con el dispositivo vestibular (**Figura 30**). Una prueba U de Mann-Whitney indica que existe diferencia significativa entre la tela interactiva y “Go-With-the-Flow” ($p=0.027$) en expresiones positivas (POS). Se complementa con comentarios procedentes de algunos de los participantes, quienes se mostraban con una actitud positiva al interactuar con la tela, por ejemplo, “—Que bonito planeta.” **Niño (N)** “—Me encanta esto.” **N2**; “— [fue sonido de] *tambor*” **N3**; sin dejar de lado los comentarios positivos para el dispositivo vestibular, por ejemplo “— [el sonido es] *piano, ifuerte!*” **N6**; “—Esto es mágico” **N2**“.

Sin embargo, no existe diferencia significativa en expresiones negativas (NEG) ($p=0.804$) entre los dispositivos; los niños en algunos casos mostraron indiferencia con el dispositivo vestible, ejemplo, —Señal de bostezo.” **N5**. Partiendo de la idea que es difícil identificar emociones en niños con autismo.

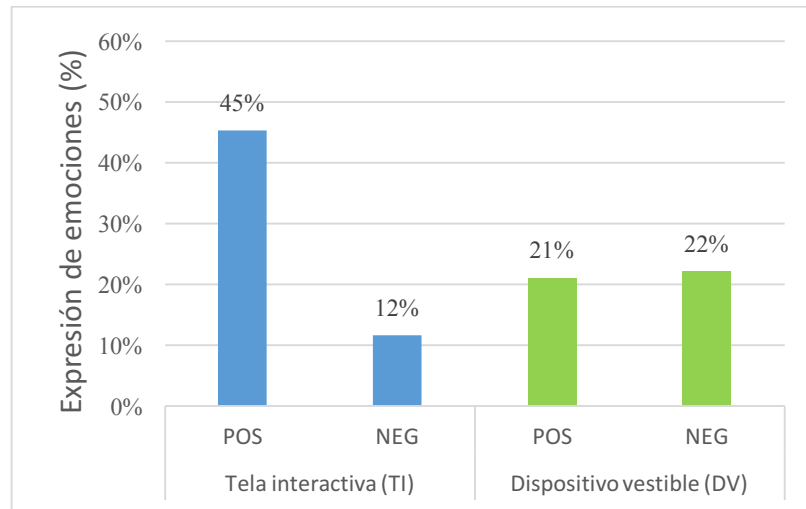


Figura 30. Expresión de emociones positivas (POS) y negativas (NEG) en los dispositivos.

4.5.3 Repetición de movimientos

Una repetición se consideró como el intento de realizar el movimiento de empuje o lateral con cierto margen de tolerancia, esto quiere decir, que los sonidos están divididos de manera equidistante, manteniendo un rango de espacio para la reproducción de cada sonido. Por ejemplo, la primera nota del sonido discreto con trayectoria se activa entre la posición inicial del movimiento y un punto en la tela previamente calculado, asimismo con el resto de las notas del sonido.

4.5.3.1 Movimiento de empuje

Para responder la hipótesis 2: “utilizando la tela interactiva los niños realizan más repeticiones y movimientos dirigidos con el movimiento de empuje que con el dispositivo vestible”, se midieron el número de repeticiones y movimientos dirigidos en empuje.

Para el movimiento de empuje, los resultados indican que los niños realizaron 26.92% más repeticiones con la tela interactiva que con el dispositivo vestible (como se puede ver en la **Figura 31**). Sin embargo,

una prueba *t* comparando la cantidad de repeticiones del movimiento de empuje usando la tela interactiva contra el dispositivo vestibular indica que no existe diferencia estadísticamente significativa ($p=0.065$).

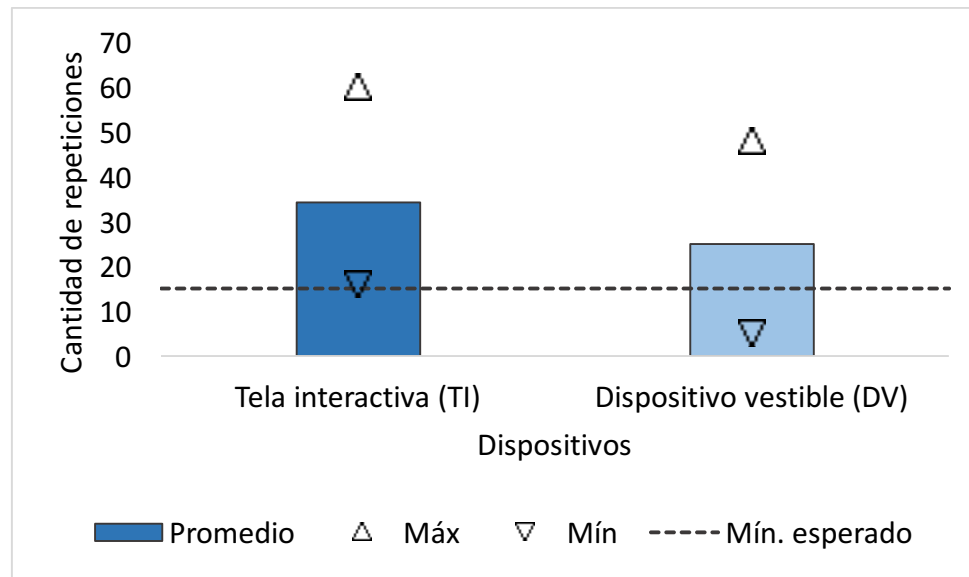


Figura 31. Numero de repeticiones por dispositivo, tela interactiva (TI) - dispositivo vestibular (DV).

Los comentarios de los psicólogos reportan que al parecer observaron un comportamiento parecido en el rendimiento de los movimientos en ambos dispositivos:

“—Los dos [dispositivos] siento que son muy buenos porque le encanto como empujar ¿no?, hacer el movimiento lateral, le gustaba más como empujarlos, pero aquí [dispositivo vestibular] también le fue muy bien [con el empuje], entonces yo creo que los dos [tela interactiva y dispositivo vestibular] le gustaron.” P

Además de que reportan que el movimiento de empuje es más complicado de realizar:

“—Si [le gustó el sonido de tambor en el celular], pero se le está haciendo muy difícil el movimiento.” P

Por último, los psicólogos dicen que el estímulo táctil complementa los sonidos ya que los participantes buscaban la sensación de la tela.

“—si estaba haciendo muchas repeticiones, pero no es por el sonido sino por el movimiento y la sensación cuando está moviendo la tela.” P

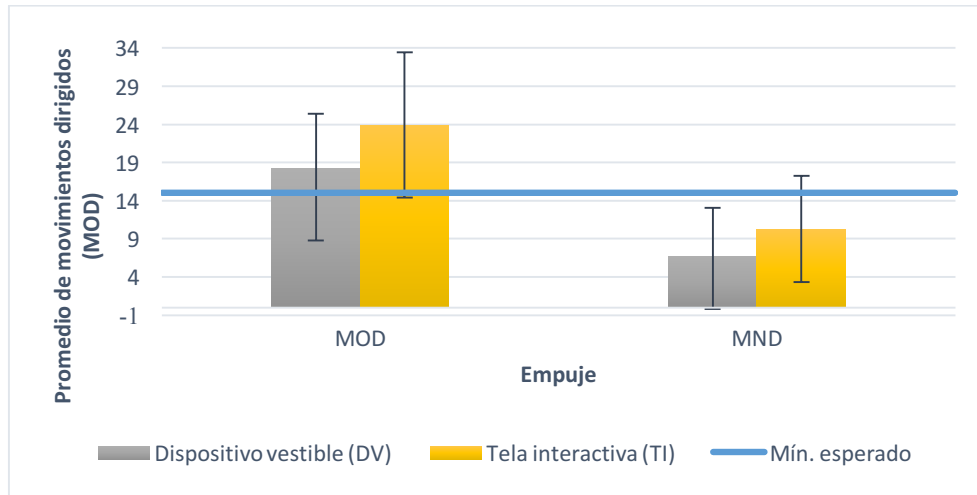


Figura 32. Movimiento dirigido (MOD), Movimiento no dirigido (MND) para empuje.

Los resultados obtenidos del análisis de la cantidad de repeticiones y dirección del movimiento, se puede ver que 23.57% de los participantes realizaron más repeticiones dirigidas con la tela interactiva que con el dispositivo vestible (ver **Figura 32**). Los psicólogos son conscientes de que el rendimiento en la tela con el movimiento de empuje tiene una diferencia porcentual contra el dispositivo vestible, por ejemplo:

“— podría decir que [hay] más [movimientos dirigidos de empuje en la] tela, pero no hay mucha diferencia nada más lo que cambió fue como el aspecto visual ¿no? que, que eso a lo mejor fue poquito más de motivación.” P

Otra de las razones por las que los psicólogos no ven un movimiento correcto de empuje como tal en el dispositivo vestible es porque el movimiento de empuje no se percibe por el participante, y siempre existe retroalimentación auditiva lo que le confunde, el psicólogo dijo:

“—[realizan más de empuje] en la tela, [en el dispositivo vestible] no lo ven como empuje ellos ven como: ‘¡oh tengo moverla, que levantar la mano hacia enfrente y no de lado!’, pero aunque levante la mano de lado o lo levante de frente el teléfono suena, o sea no importa en qué tipo de movimiento haga de todos modos va a sonar, entonces ellos no ven como la diferencia de que estoy empujando verdaderamente o estoy moviendo el brazo de arriba abajo, porque el movimiento todas formas se ve, se siente.” P

En algunas ocasiones los psicólogos observaron que algunos participantes necesitaban usar más fuerza ya que no aplicaban la adecuada en su movimiento para obtener los sonidos.

“— Si los buscaba (los sonidos), pero no aplicaba tanta fuerza y volteaba más a que la ayudáramos, le dábamos la ayuda y miraba que era satisfactorio para ella, nos sonreía como diciendo gracias por ayudarme porque quiero escuchar el piano, pero no estaba aplicando la fuerza adecuada y en el otro vi que ella solo se acomodaba, no sonó ok le aplico más fuerza.” P

Las respuestas de los psicólogos corresponden con la prueba t para movimientos dirigidos ($p=0.881$) y no dirigidos ($p=0.755$) que indica no hay diferencia estadísticamente significativa en la dirección de los movimientos para cada uno de los dispositivos.

La ayuda proporcionada por los psicólogos indica que el dispositivo vestibular requirió 20% más de ayudas modeladas en comparación con la tela interactiva (ver **Figura 33**), con una diferencia estadísticamente significativa en la prueba U de Mann-Whitney con un valor $p=0.000$. Además, los psicólogos dicen:

“—... ósea tenía que aprender por modelamiento como hacer el movimiento [en el celular] para que se escuchará el sonido.” P

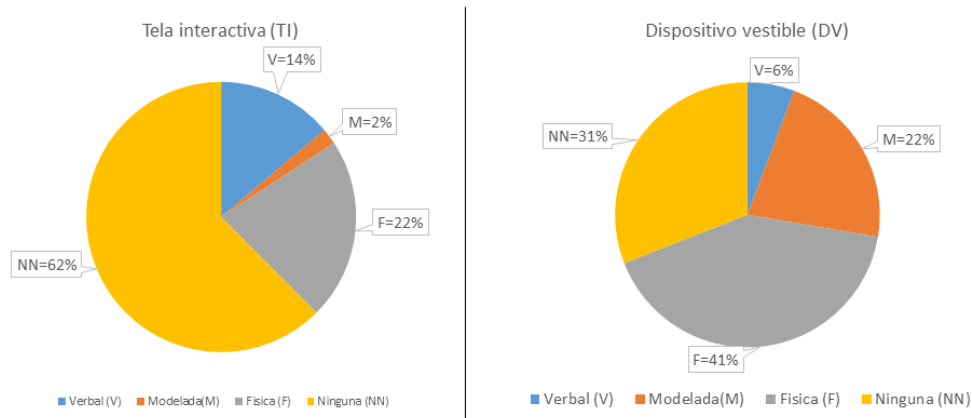


Figura 33. Ayuda dada por los psicólogos en el movimiento de empuje.

Los resultados del análisis de comportamiento de los participantes demuestran que en la mayoría de los movimientos de empuje los participantes no necesitaban de ningún tipo de ayuda en la tela interactiva; por ejemplo *“— [la actitud del participante fue por] la tela, muy poco del sonido y no necesito tantas instrucciones él, así que no fue tanta influencia de nosotros.” P*, caso contrario el dispositivo vestibular, el cual necesito de 19% más ayudas físicas en comparación con la tela interactiva (ver **Figura 33**). Además, los psicólogos dijeron que en el dispositivo vestibular era casi necesario contar con ayuda de algún tipo, por ejemplo:

“— [el movimiento de empuje en celular] nada más [lo realizaba] porque tenía que imitar, porque era algo que le estaban como pidiendo.” P

En general, la hipótesis 2 se cumple, los participantes al utilizar la tela interactiva realizan más movimientos dirigidos con el movimiento de empuje que con el dispositivo vestibular, incluso por encima del mínimo esperado (15 repeticiones), se demuestra en el tiempo de atención promedio por niño es mayor y el número de ayudas fue menor al comparar con el dispositivo vestibular.

4.5.3.2 Movimiento lateral

Para responder la hipótesis 3: “utilizando el dispositivo vestibular los niños realizan más repeticiones y movimientos dirigidos con el movimiento de lateral que con la tela interactiva”, se midieron el número de repeticiones y movimientos dirigidos de lateral.

Para el movimiento lateral, los resultados indican que los niños realizaron 26.97% más repeticiones con el dispositivo vestibular en comparación con la tela interactiva (ver **Figura 34**). La prueba U de Mann-Whitney indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre los dispositivos al realizar las repeticiones laterales con un valor $p = 0.034$. Los psicólogos percibieron más repeticiones con el dispositivo vestibular debido a que es de fácil uso e interactivo para los participantes:

“— [El movimiento] lateral creo que [para el participante es] mejor con el [dispositivo vestibular].” P

“— [Es mejor el movimiento lateral] por qué, es más, como más [interactivo].” P

“—Bueno ella percibe más que nada los sonidos, al menos el celular si ha sido muy práctico en su movimiento [lateral].” P

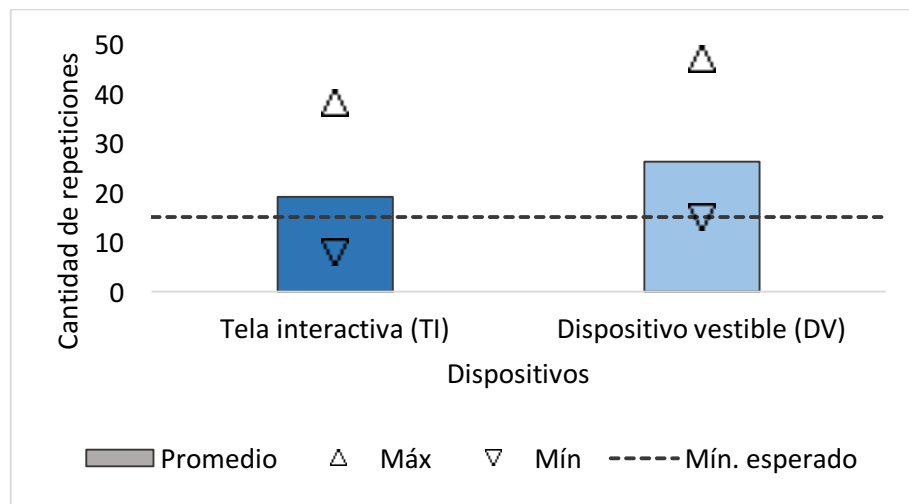


Figura 34. El dispositivo vestible muestra más repeticiones del movimiento lateral que con la tela interactiva.

Para los resultados de movimiento lateral con dirección se puede ver que 26.18% de los participantes realizaron más repeticiones dirigidas con el dispositivo vestible que con la tela interactiva (ver **Figura 35**). Sin embargo, la prueba *t* para movimientos dirigidos ($p = 0.881$) y no dirigidos ($p = 0.755$) muestran que no hay diferencia estadísticamente significativa para ambos en los dispositivos. Los psicólogos reportaron que el movimiento de lateral es diferente en la tela en comparación con el dispositivo vestible ya que realizan dos movimientos en al realizar un pequeño empuje y deslizar posteriormente, por ejemplo:

“—[el movimiento] lateral creo que, [es] mejor con el celular, ... eh notado como que no se percibe bien el movimiento en la tela; [porque] aparte tiene que ser cómo empujar y lateral, en el celular solamente es el lateral.” P

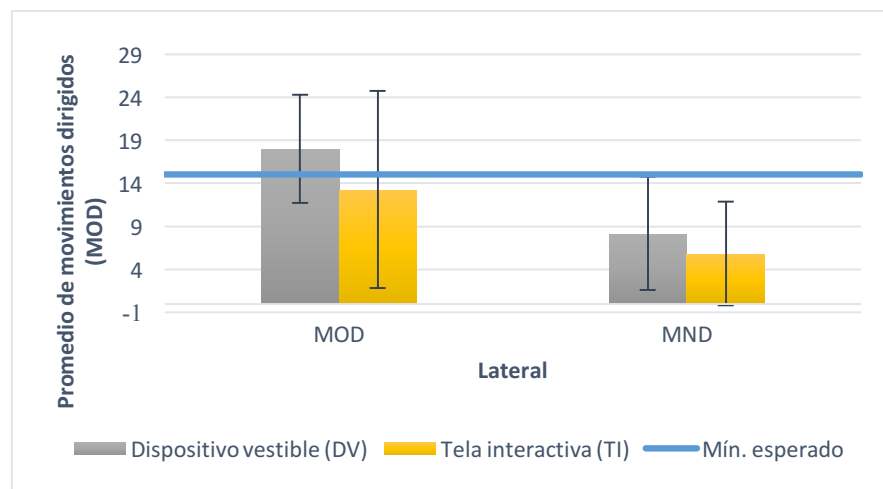


Figura 35. Movimiento dirigido (MOD), Movimiento no dirigido (MND), en lateral (tela interactiva (TI), dispositivo vestible (DV).

Los psicólogos observaron que el apoyo visual permitió entender el movimiento lateral y completar las repeticiones dirigidas, por ejemplo:

“— [el movimiento lateral en la tela] sí fue más motivador para él [participante], si le note en su mirada escuchaba y luego como él, él cumplió con sus repeticiones así y de hecho fueron rápidas, le agarro muy bien la forma de cómo trasladar el cohete a la luna, o sea en algunos casos a lo mejor como que le cuesta ¿no?, tiene que, batalla para moverlo, pero él le fue muy fácil.” P

Y por último en el dispositivo vestibular los psicólogos observaron que no era necesario un rango de movimiento amplio para que sonara, es decir, el ángulo de separación del tronco y el brazo no necesitaba ser amplio para obtener un sonido, ya que mencionan lo siguiente:

“— [las repeticiones del movimiento] lateral, creo que no las podía hacer completas es muy flojito no le gusta mover mucho el brazo, entonces está como en la ley del mínimo esfuerzo y como si le hacía así ya sonaba (ejemplo de movimiento corto) pues para que le hago hasta acá (posición más arriba).” P

La ayuda prestada por los psicólogos en el movimiento lateral permite identificar algunas razones. El dispositivo vestibular presenta 15% más ayudas modeladas en comparación con la tela interactiva, (ver **Figura 36**). Al aplicar la prueba U de Mann-Whitney se muestra una diferencia estadísticamente significativa en el número de ayudas modeladas con un resultado $p=0.00$. Además, los psicólogos mencionan:

“—Eh pues sí, [las repeticiones laterales] sí las hizo de la manera correcta, pero fue por medio de imitación no fue por medio de espontaneidad.” P

“—...nada más hacía la indicación que le estabas dando, no tanto como que: sé que si levanto el brazo va a escucharse, va emitir un sonido, sino que lo levantó solamente, pues le estas diciendo que levante el brazo.” P

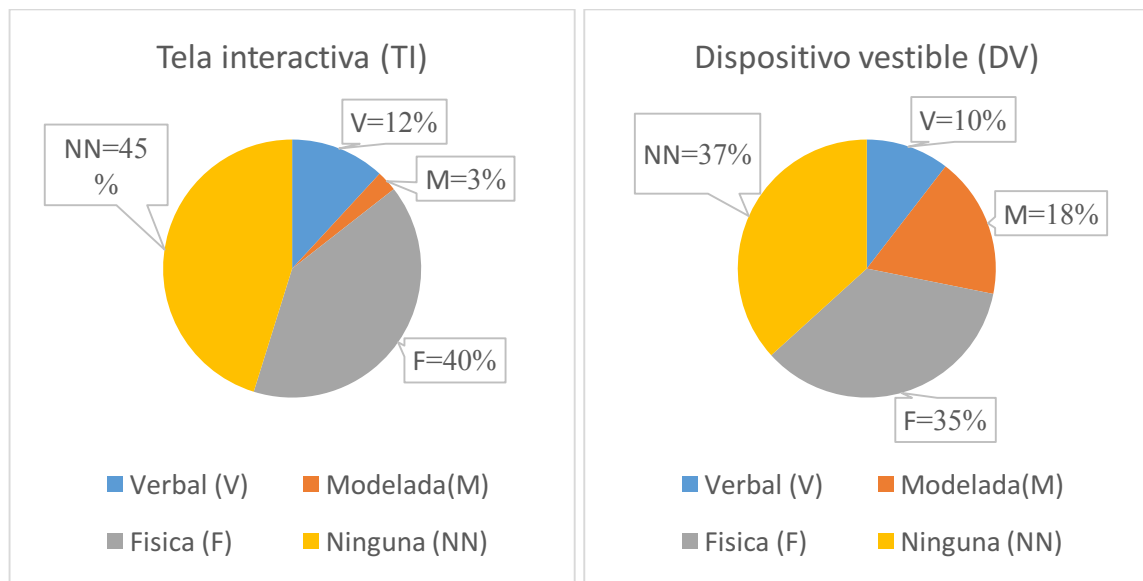


Figura 36. Ayuda dada por los psicólogos hacia los niños en el movimiento lateral.

Por último, los psicólogos concuerdan en que los movimientos fueron más sin ayuda en la tela interactiva de acuerdo con lo observado en la actividad, su respuesta en la encuesta fue (ver **Figura 6**):

“— [las repeticiones laterales en la tela] fueron muy buenas, fueron muy muy buenas, no lo había visto trabajar así tan, tan, de la primera sesión (en celular) a esta (en tela) no lo había trabajar tan motivado como en esta ocasión y tanta atención de saber qué es lo que tenía que hacer, sin tener que recibir una ayuda física o ayuda verbal.” P

En la **Figura 37**, se muestra el porcentaje de tiempo promedio (seg.) que los niños con autismo estuvieron atentos en la actividad (ON-Task, ONT) y fuera de la tarea (Off-Task, OFT). Los resultados indican que los participantes estaban un 18% más de tiempo atentos a la terapia en comparación del dispositivo vestibular. La prueba U de Mann-Whitney, indica que existe diferencia estadísticamente significativa ($p=0.022$) en ambos dispositivos, tela interactiva y dispositivo vestibular.

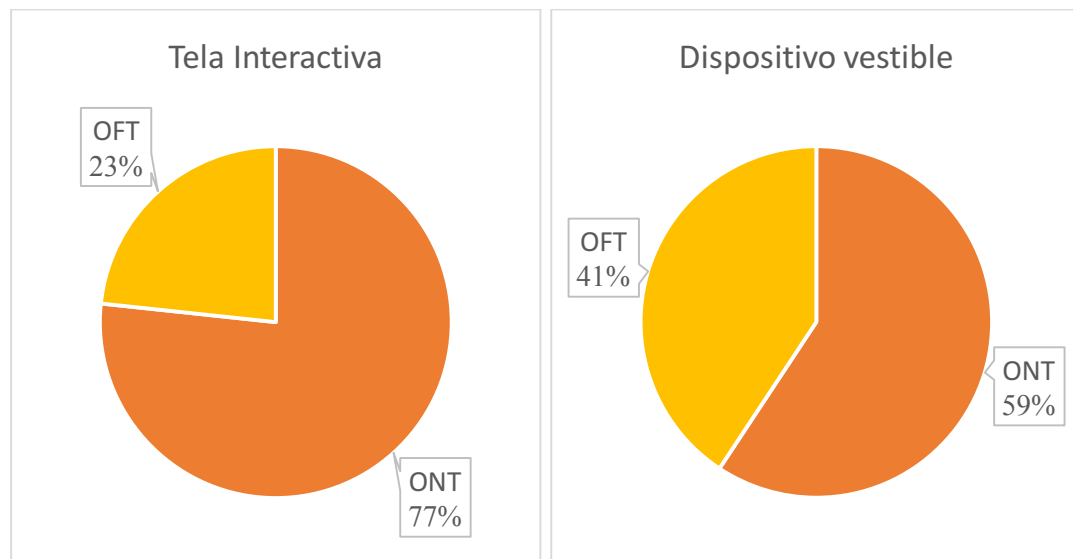


Figura 37. Nivel de atención durante la actividad por cada dispositivo.

Los psicólogos mencionaron que la falta de atención en la actividad era debido a los problemas sensoriales de los participantes:

“—Creo que, no le llama tanto la atención [el celular] solo por el hecho del sonido y distrae mucho en la parte sensorial, por el hecho de traerlo ahí [en el brazo].”

En general, los resultados responden la hipótesis 3, la cual con base al análisis mostrado se cumple. Los participantes al utilizar el dispositivo vestibular realizan más movimientos dirigidos de lateral que con la tela interactiva. Los participantes realizaron más de 15 repeticiones en promedio, por encima del mínimo esperado. Aun cuando se muestra que en el tiempo de atención promedio por niño fue mayor en el dispositivo vestibular, esto puede sugerir que el movimiento no representó dificultad en la actividad. Lo anterior se corrobora con el número de ayudas recibidas las cuales fue menor al comparar con la tela interactiva.

4.5.4 Hipótesis de sonidos

Para responder la hipótesis 4: “Los sonidos sin trayectoria promueven más repeticiones de movimientos”, se midieron el número de repeticiones y movimientos dirigidos en empuje.

Del análisis del total de repeticiones por sonidos, se observaron los siguientes resultados, los participantes realizaron 36% de las repeticiones con “el sonido discreto con trayectoria” (TD), 35% de las repeticiones con el “sonido discreto sin trayectoria” (ST) y 29% de las repeticiones con “sonido continuo” de viento (TC).

Se aplicó una prueba de ANOVA comparando la cantidad de repeticiones del movimiento de empuje ($p=0.217$) y lateral ($p=0.263$) usando los tres tipos de sonidos. Los resultados indican que en ambos movimientos no existe diferencia significativa, lo cual se puede apreciar en la diferencia porcentual entre cada sonido. (Ver **Figura 41**)

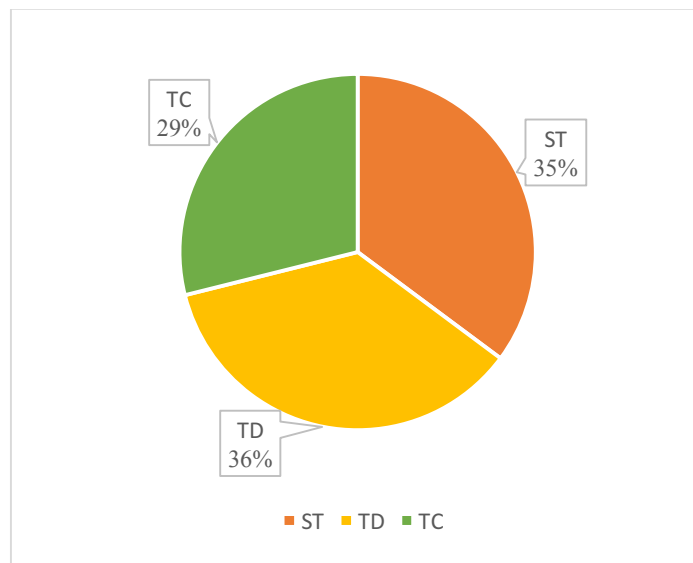


Figura 38. Número de repeticiones porcentual por cada sonido: discreto sin trayectoria (ST), discreto con trayectoria (TD) y trayectoria continua (TC).

“— [el sonido discreto sin trayectoria] impactó en probar un poco más yo le vi los ojos como de [brazo hacia] adelante [brazo hacia] atrás, como que sí le entendía, puede que no sea su instrumento favorito, pero le gusta y le dio más oportunidad de explorar.” P

“— [con el sonido discreto con trayectoria] mucho más atento, desde que tocaba la tela siempre había sonido. Entonces él buscaba constantemente generar el sonido.” P

“—Me fijé que él sí seguía el sonido, por ejemplo, el de viento (TC) si te fijaste se escuchaba muy fuerte, entonces como que entre más sonido había (volumen), le llamaba la atención hacer más repeticiones de empuje.” P

En general, los resultados del análisis responden la hipótesis 4, la cual no se cumple. Los participantes al interactuar con las tres estructuras de sonidos demuestran que, con una diferencia porcentual pequeña, el sonido discreto con trayectoria promueve más repeticiones de movimientos que el sonido esperado (discreto sin trayectoria).

La hipótesis 5: “Los sonidos de trayectoria discreta promueven más repeticiones de movimientos dirigidos”, se midieron el número de movimientos dirigidos en con cada sonido.

Los resultados del análisis del total de movimientos dirigidos por sonidos indican que los participantes responden a los diferentes sonidos propuestos por arriba del mínimo esperado (10 repeticiones por sonido), el sonido discreto sin trayectoria presentó 13.46 repeticiones dirigidas en promedio, el sonido discreto de trayectoria discreta 12.68 repeticiones dirigidas y por último el sonido continuo de viento un 10.61 (ver **Figura 39**). Para corroborar la información recolectada, se utilizó una prueba ANOVA, la cual entregó como resultado $p=0.151$ en movimiento dirigidos, por lo tanto, no existe diferencia estadísticamente significativa entre dispositivos.

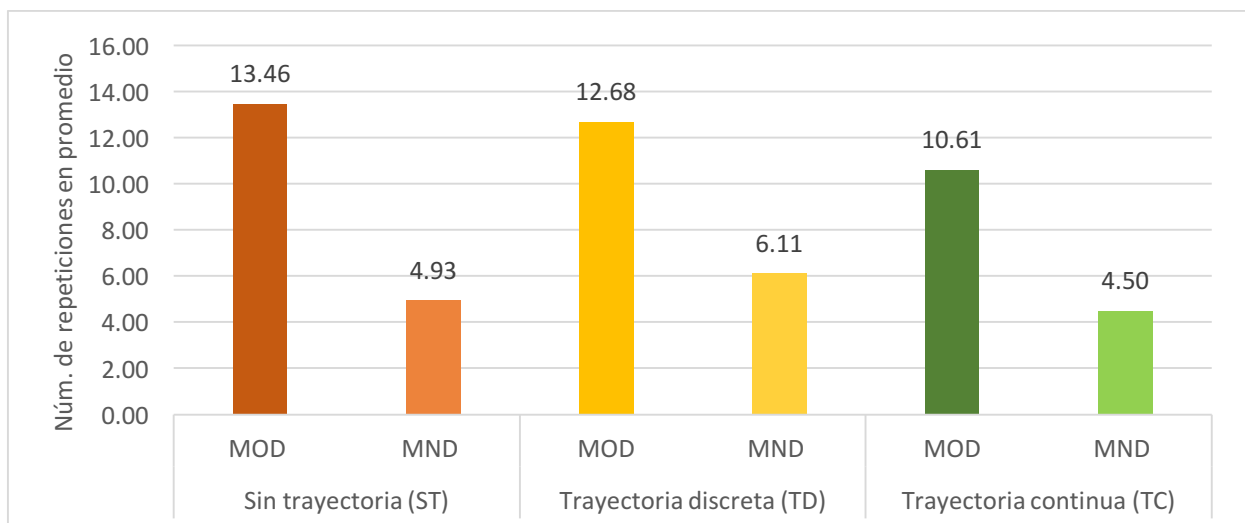


Figura 39. El número mínimo de repeticiones esperadas es de 10 por cada sonido, en cada uno se analizó los movimientos dirigido (MOD) y no dirigido (MND).

Lo anterior es complementado con los resultados cualitativos reportados por los psicólogos, quienes sugieren que fue posible observar un comportamiento parecido en el rendimiento de los sonidos:

“—El [sonido continuo de] viento (TC) también considero que él lo entendió muy bien, debido a su intensidad que cambia de bajito a fuerte, y él así lo entendió.” P

“—... como ella quería escuchar el sonido [discreto con trayectoria] (TD) y entre más fuerte se escuchaba era más motivante, entonces ella buscaba hacer los movimientos correctamente.” P

“— El [sonido discreto sin trayectoria] (ST) ayudó más en la atención, ya que ella tenía que hacerlo todo o soltarlo todo (posición inicia y final), estaba más concentrada.” P

Los resultados del análisis indican que la hipótesis 4 no se cumple. Los participantes al interactuar con cada estructura de sonidos, demuestra que el sonido discreto sin trayectoria promueve más número de movimientos dirigidos; los psicólogos lo relacionan con la simplicidad de la estructura de sonido, que permitía identificar fácilmente cuando el sonido daba una señal de inicio o fin del movimiento.

Con base en los resultados anteriores y con el interés de responder la hipótesis 6: “Los sonidos de trayectoria continua promueven más repeticiones y movimientos dirigidos”, es decir, identificar si el sonido continuo de viento mostraba un rendimiento competitivo con los demás sonidos. Se decidió realizar un análisis de los sonidos por tipo de movimiento. Los resultados de dicho análisis indican que el sonido continuo [TC] de viento promueve más repeticiones y movimientos dirigidos en el movimiento lateral, seguido por el sonido discreto sin trayectoria [ST] y el sonido discreto con trayectoria [TD] en último lugar (ver **Figura 40**). Los psicólogos comentan que se debe a la facilidad de identificar el cambio de volumen:

“—Dada la intensidad (variación de volumen en TC - viento), él puede escuchar todos los sonidos y sabe cuándo es [volumen] fuerte, cuando es [volumen] bajo y para él fue muy notorio.” P

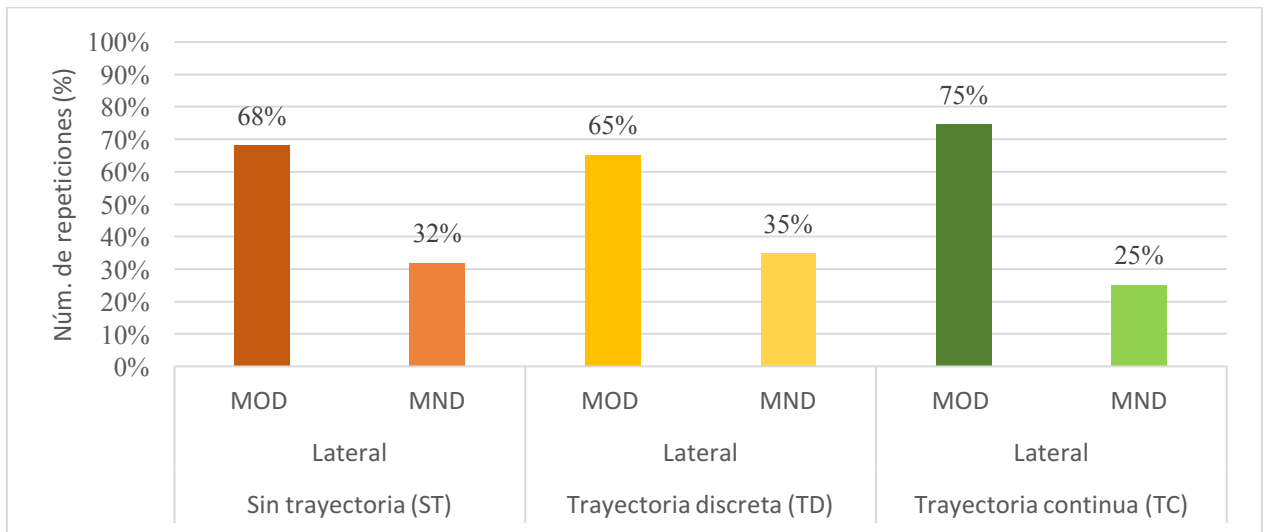


Figura 40. Movimientos dirigidos (MOD) de tipo lateral por sonido.

Para el análisis de movimiento empuje por sonidos, los resultados indican que el sonido discreto sin trayectoria [ST] promueve más repeticiones y movimientos dirigidos en el movimiento de empuje, seguido por el sonido discreto con trayectoria [TD], y en último lugar el sonido continuo [TC] de viento (ver **Figura 41**). Los psicólogos comentan que se debe a que al ser un instrumento conocido fue posible su asociación:

“— Pues como que escuchaba más fuerte [el sonido discreto sin trayectoria], él sabía que el tambor se hace así (simula toque de tambor), empujando, entonces como que lo relacionó.” P

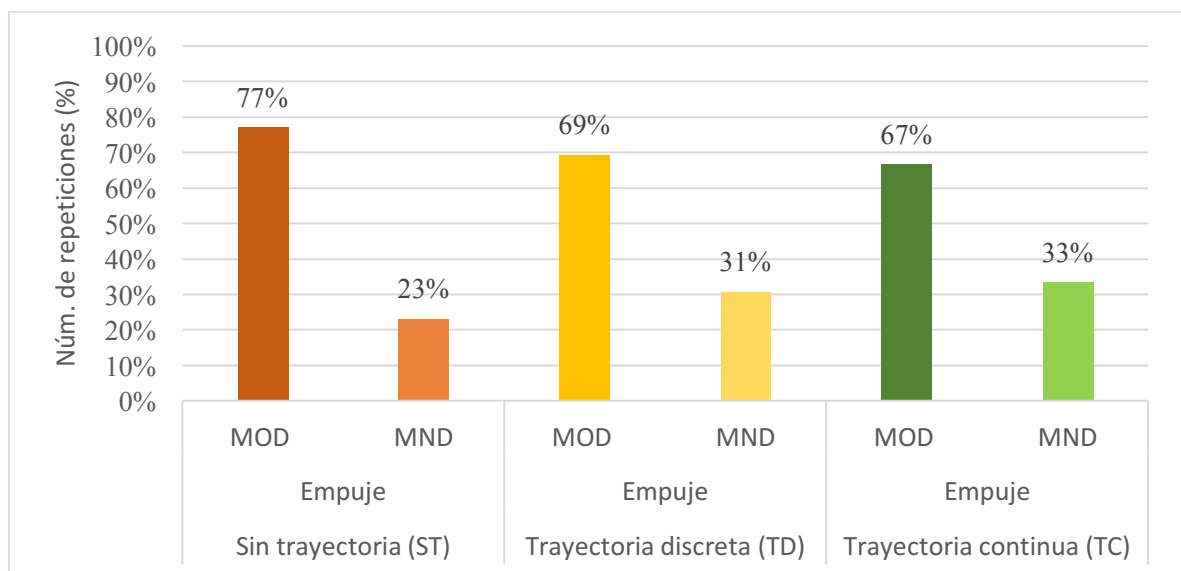


Figura 41. Movimientos dirigidos (MOD) de empuje por sonido

Para finalizar, los resultados muestran que la sonificación interactiva ayuda a los niños a realizar mayor número de repeticiones y movimiento dirigidos con las estructuras de sonidos en los movimientos evaluados. Realizar más movimientos es importante debido a que sugiere un potencial de impacto terapéutico, para mejorar la ejecución de los movimientos de las extremidades superiores, al mantener la atención del niño y generando experiencia musical al momento de seguir el ritmo y reaccionar a los diferentes sonidos que promueve más movimientos espontáneos en los niños.

Capítulo 5. Conclusiones

En el presente trabajo se diseñaron y desarrollaron estructuras de sonidos a utilizarse por una interfaz natural de sonificación interactiva. Se explora si estas estructuras de sonidos apoyadas por dispositivos vestibles y telas interactivas pueden proporcionar guías a los niños con autismo durante la repetición de movimientos laterales y de empuje.

Para el diseño y desarrollo de las estructuras de sonidos se realizaron tres iteraciones siguiendo una metodología iterativa y centrada en el usuario.

La primera iteración consistió en un estudio exploratorio, para entender si los niños con autismo entendían la sonificación interactiva, si podían entender los sonidos que se diseñaron para otra población, y encontrar nuevos sonidos o modificaciones que se tenían que realizar a los sonidos que se diseñaron. Los resultados mostraron que los sonidos diseñados para otra población no son adecuados para los niños con autismo y que los niños con autismo si entienden la sonificación interactiva. Por lo tanto, mediante sesiones de diseño y con el entendimiento de este estudio se rediseñaron nuevos sonidos.

La segunda iteración consistió en un estudio formativo para entender si los nuevos sonidos que se diseñaron pueden apoyar la repetición de movimientos laterales y de empuje de los niños con autismo. Los resultados indican que los participantes comprendían que sus movimientos generaban los sonidos, y que los sonidos que se diseñaron promueven la repetición de movimientos en ellos. Los sonidos se clasificaron en sonidos discretos y sonidos continuos, con dos variaciones de sonidos discretos y un sonido continuo de viento; las variaciones del sonido son: discreto con trayectoria que consiste en una escala mayor con instrumento de piano, y discreto sin trayectoria utilizando un tambor.

Estas últimas estructuras de sonidos, a la que denominamos V2.0, que habían mostrado resultados prometedores se integraron a dos tecnologías diferentes: un dispositivo vestible y una tela interactiva.

“Go-with-the-Flow” es una aplicación implementada en un *“smartphone”*, desarrollada en colaboración con *University College London*, el dispositivo se coloca en el brazo que se desea sonificar; una vez colocado en el brazo el dispositivo realiza un seguimiento del movimiento lateral o de empuje según lo requerido en la terapia. La interfaz visual permite a los usuarios seleccionar un sonido y calibrar según el movimiento elegido.

Con el mismo objetivo del dispositivo celular, que es promover la práctica de los movimientos lateral y de empuje en los niños con autismo, se desarrolló la superficie interactiva, Música Flexible “sonificada” (MFS) es una tela interactiva que realiza un seguimiento del movimiento del usuario una vez que el brazo inicia el toque de la tela, primero es necesario calibrar el movimiento de empuje y lateral de acuerdo con el alcance del usuario, por último, para comenzar a utilizar MFS se debe seleccionar el sonido y movimiento.

MFS utiliza un sensor Kinect y un proyector conectado a una computadora, detrás de un marco de tela tensado. El sensor Kinect detecta los toques sobre la superficie de tela que son procesados por la librería TSPS. El proyector despliega sobre la tela el fondo de espacio y las animaciones con las que el participante interactúa. En la computadora se ejecuta MFS, con Processing que es un lenguaje basado en Java y a su vez un entorno de desarrollo en el cual para la manipulación de los sonidos se utilizó la librería Java Sound.

La tercera iteración, consistió en evaluar la eficiencia de la sonificación interactiva en los movimientos lateral y de empuje utilizando los sonidos en dos condiciones: (1) usando Música Flexible “sonificada” (MFS) y (2) usando “*Go-With-the-Flow*” (GWF). Se realizó un estudio sumativo siguiendo un paradigma intra-sujetos durante 2 semanas. Participaron 14 niños con autismo entre los 8 y 16 años. Cada niño completó 5 repeticiones para el movimiento de empuje y el lateral utilizando todos los sonidos en las dos condiciones. Cada participante tardó 9 minutos aproximadamente por condición (MFS y GWF). Los participantes fueron divididos en dos grupos de manera aleatoria donde cada uno inició con una condición diferente. Los resultados indican que los niños realizan más repeticiones del movimiento dirigido de empuje en MFS a diferencia de GWF, este último promueve más repeticiones laterales e igualmente más movimientos dirigidos. Por otro lado, en la experiencia musical con GWF, los niños reaccionan a diferentes sonidos ligeramente más que con MFS; con esta última les resulta más fácil seguir el ritmo y realizar repeticiones espontáneas. Además, los resultados muestran que, en el nivel de atención, los niños estuvieron más tiempo en la tarea con MusicaFlexible “Sonificada”; en comparación con “*Go-With-the-Flow*”. Una comparación entre sonidos para promover movimientos dirigidos, indica que el sonido continuo de viento promueve más movimientos laterales dirigidos. Por otro lado, el sonido discreto sin trayectoria ayuda en la práctica de movimientos de empuje dirigidos.

Los datos de los tres estudios que incluyen una base de datos de información heterogénea que contiene entrevistas, cuestionarios, videos y bitácoras de uso del sistema se recabaron en Pasitos –un Centro psicopedagógico, ubicado en Tijuana, Baja California, México. Los datos se analizaron utilizando técnicas cualitativas para encontrar temas emergentes y técnicas cuantitativas para el análisis secuencial de video.

Para las sesiones de diseño participaron un equipo multidisciplinario de expertos en IHC, músicos y una psicóloga.

5.1 Aportaciones

Las principales aportaciones de este trabajo son:

- Estructuras de sonidos que promueven la sonificación de movimientos en los niños con autismo
- Una versión de MFS que contiene las estructuras de sonidos para los movimientos laterales y de empuje de las extremidades superiores.
- Evidencia empírica del uso de la sonificación interactiva para la repetición de movimientos lateral y de empuje en las extremidades superiores de niños con autismo.

5.2 Limitaciones

El presente trabajo, presenta en su versión actual algunas limitaciones:

Los estudios se realizaron en una sola clínica de niños con autismo, y con una muestra relativamente pequeña; aunque, el tamaño de esta muestra es suficiente para realizar un estudio piloto que permita observar la utilidad de la sonificación interactiva en los niños con autismo, para poder generalizar los datos presentados en esta tesis es necesario ampliar la muestra de a 30 niños como mínimo (Lazar et al., 2010).

En cuanto al número de sonidos y movimientos que se obtuvieron en el estudio exploratorio y formativo respectivamente, en este trabajo sólo se consideraron y evaluaron dos movimientos y tres sonidos. La razón de esta selección se debe a que el número de condiciones era grande, representan más tiempo de análisis y estas eran suficientes para responder las preguntas de investigación eh hipótesis.

El sensor Kinect no es lo suficientemente sensible para detectar profundidades pequeñas, por lo cual, si al momento de calibrar la posición inicial y final del movimiento la longitud es estrecha, no es posible una discretización de la profundidad calculada para reproducir las estructuras de sonidos; por lo que en

ocasiones durante el estudio sumativo se tuvo que modificar de manera manual la posición final del movimiento.

Los resultados de la evaluación mostraron evidencia de problemas de uso y adopción relacionados con GWF. Los psicólogos reportaron que el tamaño del dispositivo vestibular era muy grande para los niños más pequeños; y los niños mostraron problemas sensoriales al momento de ajustar el forro que utilizaron para usar GWF. Se sugiere un proceso de sensibilización, para eliminar o disminuir el rechazo al uso del dispositivo vestibular, además del diseño de un dispositivo menos intrusivo, por ejemplo de menor tamaño.

5.3 Trabajo futuro

Desde el punto de vista técnico se deben mejorar aspectos de interacción y calibración. Con relación a la interacción se debe estudiar si existen nuevas tecnologías (e.g. telas inteligentes) que mejoren la experiencia de interacción en términos de estímulos táctiles y manipulación de sonidos; debido a que en algunas ocasiones la plataforma de TSPS en conjunto con la lectura de los archivos de audio mostraban un retraso en el procesamiento. Adicionalmente, se debe estudiar y analizar una nueva interfaz de calibración y configuración del dispositivo vestibular a un dispositivo remoto, que permita al psicólogo controlar el funcionamiento de la aplicación *“Go-With-the-Flow”* a distancia, ya que en algunas ocasiones tocaban la interfaz a pesar de que esta se ocultaba del ojo del niño.

Finalmente, la evaluación estuvo limitada por el tiempo y número de participantes, se observó potencial impacto terapéutico, pero no es posible realizar aseveraciones respecto a tal tema. Se recomienda realizar una evaluación a largo plazo utilizando pruebas clínicas para estudiar el impacto terapéutico que puede tener el uso de sonificación interactiva para mejorar la coordinación y la auto-regulación de fuerza de niños con autismo.

Literatura citada

- American Psychiatric Association. (2013). *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5®*. American Psychiatric Publishing. <http://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425657>
- American Psychological Association. (2017, septiembre). What is Autism Spectrum Disorder? <http://doi.org/10.1176/appi.pn.2017.9a19>
- Bhat, A. N., Landa, R. J., y Galloway, J. C. (Cole). (2011). Current Perspectives on Motor Functioning in Infants, Children, and Adults With Autism Spectrum Disorders. *Physical Therapy*, 91(7), 1116–1129. <http://doi.org/10.2522/ptj.20100294>
- Cacola, P., Bobbio, T., y Gabbard, C. (2009). Interlimb coordination: an important facet of gross-motor ability. Recuperado a partir de <http://ecrp.uiuc.edu/v11n2/bobbio.html>
- Caro, K., Tentori, M., Martinez-Garcia, A. I., y Zavala-Ibarra, I. (2015). FroggyBobby: An exergame to support children with motor problems practicing motor coordination exercises during therapeutic interventions. *Computers in Human Behavior*. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2015.05.055>
- Cesarini, D., Calvaresi, D., Farnesi, C., Taddei, D., Frediani, S., Ungerechts, B. E., y Hermann, T. (2016). MEDIATION: An eMbEddeD System for Auditory Feedback of Hand-water InterAcTION while Swimming. *Procedia Engineering*, 147, 324–329. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.301>
- Cibrian, F. (2016). Designing a Deformable Musical Surface for Children with Autism.
- Cibrian, F. L., Peña, O., Ortega, D., y Tentori, M. (2016). BendableSound: An elastic multisensory surface using touch-based interactions to assist children with severe autism during music therapy. *International Journal of Human Computer Studies*. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.05.003>
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., Gondre, C., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R., Ystad, S., y Velay, J.-L. (2013). Handwriting sonification for the diagnosis of dysgraphia. En *10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR) - Sound, Music & Motion* (pp. 123–126). Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/272003679_Handwriting_sonification_for_the_diagnosis_of_dysgraphia
- Dubus, G., y Bresin, R. (2013). A Systematic Review of Mapping Strategies for the Sonification of Physical Quantities. *PLoS ONE*, 8(12), e82491. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0082491>
- Fournier, K. A., Hass, C. J., Sagar, @bullet, Naik, K., Neha, @bullet, @bullet, L., y Cauraugh, J. H. (2010). Motor Coordination in Autism Spectrum Disorders: A Synthesis and Meta-Analysis. <http://doi.org/10.1007/s10803-010-0981-3>

- Ghisio, S., Coletta, P., Piana, S., Alborno, P., Volpe, G., Camurri, A., ... Ravaschio, A. (2015). An Open Platform for Full Body Interactive Sonification Exergames. En *Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment*. IEEE. <http://doi.org/10.4108/icst.intetain.2015.259584>
- Grierson, M., y Kiefer, C. (2013). NoiseBear: A Malleable Wireless Controller Designed In Participation with Disabled Children. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 413–416. Recuperado a partir de <http://nime2013.kaist.ac.kr/>
- Grosshauser, T., Bläsing, B., Spieth, C., y Hermann, T. (2012). Wearable sensor-based real-time sonification of motion and foot pressure in dance teaching and training. *Journal of the Audio Engineering Society*, 60(7–8), 580–589.
- Hunt, A., Kirk, R., y Neighbour, M. (2004). Multiple media interfaces for music therapy. *IEEE Multimedia*, 11(3), 50–58. <http://doi.org/10.1109/MMUL.2004.12>
- Isenberg, P., Isenberg, T., Hesselmann, T., Bongshin Lee, von Zadow, U., y Tang, A. (2013). Data Visualization on Interactive Surfaces: A Research Agenda. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 33(2), 16–24. <http://doi.org/10.1109/MCG.2013.24>
- Lazar, J., Feng, J. H. J., y Hochheiser, H. (2010). *Research methods in human-computer interaction. Evaluation*. <http://doi.org/10.1002/asi.21187>
- Lederman, E., y Lederman, E. (2005). *The science and practice of manual therapy*. Elsevier/Churchill Livingstone.
- Newbold, J. W., Bianchi-Berthouze, N., Gold, N. E., Tajadura-Jiménez, A., y Williams, A. C. (2016). Musically Informed Sonification for Chronic Pain Rehabilitation. En *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16* (pp. 5698–5703). New York, New York, USA: ACM Press. <http://doi.org/10.1145/2858036.2858302>
- Ortega, D., Cibrian, F., y Tentori, M. (2015). BendableSound: a fabric-based interactive surface to promote free play in children with autism. En *In Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility* (pp. 315–316). New York, New York, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2700648.2811355>
- Pares, N., Masri, P., van Wolferen, G., y Creed, C. (2005). Achieving Dialogue with Children with Severe Autism in an Adaptive Multisensory Interaction: The "MEDIATE" Project. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(6), 734–743. <http://doi.org/10.1109/TVCG.2005.88>
- Parés, N., Soler, M., Sanjurjo, À., Carreras, A., Durany, J., Ferrer, J., ... Ribas, J. I. (2005). Promotion of creative activity in children with severe autism through visuals in an interactive multisensory environment. En *Proceeding of the 2005 conference on Interaction design and children - IDC '05* (pp. 110–116). New York, New York, USA: ACM Press. <http://doi.org/10.1145/1109540.1109555>

- Pascual Azorín, V. J., Jaén Martínez, J., y Bolós Catalá, A. (2012). *Un Modelo Conceptual para el Soporte de Ecosistemas 2D basados en Simulación Física para Superficies*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado a partir de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27251/TesisFinal_Entrega.pdf?sequence=1#97
- Piochon, C., Kloth, A. D., Grasselli, G., Titley, H. K., Nakayama, H., Hashimoto, K., ... Hansel, C. (2014). Cerebellar plasticity and motor learning deficits in a copy-number variation mouse model of autism. <http://doi.org/10.1038/ncomms6586>
- Ringland, K. E., Zalapa, R., Neal, M., Escobedo, L., Tentori, M., y Hayes, G. R. (2014). SensoryPaint: A Multimodal Sensory Intervention for Children with Neurodevelopmental Disorders. *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '14 Adjunct*, (September), 873–884. <http://doi.org/10.1145/2632048.2632065>
- Rosati, G., Roda, A., Avanzini, F., y Masiero, S. (2013). On the role of auditory feedback in robotic-assisted movement training after stroke. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2013.
- Schaffert, N., y Mattes, K. (2015). Interactive Sonification in Rowing: Acoustic Feedback for On-Water Training. *IEEE MultiMedia*, 22(1), 58–67. <http://doi.org/10.1109/MMUL.2015.9>
- Sigrist, R., Rauter, G., Marchal-Crespo, L., Riener, R., y Wolf, P. (2014). Sonification and haptic feedback in addition to visual feedback enhances complex motor task learning. *Experimental Brain Research*, 233(3), 909–925. <http://doi.org/10.1007/s00221-014-4167-7>
- Singh, A., Klapper, A., Jia, J., Fidalgo, A., Jimenez, A. T., Kanakam, N., ... Williams, A. (2014). Motivating People with Chronic Pain to do Physical Activity: Opportunities for Technology Design. En *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 2803–2812). New York, New York, USA: ACM Press. <http://doi.org/10.1145/2556288.2557268>
- Singh, A., Piana, S., Pollarolo, D., Volpe, G., Varni, G., Tajadura-Jimenez, A., ... Bianchi-Berthouze, N. (2015). Go-with-the-Flow: Tracking, Analysis and Sonification of Movement and Breathing to Build Confidence in Activity Despite Chronic Pain. *Human-Computer Interaction*, 31(3–4), 1–49. <http://doi.org/10.1080/07370024.2015.1085310>
- Singh, A., Piana, S., Pollarolo, D., Volpe, G., Varni, G., Tajadura-Jiménez, A., ... Bianchi-Berthouze, N. (2015). Go-with-the-Flow : tracking, analysis and sonification of movement and breathing to build confidence in activity despite chronic pain. *Human-Computer Interaction*, 24(January 2016), 1–49. <http://doi.org/10.1080/07370024.2015.1085310>
- Staples, K. L., y Reid, G. (2010). Fundamental movement skills and autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(2), 209–217. <http://doi.org/10.1007/s10803-009-0854-9>
- Sterr, A., Freivogel, S., y Voss, A. (2002). Exploring a repetitive training regime for upper limb

hemiparesis in an in-patient setting: a report on three case studies. *Brain Injury*, 16(12), 1093–1107. <http://doi.org/10.1080/02699050210155267>

Thaut, M., y Hoemberg, V. Handbook of Neurologic Music Therapy (2014).

Troiano, G. M., Pedersen, E. W., y Hornbæk, K. (2015). Deformable Interfaces for Performing Music. En *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15* (pp. 377–386). New York, New York, USA: ACM Press. <http://doi.org/10.1145/2702123.2702492>

WFMT. (2011). World Federation of Music Therapy: Definition.

Anexos

Anexo 1

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California

CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR COMO SUJETO DE INVESTIGACION

Documento de consentimiento de los padres

Se le solicita su consentimiento para que su hijo participe en el estudio de investigación. La participación en este estudio es completamente voluntaria. Por favor lea la siguiente información y siéntase libre de preguntar cualquier cosa que no entienda antes de decidir si desea que su hijo participe. Los investigadores citados a continuación responderán sus preguntas.

EQUIPO DE INVESTIGACION

Investigador líder:

Judith Gpe. Ley Flores
Ciencias de la computación, CICESE
ljudith@cicese.edu.mx

Investigadores:

Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Franceli L. Cibrian
Ciencias de la computación, CICESE
mtentori@cicese.mx
franceli@cicese.edu.mx

Sofia Espinosa
UABC
sofieduarte_1390@hotmail.com

PROPOSITO DEL ESTUDIO

El propósito del estudio de investigación es conocer la eficacia que tienen los sonidos para promover los movimientos laterales, cruzado y de empuje en los niños con autismo mediante el uso de un dispositivo celular y una superficie interactiva.

TEMAS

Requerimientos

Su hijo es elegible para participar en este estudio si él o ella tiene un diagnóstico del TEA (Trastorno del Espectro Autista), es un estudiante en un salón de clases en Pasitos, y se siente seguro de que él o ella puede usar con seguridad al final del estudio "Go-with-the-flow", una aplicación para celular y una tela interactiva, tal actividad que se le notificará en qué consiste, como es y cuando se realizará.

PROCEDIMIENTOS

Como parte del estudio, antes de introducir el uso de cualquier sistema computacional en alguna comunidad, es de suma importancia conocerla, entender sus problemas, habilidades y estrategias utilizadas para niños con problemas motrices de coordinación de brazos y control de fuerza.

Durante mayo, el estudio se realizará a lo largo de 2 sesiones durante dos semanas, cada sesión tiene una duración de 40 minutos aprox. Para las sesiones por semana se dividirá a los niños en grupos de 5 integrantes (G1: niño 1 al 5 y G2: niño 6 al 10). Serán dos actividades una con la tela interactiva y otra con "Go-with-the-flow" en ambas realizarán los mismos movimientos; por ejemplo, lateral consiste en mover brazo derecho o izquierdo deslizando de abajo hacia arriba y viceversa; cruzado es mover cada brazo de abajo hacia arriba y viceversa, cruzando de una esquina superior hacia la esquina inferior contraria; Por último, empuje que consiste en flexionar los brazos hacia el cuerpo, y extenderlos hacia el lado contrario y regresarlos a la posición de inicio. Se tendrá la ayuda de las maestras para realizar las actividades con los niños. Su hijo no será interrumpido durante las clases normales en Pasitos, ni sus clases ni actividades cambiarán. La información recopilada acerca de las sesiones y de las personas que participan en ellas será estrictamente confidencial, únicamente se utilizará para publicaciones referentes a este estudio, protegiendo en todo momento la identidad de su hijo. Posterior a este estudio los datos serán analizados por miembros del equipo de investigación.

Los niños entre 8 y 15 años de Pasitos con un diagnóstico del Desorden Autista como está definido por el *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM) V* están invitados a participar en el estudio.

Usted deberá notificar a los investigadores si cree que su hijo puede participar en el estudio. Los investigadores le describirán el estudio a su hijo y a sus maestros, permitiéndoles hacer las preguntas que crean necesarias. Como parte de la investigación se obtendrán y grabarán datos en papel, archivos digitales, grabaciones de audio y video, fotografías. Los datos que se capturen se utilizarán de tal forma que su hijo no sea identificable. Utilizaremos también algunas entrevistas donde pretendemos analizar los datos obtenidos y ver el impacto que la tela interactiva y “Go-with-the-flow” tienen en promover los movimientos motrices, así mismo, mejorar ambos sistemas.

RIESGOS E INCOMIDIDADES

Debido a que el estudio se trata de recopilación y análisis de información, existe la posibilidad de una violación de la confidencialidad, sin embargo, se tomarán medidas para proteger la confidencialidad de su hijo, por lo que tanto la probabilidad y el nivel de riesgo es bajo.

BENEFICIOS

Beneficios de la Investigación

Los beneficios potenciales para los niños que participen en el estudio pueden incluir mejoramiento en el desarrollo de las habilidades motrices, lo que ayudaría al niño a poder realizar con más destreza sus actividades diarias.

Beneficios a Otros y a la Sociedad

Esperamos que lo que aprendamos aquí pueda ser de apoyo para el diseño de nuevos sistemas enfocados al desarrollo de habilidades motrices y habremos encontrado otra técnica para apoyar terapias motrices en los niños con autismo.

COMPENSACION

Compensación por la Participación

No habrá compensación por la participación.

TERMINACION DEL ESTUDIO Y CONSECUENCIAS

Su hijo es libre de dejar el estudio en cualquier momento. **Si él o ella deciden dejar el estudio usted deberá avisar al equipo de investigación inmediatamente.**

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Los datos serán recopilados por medio de grabaciones de audio, video, fotografías, archivos digitales, que demuestren una experiencia musical, así como información de la práctica de movimientos. Los investigadores del estudio tendrán acceso directo a los datos.

Cualquier dato obtenido en el estudio que identifique a un sujeto no será voluntariamente revelado sin la autorización de los sujetos, excepto que sean requeridos para un procedimiento legal y se referirá al sujeto con un alias (por ejemplo: participante 1).

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar los datos serán almacenados en un servidor en la oficina del líder. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre su identidad o la de su hijo no será voluntariamente revelada por estos dos equipos (que tendrán acceso a los datos) sin su consentimiento explícito. Publicaciones y/o presentaciones que resulten de esta investigación no incluirán información que revele su identidad o la de su hijo.

Retención de los datos

El equipo de investigación mantendrá los datos que resulten de la investigación. Otros investigadores pueden tener acceso a los datos para futuras investigaciones.

Permiso para compartir datos con la audiencia en esta área

Pensando en los beneficios a la comunidad autista, el equipo de investigación probablemente en un futuro le gustaría compartir algunas fotos y/o videos captados durante el estudio con la audiencia de investigadores en esta área. Por favor indique a continuación si da su permiso para compartir las fotos y/o videos. ☐ Sí ☐ No _____

Sus iniciales

SI USTED TIENE ALGUNA PREGUNTA

Si tiene comentarios, dudas, preocupaciones con respecto a la forma en la que se llevará a cabo la investigación por favor contacte al equipo de investigación listado al inicio del presente documento.

ACUERDO DE PARTICIPACION VOLUNTARIA

Usted no debería firmar este documento a menos que lo haya leído. **La participación en este estudio es voluntaria.** Usted o su hijo puede negarse a contestar cualquier pregunta o suspender su participación en cualquier momento sin sanciones ni pérdida de beneficios a los que él o ella tendría derecho. Su decisión no afectará su relación futura con CICESE o la calidad de atención en Pasitos. Su firma indica que usted ha leído la información en este documento de consentimiento y ha tenido la oportunidad de hacer cualquier pregunta que tenga sobre el estudio.

Estoy de acuerdo de permitir a mi hijo participar en el estudio.

Firma del Padre/Tutor o Representante Legal Autorizado

Fecha

Nombre del Padre/Tutor o Representante Legal Autorizado

Nombre de su hijo

Firma del investigador

Fecha

Nombre del Investigador

Anexo 2

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Departamento de Ciencias de la Computación

Protocolo de Entrevista: **Psicóloga**

Hola buenos días, mi nombre es [...] soy estudiante de [...] en Ciencias de la Computación del CICESE. El objetivo de nuestra investigación es conocer y entender las reacciones de los niños con autismo ante sonidos creados por sus movimientos. Su apoyo es de gran importancia para nosotros ya que no somos expertos en estos temas. Esta entrevista es de interés científico y la información recopilada será de uso confidencial. No tenemos la intención de evaluarla, ya que solo queremos entender mejor lo que se observa en los siguientes videos. Esta entrevista tendrá una duración aproximada de 30 minutos. La dinámica de la entrevista será la siguiente:

1. Explicación del procedimiento de uso de los dispositivos de sonificación por niños con autismo.
2. Observación y discusión del video de cada participante
3. Discusión general

Entorno general

Nombre del entrevistado:

Ocupación:

Años de experiencia:

Entrevista semi-estructurada

Explicación general:

Se utilizó un teléfono inteligente para detectar los movimientos de los niños, en este caso fue el movimiento del brazo y estiramiento hacia el frente. Cuando los niños realizan estos movimientos el teléfono los transforma en retroalimentación auditiva.

Los sonidos que el niño puede escuchar son:

- Agua y salpicadura de agua.
- Piano
- Campanas de viento

Pregunta de investigación: ¿Los niños con autismo entienden la idea de sonificación de movimientos?

¿Cómo describe la reacción de los niños de acuerdo con las siguientes escalas?

(Por sonido, por niño)

molesto	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	divertido
incomprensible	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	comprensible
aburrido	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	exitante
indiferente	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	interesante
malo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	bueno
desagradable	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	agradable
nada placentero	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	placentero
desmotivador	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	motivador
Confuso	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	claro

(Por niño)

Uso y adopción

1. ¿Cuál es la actitud del niño hacia el dispositivo?
2. ¿Cree que al niño le gusta o disgusta el dispositivo?
3. ¿Cree que al niño le gusta o disgusta los sonidos?
4. ¿Cree que la actitud del niño fue por el dispositivo, sonido o las personas alrededor de él?
5. ¿Cuál sonido cree que el niño disfrutaba más?, ¿Cuál cree que disfrutaba menos?

Potencial impacto terapéutico

6. ¿En cuál área de desarrollo (e.g. cognitiva, social, auto-regulación, motora) cree que el dispositivo pudiera tener impacto? Prueba: ejemplos.

7. ¿Cree que el movimiento del niño fue voluntario o estereotipados? Prueba: ejemplo
8. ¿Cree que el niño entiende que sus movimientos generan el sonido? Prueba: al escuchar el sonido entiende que se debe mover

Niño 1. Usando el dispositivo en el brazo, Sonido de piano y agua.

9. (Diapositiva 3) ¿Por qué cree que el niño no levanta las manos completamente?

Niño 2. Usando el dispositivo en el brazo, Sonido de piano, agua y campanas de viento.

10. (Diapositiva 7) ¿Por qué cree que el niño observa el celular?

Prueba: ¿Cree que los niños fueron curiosos sobre el celular?

Niño 3. Usando el dispositivo en el brazo, Sonido de piano, agua y campanas de viento.

11. ¿Por qué cree que el niño se estuvo moviendo rápido?

Niño 4. Usando el dispositivo en el brazo, Sonido de piano, agua.

12. Cuando preguntamos al niño si le gusta el sonido, su respuesta la mayor parte del tiempo fue "no". ¿Qué opina sobre su respuesta?

Niño 5. Usando el dispositivo en el brazo y espalda. Sonido de piano, agua y campanas de viento.

13. ¿Por qué cree que el niño necesita ayuda física para hacer el movimiento?
14. Algunas veces el niño controlaba el movimiento de las manos. Sin embargo, necesitaban ayuda física, ¿A qué cree que se deba tal reacción?

Niño 6. Usando el dispositivo en el brazo. Sonido de piano y agua.

15. Cuando cambiaban de movimientos del brazo a espalda, y el niño escuchaba el sonido del piano, el trataba de elevar sus manos, ¿A qué cree que se deba tal reacción?

Comentarios finales

General (Fin)

16. ¿Qué opina del dispositivo?
17. ¿En qué situaciones usaría el dispositivo?
18. ¿Cómo cree que podría usar el dispositivo? Prueba: Ejemplos
19. ¿Qué cree que no se puede hacer con el dispositivo que le gustaría poder hacer? Prueba: actividad
20. ¿Qué le gusta o disgusta de los sonidos?
21. ¿Qué le gusta o disgusta del dispositivo? Prueba: ejemplos.
22. ¿Qué le gustaría cambiar en el dispositivo para ser usado a largo plazo? Prueba: agregar nuevas características, eliminar características.

****Potencial impacto terapéutico**

23. ¿Cree que los niños entendieron que sus movimientos generaban el sonido?
24. ¿Qué le gustaría cambiar del dispositivo para proveer más retroalimentación de los movimientos? Prueba: agregar nuevas características, eliminar características.
25. ¿Algún otro comentario?

Niño	Participante	Edad	Actividad	Tiempo (aprox)
1	Leo	6 años	Brazo	2 min
2	Damián	7 años	Brazo	2 min
3	Uriel	11 años	Brazo, espalda	5 min
4	Matías	4 años	Brazo, espalda	5 min
5	Iván	5 años	Brazo	3 min
6	José Andrés	9 años	Brazo, espalda	5 min

Participante	Leo (pc)	Damian (mc)	Uriel (pc)	Matias (mc)	Iván (pc)	José Andrés (mc)
Leo						
Damian						
Uriel						
Matias						
Iván						
José Andrés						

Anexo 3

PROTOCOLO - Estudio formativo

Descripción del estudio:

El objetivo de nuestra investigación es conocer y entender que sonidos son los adecuados para apoyar el movimiento lateral, cruzado o de empuje para los niños con autismo. Con una población de 6 niños de 5 a 9 años, cada niño hará 18 repeticiones de un tipo de movimiento en combinación con 5 diferentes sonidos y una extra sin sonido. Los niños acompañados de una psicóloga durante la actividad.

Características de tres niños:	
Tres niños (tipo A): Verbal Seguir instrucciones Buena movilidad	Tres niños (tipo B): No verbal Seguir instrucciones Problema de movilidad

Condiciones

- Movimientos:
 - Deslizamiento lateral
 - Deslizamiento cruzado
 - Empuje
- Sonidos:
 - Piano
 - Agua
 - Viento
 - Canción
 - Discreto

Procedimiento

Se asignará un tipo de movimiento (lateral, cruzado, empuje) al niño

Grupo 1 (tipo A)

Niño	Movimiento
Niño1	Lateral
Niño2	Cruzado
Niño3	Empuje

Grupo 2 (tipo B)

Niño	Movimiento
Niño4	Lateral
Niño5	Cruzado
Niño6	Empuje

Se pedirá al niño realizar la repetición del movimiento asignado sin sonido, después con los 5 sonidos restantes. El psicólogo dará ayuda modelada o física para realizar la repetición.

Grupo 1 (tipo A)

Niño	Movimiento	Sonido	Repeticiones
Niño1	Lateral	Sin sonido	tres
		Canción	
		Discreto	
		Piano	
		Agua	
		Viento	
Niño2	Cruzado	Sin sonido	tres
		Viento	
		Agua	
		Piano	
		Discreto	
		Canción	
Niño3	Empuje	Sin sonido	tres
		Agua	
		Canción	
		Discreto	
		Viento	
		Piano	

Grupo 2 (tipo B)

Niño	Movimiento	Sonido	Repeticiones
Niño4	Lateral	Sin sonido	tres
		Piano	
		Canción	
		Viento	
		Agua	
		Discreto	
Niño5	Cruzado	Sin sonido	tres
		Discreto	
		Agua	
		Viento	
		Canción	
		Piano	
Niño6	Empuje	Sin sonido	tres
		Viento	
		Discreto	
		Canción	
		Piano	
		Agua	

Después de cada sonido se hará una entrevista corta de lo que percibió la psicóloga sobre el niño al realizar la actividad (movimiento y el sonido).

Protocolo de Entrevista: Psicologa

OBJETIVO DE LA ENTREVISTA:

Obtener información sobre las características, experiencias y problemas al combinar los sonidos con el ejercicio de extremidades del cuerpo; con el fin de identificar los sonidos más adecuados para los niños con autismo asociados al movimiento.

INTRODUCCIÓN

Hola buenos días, mi nombre es [...] soy estudiante de [...] en Ciencias de la Computación del CICESE. El objetivo de nuestra investigación es conocer y entender las reacciones de los niños con autismo ante sonidos creados por sus movimientos. Su apoyo es de gran importancia para nosotros ya que no somos expertos en estos temas. Esta entrevista es de interés científico y la información recopilada será de uso confidencial. No tenemos la intención de evaluarla, ya que solo queremos entender mejor lo que se observó en la actividad que realizaron los niños con anterioridad. Esta entrevista tendrá una duración aproximada de 10 minutos máximos.

ESCENARIO

Fecha:

Lugar:

Hora:

DATOS GENERALES

Nombre del entrevistado:

Edad:

Profesión o grado de estudio:

Años de experiencia:

Tipo de población con la que ha ejercido su profesión:

Pregunta de investigación: ¿Cuáles son los sonidos que apoyan los movimientos laterales, cruzados o de empuje para niños con autismo?

PREGUNTAS

Por sonido

¿Crees que motivo el sonido al niño para realizar el movimiento?

Desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	De acuerdo
	1	2	3	4	5	6	7	

¿Crees que es útil este sonido para promover que el niño realice el movimiento?

Desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	De acuerdo
	1	2	3	4	5	6	7	

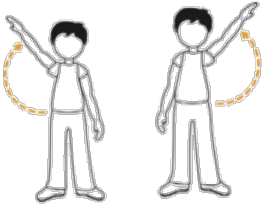
¿Crees que es fácil de entender para el niño el sonido para realizar el movimiento?

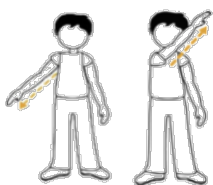
Desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	De acuerdo
	1	2	3	4	5	6	7	

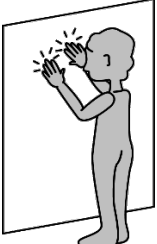
General

¿Detecto alguna diferencia en la actitud del niño con sonido a sin sonido?

Podría enumerar del 1 al 6, siendo 1 el sonido con el que el niño hizo mejor su movimiento y 6 el peor.

Movimiento lateral	
Sonido	Numero
Canción	
Discreto	
Piano	
Agua	
Viento	

Movimiento cruzado	
Sonido	Numero
Canción	
Discreto	
Piano	
Agua	
Viento	

Movimiento empuje	
Sonido	Numero
Canción	
Discreto	
Piano	
Agua	
Viento	

¿Cómo cree que el niño se sintió o reacciono al realizar el movimiento con el mejor sonido? Prueba: observaciones positivas o negativas.

¿Qué cambiaría o agregaría al sonido? Prueba: Duración y volumen.

¿Qué cambiaría del sonido para hacerlo más agradable? Prueba: más agudo, más grave.

¿Qué es lo que más atrae al niño del sonido hacer el movimiento?

Anexo 4

PROTOCOLO

Objetivo

- Comparar la experiencia musical y la práctica de movimientos utilizando la sonificación interactiva en un dispositivo vestible y una tela interactiva.

Procedimiento del experimento

- **Variables independientes**
 - Dispositivos
 - Tela interactiva
 - Dispositivo vestible
 - Sonidos
 - Sin trayectoria
 - Trayectoria discreta
 - Trayectoria continua
- Movimientos
 - Lateral
 - Empuje
- **Variables dependientes**
 - Numero de repeticiones
 - Movimientos dirigidos
 - Experiencia musical
- **Paradigma de diseño**
 - Within subjects (los grupos de niño/a s usarán los dos dispositivos, las tres estructuras de sonidos y los dos movimientos)
- **Población**
 - 20 niño/a s con autismo de “Pasitos” entre 8 y 15 años.
- **Hipótesis**
 - Experiencia musical:
 - H1. La experiencia musical es mejor cuando se hace uso de la tela interactiva en comparación al uso del dispositivo vestible.
 - Practica de movimientos:
 - H2. Con la tela interactiva se realiza más repeticiones y movimientos dirigidos del movimiento de empuje en comparación a las realizadas con el dispositivo vestible.
 - H3. Utilizando el dispositivo vestible los niño/a s realizan más movimientos laterales que con la tela interactiva. (Con el dispositivo vestible se realiza más repeticiones movimientos dirigidos del movimiento lateral en comparación a las realizadas con la tela interactiva.)
 - H4. Los sonidos sin trayectoria promueven más la repetición de movimientos.
 - H5. Los sonidos de trayectoria discreta promueven más los movimientos dirigidos.
 - H6. Los sonidos de trayectoria continua promueven más los movimientos dirigidos.

Procedimientos de control:

Los participantes serán divididos en dos grupos de manera aleatoria, para el grupo uno se le asignará el movimiento de empuje, mientras que para el grupo dos se asignaran el movimiento lateral. Así mismo con el fin de evitar el sesgo hacia un dispositivo el grupo uno iniciara con la tela interactiva y el grupo dos con el dispositivo flexible.

Tabla 1. Organización de inicio de los grupos (Condición de inicio de los grupos).

Grupo 1	Tela interactiva
Grupo 2	Dispositivo vestible

Tabla 2. Organización de los grupos en el intercambio de actividades.

Grupo 1	Dispositivo vestible
Grupo 2	Tela interactiva

Tabla 3. Asignación aleatoria de movimiento y sonido

Niño/a	Grupo (tela o dispositivo)	Movimiento	Sonidos por trayectoria	Reps
1	1	Empuje	Sin	5
			Discreta	
			Continua	
2	2	Lateral	Discreta	5 c/sonido
			Continua	
			Sin	
3	1	Empuje	Discreta	5 c/sonido
			Sin	
			Continua	
4	2	Lateral	Sin	5 c/sonido
			Continua	
			Discreta	
5	1	Empuje	Continua	5 c/sonido
			Sin	
			Discreta	
6	2	Lateral	Continua	5 c/sonido
			Discreta	
			Sin	
7	1	Empuje	Sin	5 c/sonido
			Discreta	
			Continua	
8	2	Lateral	Discreta	5 c/sonido
			Sin	
			Continua	
9	1	Empuje	Discreta	5 c/sonido
			Continua	
			Sin	
10	2	Lateral	Continua	5 c/sonido
			Discreta	
			Sin	
11	1	Empuje	Sin	5 c/sonido
			Discreta	
			Continua	

12	2	Lateral	Discreta	5 c/sonido
			Continua	
			Sin	
13	1	Empuje	Discreta	5 c/sonido
			Sin	
			Continua	
14	2	Lateral	Sin	5 c/sonido
			Continua	
			Discreta	
15	1	Empuje	Continua	5 c/sonido
			Sin	
			Discreta	
16	2	Lateral	Continua	5 c/sonido
			Discreta	
			Sin	
17	1	Empuje	Sin	5 c/sonido
			Discreta	
			Continua	
18	2	Lateral	Discreta	5 c/sonido
			Sin	
			Continua	
19	1	Empuje	Discreta	5 c/sonido
			Continua	
			Sin	
20	2	Lateral	Continua	5 c/sonido
			Discreta	
			Sin	

- **Materiales**

- **Orden de los niño/a s:** (Anexo 1) Lista de orden aleatorio de los niño/a s (<https://www.random.org/lists/>)
- **Cuestionario demográfico:** (Anexo 2)
- **Observación:** (Anexo 5) Esquema de codificación.
- **Entrevista semiestructurada:** (Anexo 4) El cuestionario está dividido en 2 secciones: por sonidos, por dispositivos, por experiencia musical, por practica de movimientos.

- **Pasos que seguir**

1. Cuestionario Demográfico.
2. Asignación aleatoria del movimiento, el dispositivo y las estructuras de sonido con el que el niño/a iniciará la evaluación: Se asigna aleatoriamente el orden en que los participantes (números del 1 al 20).
3. Realizar la actividad: Explicar actividad a las psicólogas (1 min)
 - a. Actividad (tela o dispositivo): durante la actividad aplicar el cuestionario de música

# de niño/a s	Movimiento	Sonido	Repeticiones
5	Empuje	Sin trayectoria	5 veces
		Trayectoria discreta	
		Trayectoria continua	
5	Lateral	Sin trayectoria	5 veces
		Trayectoria discreta	
		Trayectoria continua	

- b. Después de cada sonido para los dos tipos de movimiento aplicar sección de la entrevista “por sonido” (4 min).
 - c. Hay un cambio de herramienta al terminar la actividad (el niño/a solo va usar una herramienta en el día),
 - d. Al terminar la actividad con ambos dispositivos, aplicar la sección de la entrevista “todos los sonidos y movimientos” (6 min-10 min).
4. Intercambio de actividades: regresa al punto 3.
 - a. Organizar los grupos como en la Tabla 2.
5. Al terminar todas las actividades aplicar penúltima sección de la entrevista.
 - a. “todos los sonidos, movimientos y dispositivos” a la psicóloga (6 min-10 min).

Colección de datos

- **Orden de los niño/a s:** (Anexo 1) Lista de orden aleatorio de los niño/a s (<https://www.random.org/lists/>)
- **Cuestionario demográfico:** (Anexo 2)
- **Observación:** (Anexo 4) Esquema de codificación.
- **Entrevista semiestructurada:** (Anexo 5) El cuestionario está dividido en 4 secciones: por sonidos, por dispositivos, por experiencia musical, por practica de movimientos.

Orden aleatorio de los niño/a s con autismo

List Randomizer

There were 20 items in your list. Here they are in random order:

1. Rodrigo
2. Jesus
3. Jose de Jesus
4. Emiliano
5. Iram
6. Baruc
7. Alexis
8. Gabriel
9. Karen
10. Amelie
11. Carlos
12. Evelyn
13. Carlos Daniel
14. Regina
15. Emilio
16. Ever
17. Teresa
18. Victor
19. Uriel
20. Erick

IP: 158.97.91.183

Timestamp: 2017-04-27 06:37:06 UTC

Cuestionario demográfico:

- **Niño/a**

Nombre:

Edad: __

Grado: __ Grupo: __

Nivel de funcionalidad: Alto__ Medio__ Bajo__

- **Psicóloga**

Nombre del entrevistado:

Edad:

Profesión:

Años de experiencia: __

Tipo de población con la que ha ejercido su profesión:

Conoce al niño/a : Si__ No__

El siguiente cuestionario es con el fin de entender como es la experiencia musical del niño/a cuando está participando en la actividad.

Cuestionario experiencia musical:

Nombre niño/a: _____ Nombre psicóloga: _____

Sonido Tambor: __ Piano: __ Viento: __

- **Tela interactiva**

<i>Pregunta</i>	<i>Nunca</i>	<i>A veces</i>	<i>Algunas veces</i>	<i>Muchas veces</i>	<i>Siempre</i>
<i>¿El niño/a responder a los diferentes sonidos?</i>					
<i>¿El niño/a toca la tela espontáneamente?</i>					
<i>¿El niño/a esta distraído?</i>					
<i>¿El niño/a se mueve por si solo?</i>					
<i>¿El niño/a sigue el ritmo?</i>					
<i>¿El niño/a toca en forma estereotipada?</i>					
<i>¿El niño/a toca la tela solo si recibe ayuda?</i>					

- **Dispositivo vestible**

<i>Pregunta</i>	<i>Nunca</i>	<i>A veces</i>	<i>Algunas veces</i>	<i>Muchas veces</i>	<i>Siempre</i>
<i>¿El niño/a responde a los diferentes sonidos?</i>					
<i>¿El niño/a mueve el dispositivo espontáneamente?</i>					
<i>¿El niño/a esta distraído?</i>					
<i>¿El niño/a se mueve por si solo?</i>					
<i>¿El niño/a sigue el ritmo?</i>					
<i>¿El niño/a mueve el dispositivo en forma estereotipada?</i>					
<i>¿El niño/a mueve el dispositivo solo si recibe ayuda?</i>					

Observación:

- **Esquema de codificación para motricidad**

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Departamento de Ciencias de la Computación

Protocolo de Entrevista: Psicóloga/maestra de pasitos

Hola buenos días, mi nombre es [...] soy estudiante de [...] en Ciencias de la Computación en el CICESE. El objetivo de nuestra investigación es conocer y entender cuál es la utilidad de la sonificación interactiva para promover los movimientos laterales y de empuje en los niño/a s con autismo. Su apoyo es de gran importancia para nosotros ya que no somos expertos en estos temas. Esta entrevista es de interés científico y la información recopilada será de uso confidencial. No tenemos la intención de evaluarla, por el contrario solo queremos entender mejor lo que se observa durante la actividad. Esta entrevista tendrá una duración aproximada de 30 minutos. La dinámica de la entrevista será la siguiente.

La psicóloga/maestra responderá basado en sus observaciones y análisis los siguientes cuestionarios y entrevista.

Nombre del entrevistado:

Edad:

Profesión:

Años de experiencia: __

Tipo de población con la que ha ejercido su profesión:

Conoce al niño/a : Si__ No__

• **TIPO DE SONIDO**

○ **Por sonido:**

Nombre niño/a: _____ Nombre psicóloga: _____

Lateral: __ Empuje: __

Tambor: __ Piano: __ Viento: __

1. ¿Crees que el sonido motivó al niño/a para realizar el movimiento?

Desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	De acuerdo
	1	2	3	4	5	

2. ¿Crees que este sonido es útil para promover que el niño/a realice el movimiento?

Desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	De acuerdo
	1	2	3	4	5	

3. ¿Crees que el sonido es fácil de entender por el niño/a para realizar el movimiento?

Desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	De acuerdo
	1	2	3	4	5	

○ **Experiencia musical**

4. ¿Cree que al niño/a le gustó o disgustó el sonido?
5. ¿Cuál es la actitud del niño/a con el sonido? Prueba: molesto, aburrido, confuso, indiferente
6. ¿Cómo cree que el sonido impacto en la atención del niño/a?
7. ¿Cómo cree que el sonido impacto en la motivación del niño/a? Prueba: para hacer el movimiento.
8. ¿Qué le agregaría, cambiaría o quitaría al sonido?

○ **Practica de movimientos (reps y dirigidos).**

9. ¿Cree que el niño/a hacía el movimiento de manera voluntaria o estereotipada? ¿Por qué?
10. ¿Cómo cree que fueron las repeticiones (laterales o de empuje) del niño/a con este sonido? Prueba: dirigidos, no dirigidos, hacer un movimiento de ejemplo.
11. ¿Cree que el sonido promueve en el niño/a realizar más o menos repeticiones (laterales o de empuje)? ¿Por qué?

12. ¿Cree que el sonido promueve en el niño/a realizar más o menos repeticiones (laterales o de empuje) dirigidas? ¿Por qué?
 - **Uso y adopción**
13. ¿Qué es lo que más atrae al niño/a del sonido para hacer el movimiento? Prueba: ritmo, melodía, instrumento.
14. ¿El niño/a manifestó entendimiento del sonido? Prueba: Que tan consciente estaba de que el creaba el sonido.

- **TODOS LOS SONIDOS y MOVIMIENTOS**

- **Por dispositivos (tela o celular)**

- **Experiencia musical**

15. ¿Cómo fue la experiencia musical del niño/a con (la tela o el celular)? Prueba: ¿cree que el (la tela o el celular) ayudó?
16. ¿Cómo cree que la influencia musical en (la tela o el celular) impacto en el desarrollo de la actividad?
17. ¿Cuál sonido cree que captó más la atención del niño/a?
18. ¿Cuál sonido cree que el niño/a disfrutó más durante la actividad? Prueba: experiencia musical.

- **Uso y adopción**

19. ¿Cree que al niño/a le gustó o disgustó (la tela o el celular)? Prueba: ¿Cuál es la actitud del niño/a hacia (la tela o el celular)?
20. ¿En qué área de desarrollo (ej. cognitiva, social, auto-regulación, motora) cree que (la tela o el celular) pudiera tener mayor impacto? Prueba: ejemplos.
21. ¿Cree que la actitud del niño/a fue por (la tela o el celular), el sonido o las personas a su alrededor?

- **Practica de movimientos (reps y dirigidos)**

22. ¿Cuál sonido cree que promueve en el/la niño/a realizar más o menos repeticiones? ¿Por qué?
23. ¿Cuál sonido cree que promueve en el/la niño/a realizar más o menos movimientos dirigidos? Prueba: movimientos correctos ¿Por qué?
24. ¿Cómo cree que fueron las repeticiones realizadas por el/la niño/a con (la tela o el celular)? Prueba: dirigidos, no dirigidos
25. ¿Cree que (la tela o el celular) incita al niño/a a realizar más o menos repeticiones (de empuje o laterales)? ¿Por qué?
26. ¿Cree que (la tela o el celular) incita al niño/a a realizar más o menos movimientos (de empuje o laterales) dirigidos? ¿Por qué?
27. ¿Crees que las repeticiones de los movimientos dirigidos son por el sonido, (la tela o el celular), o la personas alrededor?

- **TODOS LOS SONIDOS, MOVIMIENTOS, DISPOSITIVOS**

General (Al final de la segunda sesión)

28. ¿Cuál herramienta (ej. la tela o el celular) cree que brinda una mejor experiencia musical?

29. ¿Cuál sonido cree que brinda una mejor experiencia musical?

Sonificación

30. ¿Cree que los niños comprendieron que sus movimientos generaban los sonidos?

31. ¿Con cuál herramienta (ej. la tela o el celular) cree que los niños comprendían más la actividad?

32. ¿Cuál fue la actitud de los niños respecto al sonido de tambor?

33. ¿Cuál fue la actitud de los niños respecto al sonido de piano?

34. ¿Cuál fue la actitud de los niños respecto al sonido de viento?

Practica de movimientos

35. ¿Cómo cree que fueron las repeticiones del niño/a en general? Prueba: dirigidos, no dirigidos

36. ¿En cuál herramienta cree que el niño/a realizó más repeticiones laterales?

37. ¿En cuál herramienta cree que el niño/a realizó más movimientos dirigidos laterales?

38. ¿En cuál herramienta cree que el niño/a realizó más repeticiones de empuje?

39. ¿En cuál herramienta cree que el niño/a realizó más movimientos dirigidos empuje?

Dispositivos

40. ¿Qué opina del dispositivo vestible?

41. ¿Qué opina de la tela interactiva?

42. ¿En qué situaciones usaría el dispositivo vestible? Prueba: situación motriz del niño/a

43. ¿En qué situaciones usaría la tela interactiva?

44. ¿Qué le gusta o disgusta del dispositivo vestible?

45. ¿Qué le gusta o disgusta de la tela interactiva?

46. ¿Qué le gustaría cambiar en la tela interactiva para ser usado a largo plazo?

47. ¿Qué le gustaría cambiar en el dispositivo vestible para ser usado a largo plazo?

48. ¿Qué le agregaría, quitaría al dispositivo vestible?

49. ¿Qué le agregaría, quitaría a la tela interactiva?

50. ¿Algún comentario o sugerencia?