

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



**Doctorado en Ciencias
en Ciencias de la Computación**

**Superficies elásticas para apoyar a niños con autismo durante
sesiones de musicoterapia neurológica**

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

Presenta:

Franceli Linney Cibrian Robles

Ensenada, Baja California, México
2018

Tesis defendida por
Franceli Linney Cibrian Robles

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinoza
Director de tesis

Dr. Jesús Favela Vara
Dr. Edgar Leonel Chávez González
Dra. Marina Avelais Alarcón
Dr. José Alfredo Sánchez Huitrón



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 **Franceli Linney Cibrian Robles** como requisito parcial para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Ciencias de la Computación.

Superficies elásticas para apoyar a los niños con autismo durante sesiones de musicoterapia neurológica

Resumen aprobado por:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinoza
Director de tesis

A nivel mundial uno de cada 59 niños tiene autismo, y el 80% de ellos presentan problemas motrices como, reacciones tardías o anticipadas, y uso de fuerza excesiva o insuficiente al realizar movimientos. La Musicoterapia Neurológica (Neuro-MT, por sus siglas en inglés *Neurologic Music Therapy*) usa la música con el fin de mejorar la sincronización de movimientos y la regulación de la fuerza de un paciente. Aplicar la Neuro-MT en niños con autismo no es una tarea fácil debido a que las dificultades motrices y de atención que presentan. Estas limitaciones pueden afectar las interacciones entre los niños con autismo y los instrumentos musicales tradicionales. Las superficies elásticas son cualquier superficie con capacidades táctiles que crea deformaciones temporales. Estas, ofrecen una interacción natural y proveen de una experiencia multisensorial que puede apoyar a los niños con autismo a interactuar fácilmente con la música y mantenerse enfocados en la terapia. Sin embargo, no existen estudios que investiguen si las superficies elásticas podrían ayudar a los niños con autismo a controlar su fuerza y sincronizar sus movimientos durante sesiones de Neuro-MT. En este proyecto de investigación se presenta el diseño, desarrollo y evaluación de MúsicaFlexible, una superficie elástica formada por una tela de licra táctil e interactiva que permite a los niños con autismo crear sonidos cuando tocan, golpean o pellizcan la tela. Los sonidos musicales están ordenados ascendentemente y tiene un fondo en 3D de color azul neón oscuro con una animación de nebulosas y elementos espaciales traslúcidos como cohetes o planetas. MúsicaFlexible cuenta con actividades abiertas y estructuradas con retos relacionados con el ritmo y la fuerza. MúsicaFlexible utiliza una estructura de PVC de 1,5 m³ donde se coloca la tela de licra. Detrás de la tela se usa un Kinect para detectar las interacciones de los usuarios, un proyector de corto alcance para mostrar las animaciones y bocinas para reproducir los sonidos -este hardware está conectado a una computadora que ejecuta la dinámica de juego. Se llevó a cabo una evaluación formativa con 24 niños con autismo que muestran que MúsicaFlexible puede apoyar sesiones de Neuro-MT con potenciales beneficios terapéuticos en la atención y el desarrollo motor. Posteriormente, durante dos meses, se realizó una evaluación sumativa, donde 22 niños con autismo asistieron a ocho sesiones de Neuro-MT, la mitad usando de MúsicaFlexible (grupo experimental), y la otra mitad panderos (grupo control). Se realizaron tres pruebas clínicas antes y después de las ocho sesiones para evaluar el control de fuerza, la sincronización de movimientos y la coordinación. Los resultados indican que MúsicaFlexible es más atractivo y eficiente para mejorar la coordinación, regulación de la fuerza y sincronización de movimientos que el uso de panderos. Estos resultados sugieren que las superficies elásticas podrían utilizarse como una intervención terapéutica y apoyar sesiones de Neuro-MT. Este trabajo ofrece implicaciones tanto clínicas como técnicas para el desarrollo de superficies elásticas, y muestra retos futuros que necesitan ser abordados para usar superficies elásticas como terapia a largo plazo.

Palabras clave: superficies elásticas, autismo, musicoterapia neurológica, control de movimientos.

Abstract of the thesis presented by **Franceli Linney Cibrian Robles** as a partial requirement to obtain the Doctor of Science degree in Computer Science

Elastic displays to assist children with autism during music therapy sessions

Abstract approved by:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinoza
Thesis Director

Worldwide, one in 59 children has autism, and 80% of them have motor problems, such as delayed or anticipated reactions and excessive or insufficient use of strength when they conduct a motor movement. Neurological Music Therapy (Nero-MT) uses live music to improve the timing and strength regulation of children with autism. However, conducting Neuro-MT sessions for children with autism is not an easy task given their motor and attention problems. These limitations could affect the interaction of children with autism with traditional musical instruments. Elastic displays are interactive surfaces with touch capabilities allowing temporary deformations. Elastic displays offer a natural and casual way to interact and provide a multisensory experience that can help children with autism interact easily with music and stay focused during therapy. To the best of our knowledge, there are no studies investigating if elastic displays could help children with autism with their strength and timing regulation during Neuro-MT. In this research project, we present the design, development, and evaluation of BendableSound, a large-scale elastic display enabling children with autism to play sounds when practicing coordination movements when tapping, pushing or pinching a fabric. BendableSound includes musical notes arranged in an ascendant way, and a 3D animated neon-ish background of space nebulas with translucent space-based elements, such as rockets and planets. BendableSound includes open-ended and structured activities with challenges related to rhythm and strength. BendableSound uses a 1.5 m³ PVC structure hanging a spandex fabric. Behind the fabric (inside the frame) we use a Kinect to detect users' interactions, a short-throw projector to display the animations and speakers to play the sounds –this hardware is connected to a PC running the gameplay dynamics. We conducted a formative pilot-study with 24 children with severe autism showing BendableSound can support Neuro-MT and may potentially have therapeutic benefits regarding attention and motor development. Then, for around two months, we conducted a randomized controlled trial where 22 children with autism attended to 8 sessions of Neuro-MT by either using BendableSound (experimental group) or tambourines (control group). We conducted three pre- and post- motor screening test to evaluate strength control, timing synchronization and coordination. Our results indicate that BendableSound is more engaging and is more efficient in improving motor coordination, strength regulation and timing control than the use of tambourines. These results suggest that elastic displays could be used as a Neuro-MT intervention with therapeutic benefits for children with autism. This work offers both clinical and technical implications for developing elastic displays, and reveals future challenges that need to be addressed to use elastic displays as a therapy in long-term.

Keywords: Elastic displays, autism, neurologic music therapy, motor control.

Dedicatoria

A mi esposo, mis padres y mis hermanos

Agradecimientos

A mi esposo, Armando Beltrán por su apoyo, consejos y amor incondicional durante todo este tiempo. Gracias por nunca dejarme sola a pesar de la distancia, y apoyarme en cada una de mis decisiones.

Agradezco especialmente a mi directora de tesis, Dra. Mónica por su guía, enseñanzas y apoyo durante este trabajo de tesis. Usted ha sido un pilar fundamental en mi formación académica.

A los miembros del comité de tesis, Dr. Jesús Favela, Dr. Edgar Chávez, Dra. Marina Avilés, Dr. Alfredo Sánchez, por su tiempo, observaciones y sugerencias a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A Nadir Weibel, Nadia Berthouze por su apoyo durante las estancias de investigación que realice bajo su supervisión. Ambas han sido de gran apoyo en mi formación.

A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza que siempre han tenido en mí.

Agradezco a mis maestros y compañeros del posgrado de Ciencias de la Computación especialmente con quienes conviví durante estos años y de quienes recibí siempre buenas atenciones y consejos.

Gracias a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo, en especial a: Ariel Molina quien nos animó en trabajar con superficies elásticas; a Deysi Ortega por co-diseñar y desarrollar la primera versión de BendableSound; a Oscar Peña, quien apoyó en la implementación de la versión final de BendableSound; tanto Deysi, Oscar y Adriana Carrillo ayudaron en parte de la evaluación Formativa en este proyecto. A todos los estudiantes de DSI que durante sus proyectos de clases apoyaron con el diseño de algunas de las actividades de BendableSound. A Melisa Madrigal y Marina Avaláis por apoyarme durante la evaluación sumativa. A las terapeutas de Pasitos y a todo el personal que ahí labora, en especial a Mar Morales, los cuales siempre estuvieron dispuestos a participar en nuestros proyectos y ayudarnos durante los estudios.

A Vianney Vazquez, Judith Ley, Aneesha Singh y Joe Newbold por ver el potencial de BendableSound en diferentes contextos y permitirme involucrarme en sus proyectos de tesis, y a Ivonne Monarca y Arturo Morales por su confianza y el apoyo mutuo que tuvimos durante nuestros proyectos de tesis.

A Jessa y John Pierson, y Becky y Stephane Malhomme por su apoyo y hospitalidad mientras fueron mis familias *host*.

A Angélica Lomelí y Karina Ortiz por su ayuda y disposición durante cualquier trámite administrativo y organización de actividades.

Finalmente, a CICESE por permitirme estudiar este posgrado, y al personal administrativo por la excelente atención que siempre me brindaron y al CONACyT por su apoyo económico para realizar mis estudios.

Tabla de contenido

Página

Resumen en español	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	xi
Lista de tablas.....	xv

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes	1
1.2 Problemas sensomotrices en niños con autismo severo	2
1.2.1 Problemas sensoriales en niños con autismo	2
1.2.2 Problemas motrices en niños con autismo	3
1.3 Terapias para el desarrollo sensomotriz de niños con autismo.....	4
1.3.1 Terapia física para niños con autismo.....	5
1.3.2 Terapia de integración sensorial para niños con autismo	5
1.3.3 Musicoterapia para niños con autismo.....	6
1.3.3.1 Musicoterapia neurológica (Neuro-MT)	7
1.4 Planteamiento del problema.....	9
1.5 Preguntas de investigación.....	10
1.6 Objetivos	11
1.7 Metodología	11
1.7.1 Comprensión inicial y estudio contextual	12
1.7.2 Diseño participativo	13
1.7.3 Fase de experimentación 1: evaluación formativa	13
1.7.4 Implementación	14
1.7.5 Fase de experimentación 2: evaluación sumativa	14
1.8 Estructura de la tesis	15

Capítulo 2. Trabajo previo

2.1 Interfaces musicales para niños y personas con discapacidad	16
2.1.1 Interfaces musicales para estudiantes y niños	16
2.1.2 Interfaces musicales para apoyar personas con discapacidad	18
2.1.3 Interfaces musicales para individuos con autismo	19

2.2	Superficies interactivas y juegos serios para apoyar terapias sensomotrices de niños con autismo	20
2.2.1	Superficies interactivas para apoyar las terapias sensoriales de niños con autismo.	20
2.2.2	Superficies interactivas para apoyar las terapias motrices de niños con autismo.	21
2.3	Superficies deformables	23
2.3.1	Superficies elásticas	24
2.4	Resumen y conclusiones	25

Capítulo 3. Diseño iterativo de una superficie elástica

3.1	Recolección de datos.....	27
3.2	Análisis de datos.....	29
3.3	Resultados de las iteraciones	29
3.3.1	Iteración 1: Diseño de estímulos visuales	29
3.3.2	Iteración 2. Diseño de la “rutina de ejercicios”	31
3.3.3	Iteración 3. Diseño de estímulos auditivos	34
3.4	Dinámica de los “juegos terapéuticos” MúsicaFlexible.....	35
3.4.1	Escenario de uso	37
3.5	Consideraciones de diseño.....	38
3.5.1	Proveer una experiencia sensorial congruente	38
3.5.2	Balancear independencia del niño con autismo con guías del terapeuta	39
3.5.3	Promover una interacción natural con interacciones sencillas	40
3.6	Resumen y conclusiones	41

Capítulo 4. Implementación de MúsicaFlexible

4.1	Configuración física	42
4.2	Implementación de MúsicaFlexible.....	42
4.2.1	Arquitectura de MúsicaFlexible	43
4.2.2	Cálculo de características de los gestos de interacción	43
4.3	Resumen y conclusiones	47

Capítulo 5. Fase de experimentación 1: evaluación formativa

5.1	Percepción de MúsicaFlexible por parte de los terapeutas	48
5.1.1	Métodos.....	48
5.1.1.1	Participantes.....	48
5.1.1.2	Consideraciones éticas	49
5.1.1.3	Procedimiento	49

5.1.1.4	Recolección de datos.....	50
5.1.1.5	Análisis de datos.....	50
5.1.2	Resultados.....	51
5.1.2.1	Aceptación de MúsicaFlexible.....	51
5.1.2.2	Percepción de la experiencia de uso de MúsicaFlexible.....	52
5.1.3	Discusión.....	53
5.2	Uso de MúsicaFlexible por niños con autismo.....	54
5.2.1	Métodos.....	54
5.2.1.1	Participantes.....	54
5.2.1.2	Instalación de MúsicaFlexible.....	54
5.2.1.3	Consideraciones éticas.....	55
5.2.1.4	Procedimiento.....	56
5.2.1.5	Colección de datos.....	56
5.2.1.6	Análisis de datos.....	57
5.2.2	Resultados.....	58
5.2.2.1	Experiencia de uso.....	58
5.2.2.1.1	Uso y adopción.....	58
5.2.2.1.2	Experiencia de interacción.....	60
5.2.2.2	Potencial uso terapéutico.....	61
5.2.2.2.1	Atención y motivación.....	61
5.2.2.2.2	Desarrollo motriz.....	62
5.2.3	Discusión.....	63
5.3	Resumen y conclusiones.....	64

Capítulo 6. Fase de experimentación 2: evaluación sumativa

6.1	Métodos.....	66
6.1.1	Participantes.....	66
6.1.2	Instalación de MúsicaFlexible.....	67
6.1.3	Consideraciones éticas.....	67
6.1.4	Recolección de datos.....	68
6.1.4.1	Pruebas clínicas de motricidad.....	68
6.1.4.1.1	Prueba para la sincronización de movimientos.....	69
6.1.4.1.2	Prueba para el control de fuerza.....	69
6.1.4.1.3	Cuestionario del trastorno de desarrollo de la coordinación (DCDQ) ...	70
6.1.4.2	Mediciones durante las sesiones de terapia.....	70
6.1.4.2.1	Cuestionario para la motivación con la música (PiT).....	71

6.1.4.2.2	Registro de las interacciones con MúsicaFlexible.....	71
6.1.5	Procedimiento.....	71
6.1.6	Análisis de datos.....	72
6.1.6.1	Pruebas clínicas de motricidad.....	72
6.1.6.2	Mediciones durante las sesiones de terapia.....	73
6.2	Resultados.....	74
6.2.1	Uso de MúsicaFlexible por el grupo experimental.....	74
6.2.1.1	Uso y adopción.....	74
6.2.1.2	Control de fuerza.....	77
6.2.1.3	Sincronización de movimientos.....	79
6.2.1.4	Actividad “Descubrir”.....	79
6.2.1.5	Ejemplos de casos de estudio.....	80
6.2.2	Discusión sobre el uso de MúsicaFlexible por el grupo experimental.....	84
6.2.3	Comparación de la eficacia del uso de MúsicaFlexible contra el uso de panderos.....	88
6.2.3.1	Motivación con la música.....	88
6.2.3.2	Control de fuerza.....	89
6.2.3.3	Sincronización de movimientos.....	91
6.2.3.4	Coordinación motriz.....	92
6.2.4	Discusión sobre la comparación de la eficacia del uso de MúsicaFlexible contra el uso de panderos.....	94
6.2.5	Relaciones entre las características de los movimientos.....	96
6.2.5.1	Relaciones entre las pruebas de valoración.....	97
6.2.5.2	Relaciones de los movimientos cuando se usan las actividades de MúsicaFlexible.....	98
6.2.6	Discusión sobre las relaciones entre las características de los movimientos.....	98
6.3	Resumen y conclusiones.....	99

Capítulo 7. Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro

7.1	Conclusiones.....	101
7.2	Aportaciones.....	104
7.3	Limitaciones y suposiciones.....	105
7.4	Trabajo futuro.....	107
7.4.1	Sensado de Interacciones invariantes a la deformación.....	108
7.4.2	Sonificación de movimientos en superficies elásticas.....	109
7.4.3	Mecanismo de colaboración para superficies elásticas.....	110
7.4.4	Análisis de gestos para la detección de marcadores de comportamiento.....	111
7.5	Resumen.....	112

Literatura citada	114
--------------------------------	------------

Anexos

Anexo 1: Descripción de los componentes de software de Música Flexible	130
Anexo 2: Ejemplo de formato de consentimiento.	136
Anexo 3: Escala de usabilidad del sistema	139
Anexo 4: Cuestionario de experiencia de uso	140
Anexo 5: Protocolo de entrevista a psicóloga durante la evaluación formativa	141
Anexo 6: Cuestionario del trastorno de desarrollo de la coordinación (DCDQ)	142
Anexo 7: Encuesta para medir la motivación con la música	144

Lista de figuras

Figura	Página
1. Esquema de la metodología de investigación.....	12
2. Usuario practicando con P.I.A.N.O. (derecha); Niña utilizando una brocha para crear música con Vuzic (izquierda).....	17
3. Componentes del sistema “Movement-to-Music” (izquierda). Usuario utilizando el sistema (derecha).....	19
4. Un musicoterapeuta y un adulto con autismo usando CymaSense (izquierda). Visualización de CymaSense (derecha).....	20
5. Niño con autismo utilizando MEDIANE	21
6. Representación de dos esqueletos de jugadores que cachan objetos para obtener puntos (izquierda), dos niños con autismo jugando la modalidad de juego y representados por los esqueletos (derecha).....	22
7. Objetos deformables usados durante el taller de músico para proponer que material era mejor para tocar música.....	24
8. Un usuario empujando y jalando la superficie flexible de DepthTouch	25
9. Prototipo preliminar de MúsicaFlexible. Un participante jugando con la actividad de descubrir de MúsicaFlexible. El participante está tocando la tela para borrar la capa oscura de humo que cubre la nebulosa espacial (izquierda). Un participante juega con la actividad de deslizar moviendo una nave espacial para escuchar sonidos de piano (derecha).....	31
10. Capturas de pantalla de las actividades disponibles en MúsicaFlexible. Un cohete muestra donde empujar para recolectar una nota con y sin ritmo de fondo (empujar de manera libre y ritmo; izquierda). Un cohete mostrando donde empujar fuerte para recolectar un conjunto de notas y llegar a un planeta que se encuentra lejos (centro). Un cohete mostrando donde empujar suave para recolectar un conjunto de notas y llegar al planeta que se encuentra cerca (regulación de fuerza; derecha).....	33
11. El arreglo de elementos musicales en MúsicaFlexible: La tonalidad es representada por las notas musicales organizadas de manera ascendente; la dinámica del sonido es representada con el volumen y varía de acuerdo a la cantidad de fuerza; el timbre es representado con los sonidos de instrumentos musicales; para el ritmo se utiliza un pulso musical como sonido de fondo.	35

12.	Niño con autismo realizando la actividad de descubrir (arriba), dinámica recomendada para realizar las actividades de MúsicaFlexible, el flujo de las flechas indica el orden de las actividades (centro). Niño con autismo empujando la tela para realizar la rutina de ejercicio (abajo).	36
13.	Una representación del cuarto de MúsicaFlexible mostrando la instalación del hardware y software.	43
14.	Diagrama de emplazamiento de MúsicaFlexible mostrando los componentes de software y el hardware del Sistema.....	44
15.	Puntaje de la encuesta Escala de Usabilidad (SUS) sobre del diseño de MúsicaFlexible (puntuajes mayores de 68 son considerados “aceptables”)	52
16.	Puntuajes de encuesta UEQ sobre diseño de MúsicaFlexible (MF) en comparación con los datos de referencia.	53
17.	La instalación de la evaluación formativa. Una representación del cuarto de MúsicaFlexible mostrando la instalación del hardware y software (izquierda). Una representación de la instalación de una sesión tradicional de Neuro-MT mostrando la instalación del piano de juguete (derecha).	55
18.	Participantes en ambas condiciones. El participante 3 riéndose y disfrutando el uso tanto de MúsicaFlexible (izquierda-arriba), como del piano de juguete (izquierda-abajo). Participante 15 peleando con la psicóloga cuando usaba MúsicaFlexible (centro-arriba) y estando calmado y enfocado cuando usaba el piano (centro-abajo). Participante 6 motivado y disfrutando el uso de MúsicaFlexible (derecha- arriba) pero llorando y rechazando el uso del piano de juguete (derecha-abajo).....	59
19.	Participantes con autismo usando diferentes partes del cuerpo para interactuar con MúsicaFlexible. De izquierda a derecha, una niña usando su mano para empujar la tela; un niño empujando con ambas manos; un niño empujando con su cabeza; un niño sentado empujando la tela con casi todo su cuerpo; un niño acostado en el piso para mirar y tocar la tela.....	60
20.	Promedio de tiempo en segundos que los participantes estuvieron enfocados en la terapia de manera continua usando el piano en comparación con MúsicaFlexible (MF)	62
21.	Instalación del equipo para la evaluación sumativa. Representación del cuarto utilizado por el grupo experimental mostrando la instalación de MúsicaFlexible (izquierda). Representación del cuarto utilizado por el grupo de control mostrando una sesión tradicional de Neuro-MT.....	67
22.	Una participante usando MúsicaFlexible durante la prueba de sincronización de movimientos (izquierda), y la de control de fuerza (centro y derecha).....	69

23. Porcentaje de las canciones seleccionadas por los terapeutas (izquierda) y las categorías de los instrumentos musicales (derecha).....75
24. Tiempo promedio de uso por sesión de MúsicaFlexible.....75
25. Porcentaje de uso de las actividades disponibles en MúsicaFlexible (izquierda). Porcentaje del tiempo de uso de cada actividad en MúsicaFlexible (derecha).76
26. Fuerza promedio utilizada durante la tarea de control de fuerza por participante por sesión. Notar que algunos participantes no realizaron las ocho sesiones debido a que estuvieron reforzando la actividad de empujar de manera libre.78
27. Participante realizando una rutina de ejercicios en MúsicaFlexible, empujando con la mano izquierda en la parte central de la tela (izquierda-arriba); empujando con la mano izquierda en la parte de abajo de la tela (derecha-arriba); desplazándose para empujar con la mano derecha (izquierda centro); empujando con la mano derecha en la parte superior de la tela (derecha-centro); desplazándose para empujar de nuevo con la mano derecha (izquierda-abajo); empujando con la mano derecha en la parte superior de la tela (derecha –abajo).....86
28. Puntaje promedio de la encuesta sobre la motivación con la música por sesión89
29. Comparación de la distribución de los puntajes de la estimación de fuerza indirecta usada por los participantes en la pre- y post- evaluación cuando empujaron fuerte (izquierda-arriba), suave (derecha-arriba) y ambas (abajo) en la evaluación de control de fuerza. Los participantes que usaron panderos (P) en naranja y los participantes que usaron MúsicaFlexible (MF) en azul. El rombo rojo representa el promedio. Las gráficas de cajas muestran los valores de la mediana (línea horizontal), los valores inter-cuartiles (contorno de la caja), valores mínimos y máximos de los cuartiles superior e inferior (bigotes), y valores atípicos (círculos).....90
30. Comparación entre la distribución de la respuesta entre intervalos (izquierda), y el tiempo de reacción (derecha), en la pre y post- evaluación. Participantes que usaron panderos (P) en naranja y participantes que usaron MúsicaFlexible (BnSn) en azul. Las gráficas de cajas muestran los valores de la mediana (línea horizontal), los valores inter-cuartiles (contorno de la caja), valores mínimos y máximos de los cuartiles superior e inferior (bigotes), y valores atípicos (círculos). La línea punteada representa el valor esperado.....92
31. Comparación entre la distribución de los puntajes del cuestionario DCDQ (izquierda), y los tres factores que componen el cuestionario (derecha), tanto en la pre- como post- evaluación. Participantes que usaron panderos (P) en naranja, y participantes que usaron MúsicaFlexible (MF) en azul. Las gráficas de cajas muestran los valores de la mediana (línea horizontal), los valores inter-cuartiles (contorno de la caja), valores mínimos y máximos de los cuartiles superior

e inferior (bigotes), y valores atípicos (círculos). La línea punteada representa el valor esperado.	93
32. Puntajes del “control de movimientos” en comparación con la respuesta entre intervalos (izquierda) y el control de fuerza (derecha).....	97
33. Comparación de la fuerza aplicada con la respuesta entre intervalos durante la tarea de control de fuerza (izquierda), y con la distancia durante la tarea de descubrir (derecha).	98
34. Interfaz gráfica de usuario del kit de herramientas TSPS (izquierda). Información obtenida de TSPS: a) identificador del usuario, b) duración, c) centroide, d) velocidad, e) profundidad (derecha).....	131
35. Interfaz gráfica para la configuración de MúsicaFlexible.....	132
36. Diagrama de actividad de la rutina de ejercicio seguida en MúsicaFlexible.....	134
37. Visualización de la organización de los elementos visuales y auditivos en MúsicaFlexible. Las estrellas y planeas están colocadas para tocar las primeras cuatro notas musicales de la canción estrellita (Do-do-sol-sol).....	135

Lista de tablas

Tabla	Página
1. Trabajo previo relevante de superficies interactivas musicales	26
2. Detalles de la colección de datos y actividades realizadas para el diseño de MúsicaFlexible.....	28
3. Conjunto de movimientos propuestos durante las sesiones de diseño participativas que se incluyeron en MúsicaFlexible.....	32
4. Ejemplo de la representación real y gráfica de un movimiento de empuje	45
5. Características de fuerza y sincronización de movimientos calculadas por cada movimiento realizado en MúsicaFlexible.	46
6. Respuestas de las terapeutas escolares al cuestionario UEQ para medir la experiencia de uso del diseño de MúsicaFlexible (n=18).....	53
7. Breve definición del esquema de codificación usado para codificar los comportamientos.....	58
8. Comparativa de los promedios de las emociones positivas y negativas exhibidas por los participantes que usaron MúsicaFlexible (MF) y el piano. Notar que el total de emociones puede exceder el 100% por que los participantes pudieron exhibir tanto emociones positivas como negativas en cada condición	60
9. Comparación de la atención sostenida de los participantes en ambas condiciones.....	62
10. Comparación de la frecuencia de las partes del cuerpo que los participantes usaron en MúsicaFlexible (MF) y el piano. Se compararon movimientos de mano y se agruparon los movimientos de pies, espalda y cabeza como usar diferentes partes del cuerpo.....	63
11. Porcentaje de participantes que mostró un incremento, decremento o no se encontró ninguna tendencia de acuerdo al análisis de regresión por actividad y métrica.....	79
12. Resumen de las evaluaciones pre- y post- condición de los participantes.....	84

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

En México, un niño de cada 115 tiene autismo (Fombonne et al., 2016), y a nivel mundial se estima que la prevalencia es de uno de cada 59 niños (Baio et al., 2018). El autismo se caracteriza por deficiencias persistentes en la comunicación y la interacción social, así como comportamientos repetitivos y restrictivos (American Psychiatric Association, 2013).

El nivel de funcionalidad de los niños con autismo se determina de acuerdo al nivel de severidad de las características del autismo. El nivel de severidad puede ir desde lo severo¹ o baja funcionalidad hasta lo más leve o alta funcionalidad (Ochs, Kremer-Sadlik, Sirota, & Solomon, 2004). Por ejemplo, un niño con autismo severo no habla, no reconoce emociones, tiene nula interacción con otras personas y frecuentemente presenta problemas sensomotrices graves. En otro caso, un niño con autismo leve, puede hablar, en algunos casos reconocer emociones, y desplazarse por sí mismo.

Adicionalmente, diversos estudios han encontrado que la mayoría de los niños con autismo tienen distintas discapacidades sensomotrices asociadas. En particular, se estima que el 80% de los niños que tienen autismo presentan deficiencias sensomotrices (Donnellan, Hill, & Leary, 2013; MacNeil & Mostofsky, 2012; Staples & Reid, 2010; Tomchek & Dunn, 2007; Whyatt & Craig, 2012). La severidad entre los problemas sensomotrices está directamente correlacionada por la severidad del autismo (Bhat, Landa, Galloway, & Cole, 2011; Tomchek & Dunn, 2007), por lo que en esta tesis nos enfocaremos en apoyar a niños con autismo severo en la mejora de sus problemas sensomotrices.

Los problemas sensomotrices incluidos para el diagnóstico de autismo son los movimientos estereotipados y respetivos, tales como manierismos, balanceos y aleteos (American Psychiatric Association, 2013). Sin embargo, los problemas sensomotrices observados en niños con autismo severo no se limitan a los movimientos estereotipados (Bhat et al., 2011; Staples & Reid, 2010; Tomchek & Dunn, 2007; Whyatt & Craig, 2012). De manera particular, se ha observado que las personas con autismo tienen problemas notables en el control de sus movimientos, principalmente para controlar su fuerza (J. K. Kern et al., 2011; Mosconi et al., 2015) y sincronizar sus movimientos ante estímulos sensoriales (LaGasse & Hardy, 2013; Staples & Reid, 2010), es decir, se les dificulta realizar habilidades

¹ Siguiendo los lineamientos del DSM-V (American Psychiatric Association, 2013), en esta tesis se usará el término de severidad para referirnos al nivel de funcionalidad del niño con autismo.

como lanzar, cachar, golpear, o batear objetos, en las cuales es necesario realizar movimientos sincronizados y precisos. Por ejemplo, al cachar o batear una pelota, los niños tienen que colocar sus manos en el momento preciso que la pelota pasa cerca de ellos, sin embargo, los niños con autismo severo colocan sus manos de manera anticipada o retrasada por lo que no pueden cachar la pelota. Mientras que para lanzar o empujar una pelota, es necesario que los niños utilicen una cantidad de fuerza adecuada para hacer que la pelota llegue a su objetivo, pero los niños con autismo severo por lo general no regulan la fuerza, y usan demasiada o poca fuerza para lanzar la pelota sin importar el objetivo al que quieren que la pelota llegue.

Diversas investigaciones afirman que este tipo de problemas puede obstaculizar las habilidades de socialización de los niños con autismo, por ejemplo jugar con sus pares puede resultar frustrante y abrumador por lo que los desmotiva a socializar (Torres & Donnellan, 2015).

1.2 Problemas sensomotrices en niños con autismo severo

El desarrollo sensomotriz se refiere a percibir a través de nuestros sentidos y actuar por medio de movimientos (F. R Volkmar, 1998; Fred R. Volkmar, Lord, Bailey, Schultz, & Klin, 2004). Esto incluye reflejos motrices inducidos por una estimulación sensorial, aspectos de coordinación visio-motriz y la creación de nociones de espacio, tiempo, y ritmo (Piaget, 1991). Los niños con autismo severo presentan distintos problemas sensoriales, motrices y sensomotrices.

1.2.1 Problemas sensoriales en niños con autismo

En términos sensoriales, los niños con autismo severo, presentan desórdenes sensoriales, es decir, tienen dificultades para regular y organizar la intensidad de sus comportamientos en respuesta a entradas sensoriales específicas (Bhat et al., 2011).

Los niños con autismo severo exhiben tres principales comportamientos cuando presentan desórdenes sensoriales: (1) respuesta insuficiente o lenta ante estímulos de entrada (*e.g.*, no responden a su nombre, no reaccionan al dolor, no pueden seguir el ritmo de una canción); (2) exhiben respuestas exageradas o prolongadas ante estímulos sensoriales (*e.g.*, se cubren los oídos ante sonidos, o tienen problemas cuando existe un ruido de fondo en su ambiente); (3) ellos están en búsqueda constante de

sensaciones por periodos de tiempo prolongados (*e.g.*, realizan movimientos estereotipados como balanceos y aleteos) (Baranek, 1999; Baranek, David, Poe, Stone, & Watson, 2006; Markram, Rinaldi, & Markram, 2007). Estas respuestas pueden ocasionar que los niños con autismo severo presenten problemas de atención, o atención excesiva a ciertos estímulos, sensibilidad atípica principalmente en términos táctiles y olfativos y movimientos atípicos, y respuestas motrices débiles (Lane, Young, Baker, & Angley, 2010). Estos últimos afectan el desarrollo de habilidades motrices en niños con autismo severo (Bhat et al., 2011).

1.2.2 Problemas motrices en niños con autismo

Las habilidades motrices se pueden definir como una función que implica el movimiento preciso de los músculos con el objetivo de realizar un acto específico, por ejemplo, tirar una pelota (Whyatt & Craig, 2012). Las primeras habilidades motrices que desarrollan los niños son conocidas como habilidades motrices fundamentales, es decir, habilidades motrices que sirven como base para realizar actividades motrices avanzadas, como actividades deportivas, o juegos. Las habilidades motrices fundamentales incluyen destrezas para controlar o manipular objetos (lanzar, atrapar, empujar, golpear), habilidades locomotoras (caminar, correr, saltar), y habilidades de equilibrio (saltar, balancear, girar) (Donnelly, Mueller, & Gallahue, 2016).

Diversos estudios sugieren que los niños con autismo severo tienen un menor desempeño en el desarrollo de habilidades fundamentales en comparación con niños neurotípicos (Staples & Reid, 2010), ya que carecen de las capacidades de moverse de la manera en que se lo han propuesto, y presentan dificultades para iniciar, cambiar, controlar, o terminar algún movimiento (Hill & Leary, 1993).

De manera particular, se ha observado que muchos niños con autismo severo tienen problemas notables en su destreza manual y habilidades manipulativas (Barkeley, S. L., Zittel, L. V., & Nichols, 2001; Lloyd, MacDonald, & Lord, 2013). Por ejemplo, hacen movimientos lentos cuando quieren alcanzar o empujar un objeto o tardan más tiempo en tomar los objetos (Mari, Castiello, Marks, Marraffa, & Prior, 2003). Muchos de estos problemas de habilidades manipulativas pueden ser debido a que los niños con autismo severo tienen problemas en controlar su fuerza, y sincronizar sus movimientos (Staples & Reid, 2010).

El control de fuerza se refiere a la capacidad de realizar tareas en las que se necesitan diferentes niveles de fuerzas para lograr el resultado deseado (Edwards, 2010; Keele, Ivry, & Pokorny, 1987; R A Schmidt & Wrisberg, 2008). Por ejemplo, cambiar el volumen al tocar un instrumento musical como el piano o realizar tareas deportivas como patinaje y ejercicios de gimnasia. Particularmente, se ha observado que los niños con autismo severo tienen problemas para controlar su fuerza, ya que, por lo general, aplican menor fuerza (J. K. Kern et al., 2011), tienen mayor variabilidad en el uso de la fuerza de manera sostenida y menor precisión del uso de su fuerza (Mosconi et al., 2015) en comparación con niños neurotípicos. Por ejemplo, cuando un niño con autismo severo quiere lanzar una pelota para pasársela a un compañero, el niño no sabe regular cuanta fuerza es necesario aplicar para que la pelota llegue a su destino.

Por otra parte, la sincronización del movimiento, se refiere a la capacidad de realizar tareas en las que es necesario realizar movimientos con precisión y de manera sincronizada con estímulos sensoriales. Por ejemplo, tocar la batería, o jugar fútbol (Edwards, 2010; Keele et al., 1987; Repp, 2005; R A Schmidt & Wrisberg, 2008). Se ha observado que los niños con autismo severo pueden tener un control limitado de sus movimientos. Esto no les permite sincronizarlos adecuadamente ante estímulos sensoriales (LaGasse & Hardy, 2013; Staples & Reid, 2010). Por ejemplo, cuando un niño con autismo severo mueve su cuerpo para responder a un estímulo (*e.g.*, auditivo para seguir el ritmo, o visual para cazar una pelota), el niño por lo general reacciona de manera retrasada o con mucha anticipación.

En vista de que la sincronización de movimientos y el control de fuerza son esenciales para las actividades de la vida diaria (*e.g.*, escribir, jugar, alimentarse). Una intervención temprana en el desarrollo sensomotriz es de gran importancia para mitigar los problemas de sincronización de movimientos y control de fuerza en niños con autismo severo.

1.3 Terapias para el desarrollo sensomotriz de niños con autismo

Para mejorar las habilidades sensomotrices de niños con autismo severo se pueden utilizar terapias físicas (Dawson & Watling, 2000), de integración sensorial (Lang et al., 2012), u otras que integren conceptos de ambas (Kern, Humpal, & Humpal, 2012).

1.3.1 Terapia física para niños con autismo

La terapia física está enfocada en enseñarles a los niños con autismo severo como mejorar sus habilidades motrices. El proceso general de la terapia física es similar al proceso de enseñarle cualquier otra habilidad (Bishop, 2015), es decir, se usa el entrenamiento basado en ensayos (*Discrete Trial Training*). El entrenamiento basado en ensayos consiste en tres etapas principales: (1) indicarle al niño que realice una acción, para ello, el terapeuta debe brindar una instrucción verbal, visual o modelada; (2) el niño con autismo severo debe realizar la acción; (3) de manera inicial, cualquier respuesta a la acción es reforzada mediante recompensas positivas. A medida que el niño vaya adquiriendo la habilidad, los reforzadores deben ir disminuyendo.

En particular, durante la terapia física los niños con autismo severo deben practicar movimientos que les permitan desarrollar habilidades motrices. Se debe comenzar por practicar movimientos simples, e ir aumentando la complejidad conforme el niño vaya mejorando sus movimientos (Dawson & Watling, 2000). Cada movimiento que se practique debe ser repetido hasta que el niño desarrolle la fuerza, flexibilidad y coordinación apropiada que le permitan controlar su movimiento (Hillier, 2007). Por ejemplo, si se le enseña a un niño con autismo la habilidad de “atrapar” una pelota, el terapeuta debe comenzar entregándole la pelota directamente a las manos. El terapeuta debe colocarse frente al niño hasta que logre sujetar la pelota correctamente. Una vez que ya haya aprendido a sujetar la pelota, entonces el terapeuta debe alejarse poco a poco para incrementar la distancia donde le lanzará la pelota al niño. Otro factor a tomar en cuenta durante la terapia es el material a utilizar. En este ejemplo, el terapeuta debe comenzar usando una pelota grande e ir reduciendo el tamaño para aumentar la complejidad del ejercicio. Durante este tiempo, el terapeuta tiene que mantener la motivación alta del niño para mejorar su disposición en realizar la terapia.

1.3.2 Terapia de integración sensorial para niños con autismo

Las terapias de integración sensorial siguen una interacción no estructurada, esto es, dirigidas por los propios intereses del niño. En la terapia sensorial se debe tomar en cuenta de qué manera los niños procesan la información y responden ante diferentes estímulos sensoriales (Greenspan & Wieder, 2006). Las terapias de integración sensorial se realizan en ambientes multisensoriales, saturados de estímulos visuales, auditivos y táctiles, como efectos de luz, sonidos, y texturas (Schaaf et al., 2014; Schaaf & Miller, 2005).

En las terapias de integración sensorial, primeramente, se evalúa como los niños con autismo severo responden ante diferentes estímulos sensoriales. Para ello, un terapeuta debe diseñar una dinámica que anime al niño a participar en juegos que exijan al niño experimentar diferentes estímulos para observar sus reacciones. El objetivo es entender cuáles son los estímulos que desagradan al niño e irlos modificando de tal manera que el niño vaya descubriendo aquellos estímulos que le agradan (Kurtz, 2008), a esto se le conoce como dieta sensorial. La dieta sensorial incorpora modificaciones del ambiente como cambios de luces, sonidos, sensaciones táctiles, o la combinación de estos (Kurtz, 2008). En las dietas sensoriales se recomienda que si dos o más estímulos se le presenta a los niños con autismo severo al mismo tiempo, estos estímulos deben tener una congruencia para facilitar la integración sensorial (Spence, 2011). Una terapia sensorial típica involucra que un niño sea frotado o tocado con diversas texturas, realizar balanceos, sentarse en pelotas, y estar expuesto antes diferentes tipos de luces y sonidos (Lang et al., 2012).

Cuando los niños con autismo severo sean capaces de controlar mejor sus sentidos, ellos serán capaces de controlar mejor sus movimientos, y emociones (Shams & Seitz, 2008).

1.3.3 Musicoterapia para niños con autismo

Los individuos con autismo tienen preferencia sobre estímulos musicales en contraste con los verbales (Blackstock, 1978; Heaton, 2003; Molnar-Szakacs et al., 2009), por lo tanto, un tipo de terapia sensorial efectiva para niños con autismo severo es la musicoterapia (Srinivasan & Bhat, 2013).

La musicoterapia utiliza estímulos auditivos, provenientes de los elementos musicales, tales como sonido, armonía y ritmo, para ofrecer beneficios en el aspecto sensorial, cognitivo, emocional y motriz de niños con autismo. Las sesiones de musicoterapia para niños con autismo involucran crear, cantar, o escuchar música (Whipple, 2012). Estas experiencias musicales no son intimidantes para niños con autismo severo, por lo que le permiten a los niños explorar diferentes sonidos y maneras de usar instrumentos musicales (Srinivasan & Bhat, 2013).

Muchas de las sesiones de musicoterapia para niños con autismo se enfocan en mejorar la comunicación (Gattino, Riesgo, Longo, Leite, & Faccini, 2011; Geretsegger, Holck, & Gold, 2012; Lim, Miller, & Fabian, 2011), socialización y expresión de emociones (Katagiri, 2009; Kim, Wigram, & Gold, 2009). Sin embargo, se ha encontrado que el uso de la música, principalmente apoyada por el ritmo,

puede ser una herramienta eficaz para apoyar el desarrollo de habilidades motrices (Hardy & Lagasse, 2013). Esto se debe principalmente a que el ritmo activa las áreas motrices del cerebro y facilita la reacción de movimientos en personas con y sin discapacidades (Hardy & Lagasse, 2013; M. H. Thaut, 1988; Michael H. Thaut, Kenyon, Schauer, & McIntosh, 1999). Por ejemplo, el uso del ritmo, durante una sesión de terapia, puede ayudar a que los pacientes realicen movimientos precisos, siguiendo una mejor trayectoria y con una mayor velocidad (M. H. Thaut, Kenyon, Hurt, McIntosh, & Hoemberg, 2002). Además, de manera general, el uso de música durante terapias disminuye la sensación de fatiga, facilita la automatización de movimientos, mejora el tiempo de reacción y el control motriz (M. H. Thaut, 1988; M. H. Thaut et al., 2002).

Estos elementos e investigaciones de cómo la música afecta nuestro cerebro y movimientos han permitido el desarrollo de nuevas técnicas que permiten combina aspectos de terapia física con terapias sensoriales. A esta área de la musicoterapia se le conoce como musicoterapia neurológica (Michael H. Thaut & Volker, 2014).

1.3.3.1 Musicoterapia neurológica (Neuro-MT)

La musicoterapia neurológica (Neuro-MT por sus siglas en inglés *Neurologic Music Therapy*) está siendo usada para apoyar la regulación sensomotriz de individuos con autismo con resultados clínicos prometedores (LaGasse & Hardy, 2013; Sanglakh, Atigh, Akbarfahimi, & Zarei, 2017). La Neuro-MT es el uso terapéutico de la música para mejorar las disfunciones cognitivas, sensoriales y motrices de un individuo que presenta problemas neurológico del sistema nervioso (Michael H. Thaut & Volker, 2014). La Neuro-MT está basada en modelos neurocientíficos de cómo la percepción, producción y cambios en la música pueden afectar el cerebro y el comportamiento de las personas (Michael H. Thaut & Abiru, 2010).

La Neuro-MT está compuesta por alrededor de 20 técnicas clínicas apoyadas por evidencia científica (Michael H. Thaut & Volker, 2014). De estas técnicas, tres están enfocadas en el aspecto sensomotriz: la estimulación auditiva rítmica (RAS por sus siglas en inglés *Rhythmic Auditory Stimulation*), mejora sensorial con patrones de sonidos (PSE por sus siglas en inglés *Patter Sensory Enhancement*) y la interpretación de música instrumental terapéutica (TIMP por sus siglas en inglés *Therapeutic Instrumental Music Performance*). TIMP, a diferencia de las otras dos técnicas, permite a los pacientes

interactuar directamente con los instrumentos musicales, por los que pudiera ser apropiada para niños con autismo severo.

Una sesión de TIMP² está formada por tres etapas: calentamiento, sesión de terapia y enfriamiento. En la etapa de calentamiento se realizan movimientos simples, y se le permite al paciente descubrir cuales sonidos producen los instrumentos musicales que se van a utilizar (*e.g.*, tocar instrumentos musicales de manera libre usando movimientos con las manos). Posteriormente, en la sesión de terapia, los terapeutas usan los instrumentos musicales (por lo general percusiones) para ayudar a los pacientes a practicar ejercicios motrices (Mertel, 2014). En una sesión típica TIMP, los instrumentos musicales no se tocan de una manera tradicional, sino que están acomodados en diferentes posiciones para guiar los movimientos de los pacientes (Mertel, 2014). Por ejemplo, cuando se usan dos instrumentos musicales, el terapeuta usa un instrumento musical como punto de inicio del movimiento y el segundo como punto final. Finalmente en la etapa de enfriamiento, se deja al usuario interactuar con los instrumentos musicales de manera improvisada, y se sugiera que realice los movimientos que practicó durante la terapia (Mertel, 2014).

Las sesiones actuales de Neuro-MT se basan en el uso de instrumentos musicales tradicionales³. Sin embargo, es posible que los instrumentos musicales disponibles no estén diseñados adecuadamente para satisfacer las necesidades de los niños con autismo severo, ya que pudieran presentar una carga cognitiva excesiva y requerir de un entrenamiento musical previo (Magee, 2006). Además, los instrumentos musicales tradicionales pudieran dificultar la práctica de movimientos que apoyen a los niños con autismo severo en el control de fuerza y la sincronización de movimientos. En consecuencia, los niños con autismo severo pierden la atención, o se frustran (Burland & Magee, 2012). Esto pudiera traer como consecuencia que los niños con autismo severo abandonen la terapia sin obtener resultados. Por esta razón, las terapias que prometen mantener la atención de los niños, faciliten la interacción con la música y los motiven a practicar movimientos motrices para aprender a controlar su fuerza y la sincronización de sus movimientos se han vuelto importantes hoy en día.

² Para facilitar la lectura, en esta tesis se usará el término Neuro-MT para referirnos a las técnicas de la musicoterapia enfocadas a la rehabilitación sensomotriz, principalmente a la técnica de Interpretación de música instrumental terapéutica (TIMP).

³ Se adaptó el término instrumento musical tradicional para definir instrumentos de tanto música popular como música clásica. Estos instrumentos son diseñados para realizar interacciones precisas y usualmente requieren un alto nivel de experiencia para que los usuarios puedan tocarlos (Visi, Schramm, & Miranda, 2014). Ejemplos de instrumentos musicales tradicionales usados en Neuro-MT incluyen percusiones, guitarras, violines, pianos, o sus versiones electrónicas (Magee, 2006; Mertel, 2014).

1.4 Planteamiento del problema

Hoy en día, la prevalencia del autismo va en incremento (Baio et al., 2018). Además, el 80% de los niños con autismo severo presentan problemas sensomotrices (Donnellan et al., 2013; MacNeil & Mostofsky, 2012; Staples & Reid, 2010; Tomchek & Dunn, 2007; Whyatt & Craig, 2012), principalmente en términos de control de fuerza (J. K. Kern et al., 2011; Mosconi et al., 2015; Staples & Reid, 2010) y sincronización de movimientos ante estímulos sensoriales (LaGasse & Hardy, 2013; Staples & Reid, 2010). Un tipo de terapia que ha mostrado resultados clínicos prometedores en términos motrices para niños con autismo severo es la Neuro-MT (LaGasse & Hardy, 2013; Sanglakh et al., 2017), ya que combina aspectos de terapia física con terapias sensoriales (Michael H. Thaut & Volker, 2014).

Sin embargo, las sesiones actuales de Neuro-MT usan instrumentos musicales tradicionales que pudieran no estar diseñados adecuadamente para satisfacer las necesidades de los niños con autismo severo (Magee, 2006). Diseñar y evaluar herramientas para apoyar las necesidades de niños con autismo severo durante Neuro-MT no es una tarea fácil. Las herramientas deben ser fáciles de usar, atractivas, y preferentemente deben de tener estímulos multisensoriales que les permitan a los niños con autismo severo interactuar de manera natural con el ambiente. Existe evidencia de que el uso de estímulos sensoriales adecuados pudiera ayudar a que los niños con autismo severo adquieran las habilidades que están practicando durante la terapia (Schaaf et al., 2014). Además, la correspondencia entre los estímulos puede ayudar a los niños a procesar correctamente e integrar la información sensorial (Schaaf et al., 2014).

Se ha probado que las interfaces musicales, que ofrecen una interacción natural, casual y remueven la complejidad de los mecanismos de entrada (Putnam & Chong, 2008), pueden apoyar las interacciones de los individuos con discapacidades con la música (Boulay, Benveniste, Boespflug, Jouvelot, & Rigaud, 2011; Gorman, Lahav, Saltzman, & Betke, 2007; Hobbs & Worthington-Eyre, 2008; Oliveros, Miller, Heyen, Siddall, & Hazard, 2011). De manera particular, las interfaces musicales han mostrado que pueden apoyar sesiones de musicoterapia para individuos con autismo (McGowan, Leplâtre, & McGregor, 2017; Villafuerte, Markova, & Jorda, 2012). Estas investigaciones se han enfocado principalmente en mejorar la comunicación entre pacientes y terapeutas y no se ha explorado como puede apoyar los problemas sensomotrices de niños con autismo severo usando técnicas de Neuro-MT.

Para el apoyo de los problemas motrices en niños con autismo severo, se ha explorado el uso de juegos serios basados en movimiento (Bhattacharya, Gelsomini, Pérez-Fuster, Abowd, & Rozga, 2015; Caro,

Tentori, Martinez-Garcia, & Zavala-Ibarra, 2017). Estas investigaciones muestran que la tecnología interactiva puede jugar un rol crucial en apoyar intervenciones terapéuticas para niños con autismo severo; sin embargo, no brindan una retroalimentación apropiada que les permita entender a los niños con autismo severo las cualidades de sus movimientos en términos de fuerza, y no utilizan retroalimentación auditiva que pudiera ayudar en la sincronización de sus movimientos.

Un tipo de tecnología emergente, que permite tener una retroalimentación táctil instantánea de fuerza son las superficies elásticas (*i.e.*, superficies donde los usuarios pueden variar la cantidad de presión cuando empujan una membrana elástica para interactuar con la superficie (Müller, Gründer, & Groh, 2015; Troiano, Pedersen, & Hornbæk, 2014)). Estas superficies permiten, jalar, empujar o torcer la pantalla creando una deformación temporal. Investigaciones recientes sugieren que las características de las superficies elásticas, incluyendo las sensaciones táctiles combinadas con estímulos visuales ayudan a los individuos a rápidamente entender analogías relacionadas con fuerza (Müller et al., 2015), y facilitan la interacción con la música (Troiano, Pedersen, & Hornbæk, 2015). Sin embargo, nuestra revisión de la literatura reveló que no hay estudios reportando resultados de diseño y evaluación de superficies elásticas que apoyen a niños con autismo severo durante sesiones de Neuro-MT para el control de movimientos.

De manera particular, esta investigación tiene como objetivo diseñar una superficie elástica, que, en contraste con instrumentos musicales tradicionales pueden integrar una gran variedad de sonidos y visualizaciones que pudieran dar mayor guía a los niños con autismo severo sobre sus movimientos. Las superficies elásticas proveen una experiencia sensorial que les permite entender a los niños variaciones de fuerza y puede agregar sonidos que les permitan sincronizar sus movimientos. Por lo que la hipótesis de esta tesis es que las superficies elásticas son herramientas más eficaces en comparación con los instrumentos musicales tradicionales para apoyar sesiones de Neuro-MT para niños con autismo severo.

1.5 Preguntas de investigación

Dada la problemática, se plantearon las siguientes preguntas de investigación

[PI1] ¿Cuáles son las consideraciones de diseño debe tener una superficie elástica para apoyar una sesión de Neuro-MT?

[PI2] ¿Qué beneficios terapéuticos puede promover una superficie elástica en niños con autismo severo?

[PI3] ¿Cómo podemos medir la fuerza y sincronización de movimiento utilizando una superficie elástica?

[PI4] ¿Cuál es la eficacia de una superficie elástica para apoyar sesiones de Neuro-MT para niños con autismo severo?

1.6 Objetivos

Para responder a las preguntas de investigación de esta tesis se planteó el siguiente objetivo general:

Desarrollar una superficie elástica para apoyar las sesiones de Neuro-MT y validar su eficacia en las capacidades de control de fuerza y sincronización de movimientos en niños con autismo severo.

A partir del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- [OE1] Definir las características de diseño y el modelo de interacción que una superficie elástica debe tener para apoyar sesiones de Neuro-MT para niños con autismo severo.
- [OE2] Diseñar e implementar una superficie elástica con una dinámica del juego que pueda apoyar sesiones de Neuro-MT para niños con autismo severo.
- [OE3] Determinar los potenciales beneficios terapéuticos que tiene una superficie elástica para niños con autismo severo.
- [OE4] Evaluar la eficacia de la superficie elástica en términos del control de fuerza y la sincronización de movimientos de niños con autismo severo.

1.7 Metodología

La metodología de este trabajo sigue la filosofía de diseño centrado en el usuario. Esta se compone de cinco etapas principales (Figura 1). Para responder la primera pregunta de investigación [PI1], se realizaron tres iteraciones en las etapas iniciales que incluyen el estudio contextual y el diseño participativo. Posteriormente, se realizó una evaluación formativa para responder la [PI2]. Enseguida se implementó un sistema como instanciación para responder [PI3]. Finalmente se realizó una evaluación sumativa para responder [PI4].

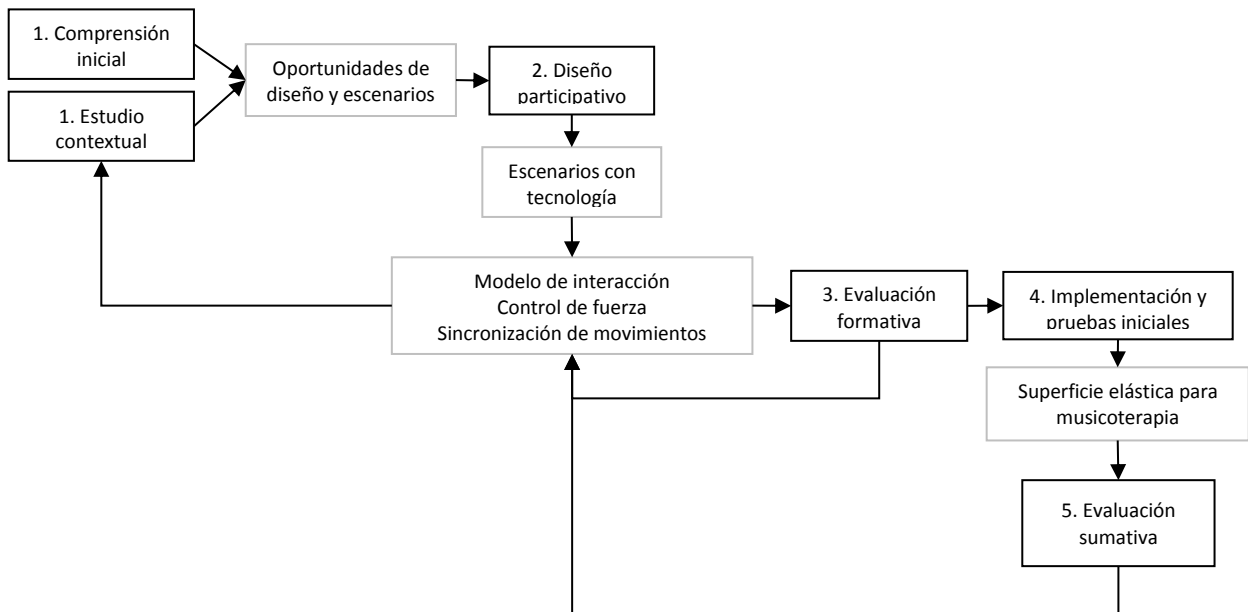


Figura 1. Esquema de la metodología de investigación

1.7.1 Comprensión inicial y estudio contextual

Por cada iteración de la comprensión inicial y el estudio contextual, se analizó la literatura existente hasta el momento para entender las problemáticas y características que hay alrededor del autismo, en particular, estudiar sus problemas sensomotrices. Adicionalmente, se estudió la literatura relacionada con Neuro-MT y otras terapias basadas en música.

Para complementar el análisis de literatura, en cada iteración, se realizó un estudio contextual que tuvo como objetivo obtener información de los usuarios potenciales, considerando el contexto para el cual se está desarrollando el sistema (Beyer y Holtzblatt, 1999). Primeramente, se realizaron entrevistas semi-estructuradas⁴ a especialistas para entender como son las terapias de niños con autismo, y, conocer los problemas que se enfrentan y las estrategias que siguen los terapeutas durante diferentes tipos de terapia. Posteriormente, se realizaron observaciones directas⁵ a niños con autismo severo en diferentes actividades.

Para analizar la información se utilizaron técnicas cualitativas (*e.g.*, diagrama de afinidad (Strauss, Corbin, & Corbin, 2015)). Los resultados de las interacciones del estudio contextual incluyeron: (1) un

⁴ **Entrevista semi-estructurada:** entrevistas guiadas por un conjunto de temas y preguntas abiertas, donde de acuerdo con las respuestas de los entrevistados, se pueden agregar preguntas o modificar el orden de los temas.

⁵ **Observación directa:** un investigador observa el comportamiento de los sujetos de estudio en un entorno dado.

mejor entendimiento del problema; (2) un mejor entendimiento del modelo de interacción⁶ de los niños con autismo en superficies elásticas; (4) un conjunto de escenarios e ideas de diseño para apoyar intervenciones de Neuro-MT.

1.7.2 Diseño participativo

Las oportunidades de diseño, y escenarios de uso identificados en cada iteración del estudio contextual se usaron para fomentar que los especialistas participarán activamente en el proceso de diseño mediante sesiones de diseño participativas. En las sesiones de diseño de cada iteración se generaron un conjunto de prototipos de baja y media fidelidad de superficies elásticas para sesiones de Neuro-MT.

Para generar los prototipos se utilizarán técnicas de diseño formativo y centrado en el usuario (*e.g.*, sesiones de diseño participativo, diseño contextual rápido, bocetos (*sketches*) y guiones gráficos (*storyboard*)).

Los resultados de esta fase incluyeron: (1) en la primera iteración se definieron los estímulos visuales que debía tener una superficie elástica; (2) en la segunda iteración se definieron los estímulos táctiles y la rutina de ejercicio que debía integrar una intervención terapéutica enfocada en la mejora de la sincronización de movimientos y el control de fuerza; (3) en la tercera iteración se definieron los estímulos auditivos que complementarían las visualizaciones y los movimientos realizados por los niños con autismo en la superficie elástica; (4) Finalmente se obtuvieron un conjunto de consideraciones de diseño que debe tener una superficie elástica para el apoyo de sesiones de Neuro-MT.

1.7.3 Fase de experimentación 1: evaluación formativa

En esta fase se evaluó un prototipo preliminar de la superficie elástica. La evaluación formativa tuvo como objetivo entender la percepción del prototipo de la superficie elástica por terapeutas de niños con autismo severo y evaluar la experiencia de uso y potenciales beneficios terapéuticos que una superficie elástica pudiera tener. La evaluación se llevó a cabo en una escuela-clínica para niños con autismo severo. Para evaluar la percepción del prototipo se reclutaron 18 terapeutas y se realizó un estudio cuantitativo basado en encuestas. Para entender la experiencia de uso, y potenciales beneficios

⁶ **Modelo de interacción:** define la manera en cómo los usuarios interactúan o utilizan el sistema (Preece, Sharp, & Rogers, 2015).

terapéuticos se reclutaron 24 niños con autismo severo y se realizó un experimento intra-sujetos comparando el uso de MúsicaFlexible contra el uso de un teclado. En este estudio se encontró que: (1) MúsicaFlexible es aceptable, fácil de usar y atractivo, (2) MúsicaFlexible tiene potenciales beneficios terapéuticos en términos de atención y desarrollo motriz de niños con autismo severo.

1.7.4 Implementación

Como resultado de las tres iteraciones y la retroalimentación obtenida en la evaluación formativa, se implementó MúsicaFlexible, una superficie elástica formada por una tela de licra táctil e interactiva de $\sim 1.5 \text{ m}^3$ que permite a los niños con autismo severo crear sonidos y practicar movimientos motrices cuando tocan, golpean o pellizcan la tela. Para la implementación se siguió una metodología iterativa e incremental (Fowler, 2003) de diseño de software. En cada iteración se llevó a cabo un proceso de análisis, diseño, codificación y pruebas. Los principales resultados de esta fase son: (1) la dinámica final de MúsicaFlexible, (2) un prototipo de alta fidelidad de una superficie elástica para apoyar sesiones de Neuro-MT en niños con autismo severo, y (3) la implementación de mediciones para el cálculo de características de las interacciones de los niños con la superficie elástica.

1.7.5 Fase de experimentación 2: evaluación sumativa

Una vez que se implementó el diseño final de MúsicaFlexible, se llevó a cabo una evaluación sumativa para determinar la eficacia de la superficie elástica en la sincronización de fuerza y control de movimientos de niños con autismo severo. La evaluación se llevó a cabo en una escuela-clínica para niños con autismo. Durante dos meses se realizó un estudio controlado aleatorio, donde 22 niños con autismo severo se asignaron para tomar sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible o panderos. El estudio tuvo mediciones clínicas pre- y post-condición. Los resultados de este estudio muestran que: (1) MúsicaFlexible se usó de manera satisfactoria por los niños con autismo severo durante los dos meses de la evaluación, (2) MúsicaFlexible puede mejorar el control de fuerza, la sincronización de movimientos y la coordinación de niños con autismo severo de la misma o mejor manera que usando panderos

1.8 Estructura de la tesis

Esta tesis contiene siete capítulos, los cuales se describen a continuación.

El Capítulo 2 presenta los trabajos relacionados respecto al uso de interfaces musicales para personas con discapacidad, superficies interactivas y juegos serios que apoyan terapias sensomotrices de niños con autismo, y superficies deformables y elásticas.

En el Capítulo 3 se detallan las iteraciones de diseño que se llevaron a cabo para el desarrollo de una superficie elástica. La superficie elástica integra técnicas de Neuro-MT para el apoyo del control de fuerza y sincronización de movimientos de niños con autismo severo.

En el Capítulo 4 se describe el diseño de MúsicaFlexible, una superficie que permite a los niños con autismo severo crear sonidos y practicar movimientos motrices cuando tocan, golpean o pellizcan la tela. También, se describe la arquitectura para la implementación de MúsicaFlexible y el cálculo de características de las interacciones con la tela.

El Capítulo 5 contiene la fase experimental 1 que incluye una evaluación formativa de MúsicaFlexible. Esta evaluación consistió tanto de la percepción del diseño por parte de las terapeutas, así como el uso de MúsicaFlexible por niños con autismo severo.

El Capítulo 6 contiene la fase experimental 2, la cual consiste en una evaluación sumativa de MúsicaFlexible. Este capítulo incluye la descripción de un estudio de controlado aleatorio donde se evaluó la eficacia de MúsicaFlexible en términos de control de fuerza y sincronización de movimientos. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del uso de MúsicaFlexible durante ocho sesiones de Neuro-MT y la eficacia clínica de MúsicaFlexible en comparación de sesiones tradicionales de Neuro-MT.

Finalmente, en el Capítulo 7 se detallan las principales conclusiones de este trabajo, aportaciones y limitaciones de esta Tesis. También se incluyen algunas ideas de trabajo futuro.

Capítulo 2. Trabajo previo

En este capítulo se presenta la investigación previa relevante de la literatura de cómputo ubicuo e interacción humano computadora con respecto a: (1) el uso de interfaces musicales para apoyar a niños y personas con distintas discapacidades a interactuar con la música; (2) el uso de juegos serios y superficies interactivas para apoyar las terapias motrices y sensoriales de niños con autismo; (3) el uso de superficies deformables de manera general y superficies elásticas que fomentan la realización de gestos de interacción necesarios para el control de fuerza.

2.1 Interfaces musicales para niños y personas con discapacidad

En esta sección primero se describen proyectos de investigación que estudian como apoyar a niños neurotípicos a jugar, aprender, o crear música utilizando interfaces musicales. Posteriormente, se describen interfaces musicales que se diseñaron para apoyar a las personas con discapacidades cognitivas y motrices durante sesiones de musicoterapia. Finalmente, se describen trabajos recientes sobre el uso de interfaces musicales para mejorar la comunicación de individuos con autismo durante sesiones de musicoterapia.

2.1.1 Interfaces musicales para estudiantes y niños

Diferentes proyectos de investigación en interfaces musicales han explorado novedosas maneras de ayudar a niños neurotípicos a tocar y aprender música mediante juegos de ritmo (*e.g.*, *Guitar Hero*⁷, *Rock Band*⁸), o han propuesto agregar información interactiva a instrumentos musicales tradicionales (Rogers et al., 2014; Vandavelde, Conradie, Ville, & Saldien, 2014; Xiao, Puentes, Ackermann, & Ishii, 2016). Por ejemplo, P.I.A.N.O. (Rogers et al., 2014) es un juego de ritmo interactivo que se proyecta encima de un piano para facilitar el aprendizaje del instrumento real (Figura 2-izquierda). Dos estudios se realizaron para evaluar P.I.A.N.O. El primer estudio fue intra-sujetos y se realizó con 56 estudiantes (edad promedio = 23 años) para evaluar su rendimiento y experiencia de uso. El segundo estudio (entre-sujetos) se realizó con 18 estudiantes (edad promedio 26 años) para evaluar el aprendizaje del

⁷ <https://www.guitarhero.com/mx/es/>

⁸ <https://www.rockband4.com/>

instrumento de piano a lo largo de una semana en comparación a un piano tradicional sin proyección. Los resultados muestran que P.I.A.N.O. apoya el aprendizaje rápido, requiere menos carga cognitiva, provee una mejor experiencia e incrementa la calidad musical.

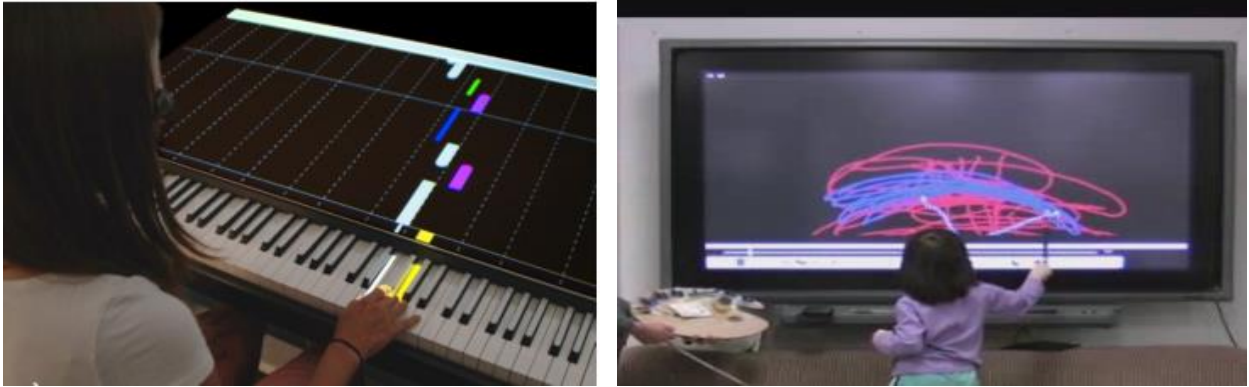


Figura 2. Usuario practicando con P.I.A.N.O. (derecha); Niña utilizando una brocha para crear música con Vuzik (izquierda).

Similarmente, Andantino (Xiao et al., 2016), es una superficie interactiva que proyecta figuras animadas sobre un piano para apoyar a niños neurotípicos a aprender a tocar el instrumento. Las figuras animadas representan una variedad de elementos musicales tales como tonalidad, melodías, o armonías. Por ejemplo, las notas graves que los niños tocan provocan que las figuras engorden; mientras que, las notas agudas hacen que las figuras adelgacen. El objetivo de Andantino es proveer un ambiente agradable para que los niños aprendan a tocar el piano. Dos estudios piloto con ocho niños neurotípicos (entre 7 y 13 años de edad) que participaron en dos sesiones usando Andantino encontraron que las representaciones visuales de los sonidos mejoran la conciencia de los niños sobre lo que expresan los sonidos, promueven la imaginación, y aumentan la atención y motivación de los niños en aprender a tocar el piano.

Otras interfaces musicales han explorado el uso de objetos tangibles para apoyar a los niños a crear música (Ichino, Pon, Sharlin, Eagle, & Carpendale, 2014; Jordà, Geiger, Alonso, & Kaltenbrunner, 2007). Por ejemplo, Vuzik (Ichino et al., 2014) es un pizarrón interactivo que imita un caballete de pintura para permitir a niños neurotípicos crear música mientras pintan (Figura 2-derecha).

-derecha). Un estudio con 14 niños neurotípicos (entre 9 y 12 años) encontró que Vuzik es fácil de usar y provee un mayor apoyo para la creatividad que un programa para componer música en una computadora de escritorio.

Aunque algunas de estas interfaces musicales están disponibles de manera comercial o se usan por expertos, no se han explorado si pueden apoyar las necesidades de personas con discapacidad o niños con autismo. Sin embargo, este cuerpo de trabajo enfatiza la importancia de combinar los sonidos con visualizaciones para mejorar la experiencia de tocar música.

2.1.2 Interfaces musicales para apoyar personas con discapacidad

Otras interfaces musicales se han propuesto para apoyar a individuos con discapacidades cognitivas y motrices durante intervenciones terapéuticas basadas en música (*e.g.*, MINWii (Boulay et al., 2011), Music Maker (Gorman et al., 2007), Movement-to-Music (Hobbs & Worthington-Eyre, 2008), MAWii (Benveniste, Jouvelot, Lecourt, & Michel, 2009), AUMI (Oliveros et al., 2011), SoundBeam (Ellis & Leeuwen, 2000)).

Por ejemplo, MINWii (Boulay et al., 2011) es una interfaz musical que utiliza técnicas de musicoterapia para apoyar a adultos mayores con demencia a tocar diferentes canciones utilizando el control Wiimote⁹. Con el Wiimote, los pacientes controlan un teclado virtual con teclas de colores que les indica donde tocar para escuchar una canción. Un estudio durante cinco semanas del uso de MINWii con siete pacientes con Alzheimer mostró que combinando interacciones tangibles y gestuales se puede facilitar el proceso de tocar música por pacientes con problemas motrices y cognitivos.

Otro ejemplo es “Movement-to-Music” (Figura 3) (Hobbs & Worthington-Eyre, 2008; Tam et al., 2007), una interfaz musical que integra objetos virtuales como cubos o figuras de colores en una pantalla. Estos objetos crean sonidos de distintos instrumentos musicales cuando el paciente realiza algún movimiento. Un estudio de seis sesiones semanales de musicoterapia con seis niños con parálisis cerebral o distrofia muscular (entre 3 y 7 años), encontró que el uso de “Movement-to-Music” por pacientes con discapacidades físicas severas puede apoyar el desarrollo de habilidades sociales y cognitivas.

Estos trabajos muestran que las interfaces musicales, principalmente usando una interacción “natural”, ayudan a pacientes con problemas cognitivos y motrices severos a interactuar con la música, sin embargo, ninguno de estos proyectos de investigación ha explorado el impacto de estas interfaces musicales en niños con autismo.

⁹ WiiMote: Control remoto de la consola Wii



Figura 3. Componentes del sistema “Movement-to-Music” (izquierda). Usuario utilizando el sistema (derecha).

2.1.3 Interfaces musicales para individuos con autismo

Poco trabajo se ha explorado sobre el uso de interfaces musicales para individuos con autismo (*e.g.*, Reactable (Villafuerte et al., 2012) y CymaSense (McGowan et al., 2017)). Estos trabajos se han enfocado principalmente en explorar como las interfaces musicales que apoyan sesiones de musicoterapia impactan en la comunicación entre el paciente y el terapeuta.

Por ejemplo, Reactable (Villafuerte et al., 2012), es una mesa interactiva, diseñada para crear música para el público en general que utiliza objetos tangibles para apoyar a los usuarios a componer música. Para crear música, los usuarios deben colocar cubos sobre la mesa para generar efectos de sonido. Un estudio piloto del uso de Reactable por siete niños con autismo (entre 5 y 11 años de edad) durante tres sesiones de musicoterapia, muestra que hay un incremento entre las interacciones sociales entre los niños y la terapeuta cuando usan Reactable en comparación con terapias de juego.

Otro ejemplo es CymaSense (McGowan et al., 2017), una superficie interactiva que proyecta visualizaciones que representan sonidos electro-acústicos para mejorar la comunicación de adultos con autismo durante sesiones de musicoterapia (Figura 4). Un estudio durante ocho semanas, con ocho adultos con autismo, mostró que los participantes usaban de manera satisfactoria CymaSense y mejoraban la comunicación con el terapeuta.

En general, estos trabajos dan evidencia de que las interfaces musicales, principalmente usando una interacción natural, facilitan la interacción entre el paciente y la música, sin embargo, no se ha explorado como este tipo de interfaces puede mejorar los problemas motrices de niños con autismo usando técnicas de Neuro-MT.

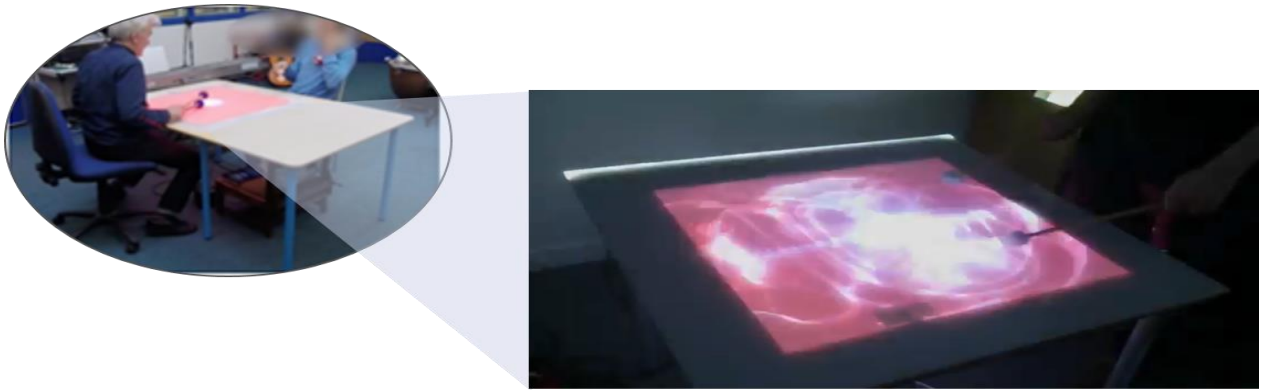


Figura 4. Un musicoterapeuta y un adulto con autismo usando CymaSense (izquierda). Visualización de CymaSense (derecha).

2.2 Superficies interactivas y juegos serios para apoyar terapias sensomotrices de niños con autismo

Para el apoyo de terapias sensomotrices de niños con autismo se han explorado el uso superficies interactivas y juegos serios basados en movimiento. En esta sección primeramente se describen trabajos relevantes sobre del uso de superficies interactivas para apoyar terapias sensoriales para niños con autismo. Una superficie interactiva es una superficie física (*e.g.*, mesa, piso, ventana, pared) que cuenta con capacidades computacionales (*e.g.*, visualizaciones, sensores) para procesar múltiples eventos del usuario a la vez (Grabs, 2009).

Posteriormente se describen ejemplos de juegos serios basados en movimientos que fomentan la actividad física de niños con autismo. Un juego serio puede definirse como un software interactivo basado en un videojuego para uno o múltiples jugadores. El videojuego se puede usar en cualquier plataforma pero se ha desarrollado con un objetivo más allá que el entretenimiento (*e.g.*, educar, publicitar, simular) (Ritterfeld, Cody, & Vorderer, 2009). Dentro de la calificación de juegos serios existen los videojuegos basados en movimiento (*exergames*) que son videojuegos donde la interacción y el resultado del juego es determinado por el esfuerzo físico del jugador (Mueller et al., 2011; Sinclair, Hingston, & Masek, 2007).

2.2.1 Superficies interactivas para apoyar las terapias sensoriales de niños con autismo.

Las superficies interactivas tienen la capacidad de agregar contenido multisensorial, abstraerlo o limitarlo para solo mostrar la información relevante y apoyar el proceso de integración sensorial en

niños con autismo (Kientz, Goodwin, Hayes, & Abowd, 2013), por lo que han sido usadas de manera exitosa como terapias sensoriales (e.g., SensoryPaint (Ringland et al., 2014), MEDIATE (Parés et al., 2005)).

Por ejemplo, MEDIATE (Parés et al., 2005) (Figura 5) es un ambiente multisensorial que genera estímulos visuales, auditivos, y táctiles. MEDIATE utiliza estímulos visuales para atraer la atención cambiando los elementos de acuerdo a los movimientos del niño. Los resultados de un estudio de laboratorio del uso de MEDIATE por 90 de niños con autismo muestran que MEDIATE apoya la expresividad del niño.

Este tipo de superficies proveen evidencia del uso de superficies interactivas en niños con autismo para la asistencia de terapias sensoriales; sin embargo, no presentan un balance entre los estímulos sensoriales y motrices (Cibrian, Ortega, Escobedo, & Tentori, 2015), y no utilizan los beneficios de la música para apoyar el desarrollo de habilidades sensomotrices.



Figura 5. Niño con autismo utilizando MEDIATE.

2.2.2 Superficies interactivas para apoyar las terapias motrices de niños con autismo.

Aunque investigaciones recientes han mostrado que los niños con autismo tiene déficits en la coordinación motriz (Fournier, Hass, Naik, Lodha, & Cauraugh, 2010), investigación en el diseño de tecnología interactiva para apoyar la motricidad de personas con autismo es escasa. La mayoría de la tecnología interactiva en esta área se ha enfocado en promover el ejercicio físico en ambientes escolares (Bhattacharya et al., 2015), o en contexto terapéuticos (Caro, Tentori, Martinez-Garcia, & Zavala-Ibarra, 2017).

Por ejemplo, en el contexto escolar, Bhattacharya *et al.* (2015) diseñaron un videojuego basado en

movimiento donde los niños con autismo usan movimientos de sus manos para atrapar objetos virtuales y ganar puntos (Figura 6). Los resultados de un estudio de dos meses con 18 niños con autismo, muestran que los niños realizaban movimientos novedosos durante el juego (*e.g.*, sentarse, gatear, agacharse) los cuales pudieran impactar en el enganchamiento de los niños, mejorar su socialización y el desarrollo de sus habilidades motrices.

Un ejemplo en el contexto terapéutico es FroggyBobby (Caro, Tentori, Martinez-Garcia, & Alvelais, 2017), un juego serio donde los niños con autismo usan los movimientos de los brazos para controlar la lengua de una rana. Los niños tienen que redirigir la lengua de la rana para recolectar moscas que están volando entre dos soportes visuales. Este juego ayuda a los niños con autismo a practicar ejercicios de coordinación que son importantes para desarrollar habilidades motrices. Un estudio con siete niños con autismo encontró que FroggyBobby apoya a los niños a mantener su atención y a desarrollar movimientos precisos después de siete semanas del uso del videojuego (Caro, Tentori, Martinez-Garcia, & Alvelais, 2017).

Estos resultados muestran que los videojuegos serios basados en movimiento pueden jugar un rol crucial en apoyar intervenciones motrices terapéuticas para niños con autismo. Sin embargo, cuando los niños los usan realizan sus movimientos al aire. Por ello, los videojuegos serios basados en movimiento no brindan una retroalimentación “física” que les permita a los niños con autismo entender las cualidades de sus movimientos en términos de fuerza y no utilizan retroalimentación auditiva que pudiera ayudarles a sincronizar sus movimientos.



Figura 6. Representación de dos esqueletos de jugadores que cachan objetos para obtener puntos (izquierda), dos niños con autismo jugando la modalidad de juego y representados por los esqueletos (derecha).

2.3 Superficies deformables

Un tipo de tecnología emergente, que permite tener una retroalimentación táctil, “física” instantánea de fuerza son las superficies deformables. Las superficies deformables permiten los usuarios usar gestos y explorar diferentes maneras de interacción agregando una dimensión extra a las interfaces. Esta dimensión permite a los usuarios variar la cantidad de presión cuando tocan la superficie (Müller et al., 2015; Troiano et al., 2014). Una superficie deformable es flexible, cuando utiliza es una superficie maleable con deformaciones permanentes; o puede ser elástica, cuando permiten deformaciones temporales (Grunder, Kammer, Brade, & Groh, 2013).

Por ejemplo, NoiseBear (Grierson & Kiefer, 2013) es una superficie flexible que usa un control suave y maleable diseñado para ayudar a niños con autismo a crear sonidos y música con interacciones gestuales. Un estudio piloto sobre el uso de NoiseBear mostró que los niños con autismo encontraron NoiseBear motivante para crear música, pero se encontró que NoiseBear carecía de estímulos interactivos visuales que pudieran ayudar a los niños con autismo a mantener su atención por más tiempo.

Otras investigaciones han empezado a explorar diferentes técnicas de interacciones usando superficies deformables. Una de las primeras preguntas que se ha explorado es descubrir cuáles son los materiales más apropiados para el desarrollo de superficies deformables (Follmer, Leithinger, Olwal, Cheng, & Ishii, 2012; Troiano et al., 2015). Por ejemplo, Troiano *et al.* (2015), realizó tres talleres con nueve músicos para estudiar diferentes objetos que son apropiados para tocar música. Los objetos deformables incluyen telas de licra, cubos de espuma, pelotas de esponja, y plastilina (Figura 7). Los resultados indican que la tela de licra se percibió como deformable, intuitiva, fácil de aprender y divertida, por lo que permitía a los músicos crear fácilmente efectos de sonido.

Estos trabajos muestran que la selección del material debe estar relacionado con la actividad que se va a realizar, y que la tela de licra es un material adecuado para crear superficies elásticas que apoyen interacciones entre usuarios y música.

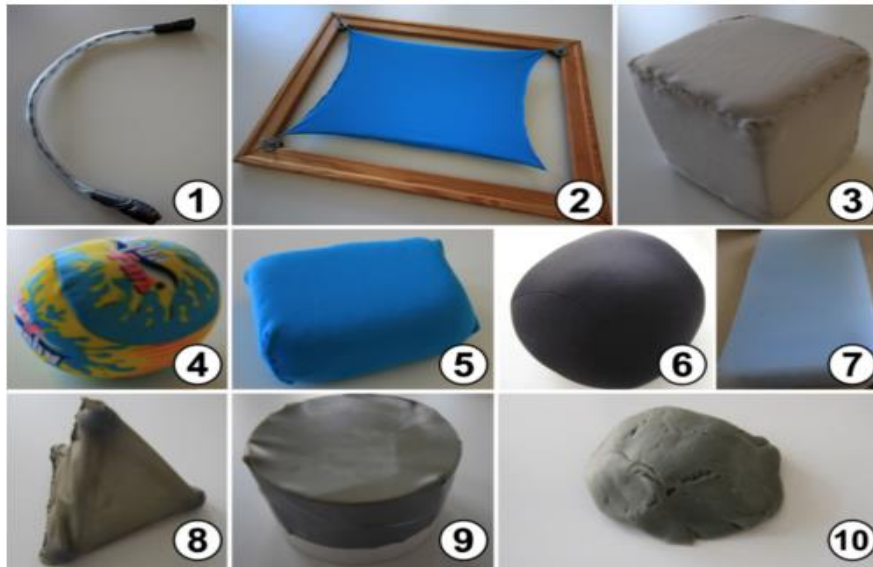


Figura 7. Objetos deformables usados durante el taller de música para proponer que material era mejor para tocar música.

2.3.1 Superficies elásticas

Dentro de las superficies elásticas, los estudios se han enfocado en explorar aspectos relacionados con el modelo de interacción (Troiano et al., 2014). Por ejemplo, un estudio en laboratorio, donde 17 adultos jóvenes (con experiencia en superficies rígidas como tabletas y celulares inteligentes) usaron una superficie elástica de pequeña escala para realizar interacciones predefinidas (como desplazar o rotar objetos), mostró que las características de las superficies elásticas permiten a los usuarios interactuar directamente con la superficie ya sea empujándola, torciéndola o jalándola (Troiano et al., 2014). Los usuarios pueden interactuar con la superficie utilizando un dedo, su mano completa, o gestos unimanuales y bimanuales (Müller et al., 2015; Troiano et al., 2014).

Estas interacciones en superficies elásticas se han propuesto para apoyar la navegación (Yun, Song, Youn, Cho, & Bang, 2013), y manipular información de temas relacionados con la Física (Müller et al., 2015) y contenido multimedia (Cassinelli & Ishikawa, 2005). Por ejemplo, DepthTouch (Müller et al., 2015) es una superficie elástica que imita las fuerzas gravitacionales entre esferas. Las esferas se proyectan sobre la superficie y reaccionan de acuerdo con la fuerza que los usuarios aplican cuando empujan la superficie elástica (Figura 8). Las esferas se pueden repeler o atraer de acuerdo a la fuerza de gravedad. Observaciones de usuarios usando DepthTouch muestran que en las superficies elásticas

son fáciles de entender y ayudan a los usuarios a crear un modelo mental de como la fuerza se relaciona con la interacción (Müller et al., 2015).

Estos proyectos sugieren que las características intrínsecas de las superficies elásticas, incluyendo las sensaciones táctiles combinadas con estímulos visuales ayudan a los individuos a entender rápidamente analogías relacionadas con fuerza, además de que facilitan su interacción con la música. Sin embargo, hasta el mejor de nuestro conocimiento, no hay estudios reportando resultados de diseño y evaluación de superficies elásticas que apoyen a niños con autismo durante sesiones de Neuro-MT para el control de movimientos.

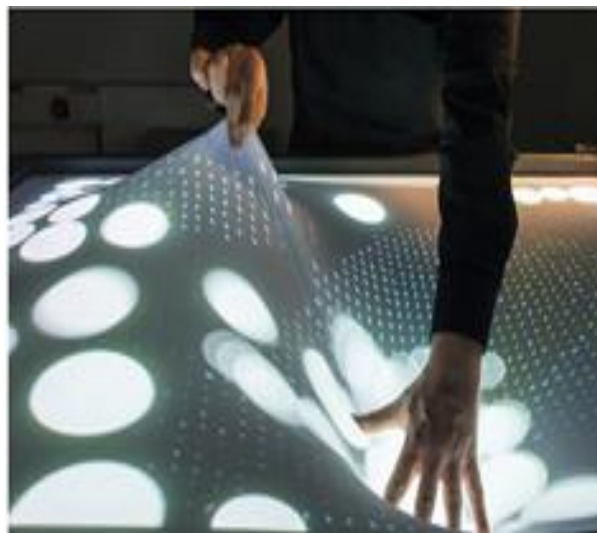


Figura 8. Un usuario empujando y jalando la superficie flexible de DepthTouch.

2.4 Resumen y conclusiones

En la Tabla 1 se muestra un resumen de los trabajos que se han presentado en este capítulo. Por cada trabajo se detalla el tipo de tecnología que se usa, los usuarios finales para los cuáles se diseñó la tecnología, su objetivo y el tipo de evaluación. Como se puede observar en la Tabla 1, existe mucho trabajo en el desarrollo de interfaces musicales para apoyar a personas con discapacidad durante sesiones de musicoterapia, pero poco se ha explorado el apoyo a niños con autismo y ninguna de ellas apoya terapias motrices o sensoriales. Por otra parte, la tecnología interactiva que apoya terapias sensoriales y motrices en niños con autismo no ha explorado el uso de técnicas de musicoterapia para apoyar el control de fuerza y sincronización de movimientos. Finalmente, las superficies elásticas han mostrado ser eficaces para apoyar la interacción entre usuarios con la música y proporcionar

retroalimentación inmediata de la fuerza aplicada por un movimiento; sin embargo, la mayoría sólo se han enfocado en evaluar el desempeño de las superficies elásticas o proponer potenciales aplicaciones.

Tabla 1. Trabajo previo relevante de superficies interactivas musicales.

	Trabajo	Tecnología	Población	Objetivo					Tipo de evaluación
				Recreación	Aprender música	Terapia sensorial	Terapia motriz	Musico-terapia	
Interfaces musicales	P.I.A.N.O. (Rogers et al., 2014)	Piano interactivo	Estudiantes		x				Intra-sujetos (n=56)/ entre-sujetos (n=18)
	Drum Duino (Vandevelde et al., 2014)	Mesa interactiva	Niños (8 a 11 años)	x	x				Exploratorio (n=10)
	Andantino (Xiao et al., 2016)	Piano interactivo	Niños (7 a 13 años)		x				Estudio Piloto (n=8)
	Vuzik (Ichino et al., 2014)	Pantalla interactiva	Niños (10 a 12 años)	x					Intra-sujetos (n=14)
	The reacTable (Jordà et al., 2007)	Mesa interactiva	Público en general	x					Exhibiciones y festivales
	MINwii (Boulay et al., 2011)	Pantalla interactiva Wiimote	Pacientes con demencia					x	Estudio piloto (n=7)
	Music Maker (Gorman et al., 2007)	Espacio interactivo	Personas con discapacidades motoras					x	Estudio desempeño del sistema de detección de movimientos
	Movement-to-music (Hobbs & Worthington-Eyre, 2008; Tam et al., 2007)	Pantalla interactiva	Niños con parálisis cerebral (3 a 7 años)					x	Estudio cualitativo (n=6)
	MAWII (Benveniste et al., 2009)	Pantalla interactiva Wiimote	Niños con desórdenes de comportamiento (7 a 12 años)					x	Dos estudios de campo (n=15)
	AUMI (Oliveros et al., 2011)	Pantalla interactiva	Personas con discapacidades motoras					x	Uso en una clínica de rehabilitación
	SoundBeam (Ellis & Leeuwen, 2000)	Espacio interactivo	Niños con autismo (14 años)					x	Estudio piloto (n=1)
	Reactable (Villafuerte et al., 2012)	Mesa interactiva	Niños con autismo (5 a 11 años)					x	Estudio de sujeto simple (n=9)
CymaSense (McGowan et al., 2017)	Mesa interactiva	Adultos con autismo (18 a 28 años)					x	Estudio de sujeto simple (n=8)	
Apoyo a terapias sensoriomotrices	SensoryPaint (Ringland et al., 2014)	Pared interactiva	Niños con autismo (10 a 14 años)			x			Estudio de laboratorio (n=15); estudio entre-sujetos (n=4)
	MEDIATE (Parés et al., 2005)	Espacio interactivo	Niños con autismo			x			Exhibiciones (n=90)
	ambientes escolares (Bhattacharya et al., 2015)	Juego serio	Niños con autismo (8 a 19 años)				x		Evaluación formativa (n=18)
	FroggyBobby (Caro, Tentori, Martínez-García, & Alvelais, 2017)	Juego serio	Niños con autismo (7 a 10 años)				x		Estudio de despliegue (n=7)
Superficies deformables	Definición de gestos (Troiano et al., 2014)	Superficie elástica	Adultos (20 a 28 años)	x					Estudio de capacidad de adivinar (<i>guessability</i>) (n= 17)
	DepthTouch (Müller et al., 2015).	Superficie elástica	Público interesado en fuerzas gravitacionales	x					Exhibiciones
	NoiseBear (Grierson & Kiefer, 2013).	Superficie flexible	Niños con autismo		x				Evaluación formativa (n=4)
	Interfaces musicales (Troiano et al., 2015).	Superficies deformables	Músicos	x	x				Talleres y estudio de desempeño (n=9)
	Jamming System (Follmer et al., 2012).	Superficie elástica	Público en general	x					Escenarios de uso
	ElaScreen (Yun et al., 2013)	Superficie elástica	Público interesado en navegación de datos	x					Escenarios de uso
	Khronos (Cassinelli & Ishikawa, 2005)	Superficie elástica	Público en general	x					Estudio de desempeño

Capítulo 3. Diseño iterativo de una superficie elástica

En este capítulo se presenta el proceso de diseño que se siguió para el desarrollo de MúsicaFlexible. Se siguió una metodología iterativa centrada en el usuario (Holtzblatt, Wendell, & Wood, 2005). Se realizaron tres iteraciones para responder la pregunta de investigación [PI1] ¿Cuáles características de diseño debe tener una superficie elástica para apoyar una sesión de Neuro-MT? (Capítulo 1, Subsección 1.5). Durante las tres iteraciones se realizaron en total, 12 entrevistas semi-estructuradas¹⁰, diez sesiones de diseño¹¹ y 21.5 horas de observación¹² (Tabla 2).

3.1 Recolección de datos

Para cada iteración, primero se realizaron entrevistas semi-estructuradas con especialistas para entender el potencial contexto de uso de una superficie elástica. Posteriormente se observaron a niños con autismo severo¹³ en diferentes actividades en el centro psicopedagógico Pasitos A. C¹⁴ (Tabla 2).

Para fomentar que los especialistas participaran activamente en el proceso de diseño, se complementaron las entrevistas y observaciones con sesiones de diseño (Tabla 2). Durante las sesiones de diseño, se consideró a todos los participantes como socios iguales, y un experto en interacción humano-computadora (IHC) actuó como moderador de las sesiones. Durante las sesiones de diseño se realizaron lluvia de ideas para proponer ideas de diseño y prototipos de baja fidelidad. Enseguida, se fomentó la reflexión, mediante la discusión de ventajas y desventajas de cada prototipo propuesto (Wendell, Shelley, & Karen, 2004). Al final, se les pidió a los especialistas que eligieran un prototipo de entre todas las alternativas que habían propuesto durante las sesiones de diseño.

¹⁰ **Entrevista semi-estructurada:** entrevistas guiadas por un conjunto de temas previamente definidos, donde de acuerdo con las respuestas de los entrevistados, se pueden agregar preguntas o modificar el orden de los temas (McCracken, 1988).

¹¹ **Sesión de diseño participativa:** usuarios finales participaron activamente en el diseño (Holtzblatt et al., 2005).

¹² **Observación directa no participativa:** un investigador observa el comportamiento de los sujetos de estudio en un entorno dado (Mintzberg, 1970).

¹³ Por simplicidad de la lectura, se utilizará el término niño con autismo para referirse a los niños con autismo severo.

¹⁴ “Pasitos” www.pasitos.org es una escuela-clínica localizada en Tijuana, México, donde 18 terapeutas escolares atienden a cerca de 60 niños con autismo medio y severo.

Tabla 2 Detalles de la colección de datos y actividades realizadas para el diseño de MúsicaFlexible.

#	Actividad	Objetivo	Resultado	# participante y rol	
I	4 Entrevistas Semi-estructuradas	Identificar las actividades realizadas, los artefactos y la tecnología utilizada en 'Pasitos' durante las actividades actuales, el problema común que los niños con autismo enfrentan durante el día y el tipo de estímulo, incentivos y refuerzo utilizado durante la clase.	La comprensión de las prácticas cotidianas y los problemas que los niños enfrentan durante estas actividades	1 Terapeuta escolar (mujer) de Pasitos 2 Músicos (hombres) 1 Padre de un niño con autismo	
	15 Horas de observación pasiva	Observar las actividades actuales y los problemas comunes que los niños enfrentan en las clases de Pasitos y jugando en el patio de recreo.		8 Terapeutas escolares 30 Niños con autismo	
	4 Sesiones de diseño	Definir un conjunto preliminar de prototipos de baja fidelidad	Un conjunto de escenarios de diseño y prototipos de baja fidelidad.	2 Expertos en IHC	
		Discutir ventajas y desventajas de diferentes prototipos en superficies interactivas y elegir las mejores alternativas	Tres prototipos de baja fidelidad: uso de piso interactivo, mesa interactiva y superficie elástica Mejor alternativa: superficie elástica	1 Diseñador multimedia, 1 Experto en superficies interactivas, 3 expertos en IHC, 1 Músico	
		Observar interacciones de niños neurotípicos utilizando diferentes prototipos, entender sus preferencias y definir los gestos de interacción que son más apropiados en una superficie elástica	Un conjunto de movimientos que los niños pueden realizar en superficies elásticas	2 Niñas neuro-típicas, 4 expertos en IHC	
Discutir potenciales estímulos visuales que pudiera tener una superficies elásticas	Una visualización que pudiera ser integrada en una superficie elástica.	1 Psicóloga, 4 expertos en IHC			
II	3 Entrevistas Semi-estructuradas	Identificar el proceso realizado durante sesiones de terapia física, incluyendo actividades realizadas, artefactos y estrategias para el manejo y evaluación de casos clínicos. Determinar los problemas más comunes que enfrentan los niños con autismo durante una sesión de fisioterapia	Un entendimiento de las sesiones de terapia física y técnicas de desarrollo motriz usadas durante ejercicios para el control de movimientos.	1 Terapeuta físico (hombre) 1 Psicóloga 1 Neuropsicóloga	
	0.5 Horas de observación pasiva	Observar las interacciones de los niños con autismo utilizando MúsicaFlexible	Las reacciones iniciales de niños con autismo utilizando MúsicaFlexible	7 Niños con autismo utilizando MúsicaFlexible 1 Psicóloga	
	3 Sesiones de diseño	Discutir los movimientos apropiados que los niños con autismo pudieran realizar en una superficie elástica para apoyar el control de sus movimientos	Un conjunto de movimientos que los niños con autismo pueden realizar utilizando MúsicaFlexible	1 Fisioterapeuta 3 Expertos en IHC	
		Definir la secuencia de movimientos más apropiada para la regulación de fuerza y sincronización de movimientos.	La secuencia de movimientos para regulación de fuerza y sincronización de movimientos	1 Neuropsicóloga 2 Expertos en IHC	
III	5 Entrevistas Semi-estructuradas	Identificar las actividades realizadas, artefactos y tecnología utilizada durante sesiones de musicoterapia y actividades basadas en música. Entender las recompensas, guías, incentivos y ayudas que se utilizan durante sesiones de musicoterapia.	Entendimiento del proceso seguido durante sesiones de musicoterapia y las técnicas usadas durante sesiones de musicoterapia neurológica.	2 Musicoterapeutas. (Mujer-hombre) 2 Maestros de música (Mujer-hombre)	
	6 Horas de observación pasiva	Observar a niños con autismo durante clases de música en la clínica Pasitos		8 Niños con autismo 2 Maestras de música	
		Observar a niños con autismo durante sesiones de musicoterapia en la clínica Pasitos.		2 Niños con autismo 1 Musicoterapeuta	
		Observar a niños con autismo durante clases de danza en la clínica pasitos		10 Niños con autismo 2 Maestras de danza 2 Terapeutas escolares	
	3 Sesiones de diseño	Definir el arreglo de los elementos musicales en MúsicaFlexible.		La relación entre los movimientos y los elementos musicales.	2 Maestros de música 2 Expertos en IHC
		Discutir el arreglo entre los elementos visuales, los auditivos y la experiencia táctil de MúsicaFlexible		La relación entre los movimientos, elementos musicales y la visualización.	1 Musicoterapeuta 4 Expertos en IHC
Definir los niveles de MúsicaFlexible que integren los estímulos multi-sensoriales, la secuencia de movimientos y los elementos de las sesiones de Neuro-MT.		La dinámica del juego de MúsicaFlexible.	1 Diseñador multimedia 1 Psicólogo 5 Expertos en IHC		

3.2 Análisis de datos

Primeramente, se transcribieron todas las entrevistas y los reportes de observación. Para el análisis de los datos transcritos se incluyó el uso de técnicas cualitativas, tales como la codificación abierta y axial¹⁵ (Strauss et al., 2015). Posteriormente, se agruparon los códigos en un diagrama de afinidad¹⁶. Para realizar el análisis cualitativo, se utilizó el software Atlas.ti¹⁷.

Todos los datos que se obtuvieron durante las sesiones de diseño se analizaron utilizando técnicas de diseño contextual rápido (Wendell et al., 2004) y se materializaron en bocetos, guiones gráficos¹⁸(*storyboards*) (Holtzblatt & Beyer, 1993) y nuevas ideas de actividades potenciales para incorporar en los prototipos propuestos.

3.3 Resultados de las iteraciones

En esta sección se muestran los resultados de cada una de las tres iteraciones que se realizaron para diseñar el prototipo.

3.3.1 Iteración 1: Diseño de estímulos visuales

Los resultados cualitativos indican que las superficies elásticas son los prototipos preferidos por los niños y expertos debido a su experiencia de interacción innovadora. Los especialistas sugirieron incluir, como posibles temáticas visuales, conceptos usados comúnmente durante las actividades de desarrollo temprano, por ejemplo, la naturaleza, el espacio, los animales de la granja. Como resultado, los especialistas seleccionaron una temática del “espacio” como la visualización apropiada para esta población. La temática del espacio es neutral de género, robusta y apropiada para la edad de los niños (*i.e.*, de 4 a 8 años). También, los especialistas propusieron un conjunto de actividades libres o

¹⁵ **Codificación:** Extraer conceptos a partir de los datos crudos y etiquetarlos con palabras o ideas de acuerdo a la interpretación de los datos. La codificación abierta trata de identificar nuevos conceptos, e ideas de manera inductiva. La codificación axial identifica relaciones entre las categorías obtenidas en la codificación abierta (Strauss et al., 2015).

¹⁶ **Diagramas de afinidad:** método de categorización en el que se agrupan citas y conceptos en diversas categorías (Beyer & Karen, 1999).

¹⁷ <http://atlasti.com>, un software para apoyar investigación cualitativa.

¹⁸ **Guion de visualización:** conjunto de ilustraciones para conceptualizar una imagen general de la funcionalidad del producto (Holtzblatt & Beyer, 1993).

“abiertas” para imitar las actividades de improvisación que se realizan durante las sesiones de Neuro-MT. También se propusieron actividades estructuradas para imitar el papel de “acompañante” del musicoterapeuta durante las sesiones de Neuro-MT. Estos resultados son consistentes con otros reportados en la literatura, los cuales enfatizan que las actividades que motivan a los niños con autismo a largo plazo incluyen el tocar música de manera libre (Srinivasan & Bhat, 2013) e integrar actividades simples y complejas (Darrow, 2009).

Para las actividades de improvisación, los especialistas sugirieron incluir actividades similares a las de dibujar o colorear. Las superficies interactivas propuestas en la literatura han mostrado que la actividad de dibujar, siguiendo una interacción abierta, son apropiadas para los niños con autismo (Hourcade, Bullock-Rest, & Hansen, 2012; Parés et al., 2005; Ringland et al., 2014).

Para las actividades estructuradas, los especialistas sugirieron usar un avatar y estímulos visuales para proveer guía paso a paso a los niños con autismo. Los avatares y los soportes visuales son comúnmente utilizados como guías durante las terapias de niños con autismo; por lo que se han utilizado para diseñar actividades estructuradas (Hayes et al., 2010; Hopkins et al., 2011; Tartaro & Cassell, 2008). De manera preliminar, los especialistas propusieron usar el piano, como estímulo audible dado que es uno de los instrumentos musicales que se utilizan típicamente durante sesiones de Neuro-MT (Magee, 2006; Wigram, Pedersen, & Bonde, 2002). Particularmente, en el centro psicopedagógico Pasitos A. C, el piano se utiliza durante las actividades basadas en música.

Estos resultados guiaron el diseño y el desarrollo de la primera versión del prototipo de MúsicaFlexible (Ortega, Cibrian, & Tentori, 2015), una superficie elástica formada por una tela de licra (*spandex*) táctil e interactiva de $\sim 1.5 \text{ m}^3$ que permite a los niños con autismo crear sonidos y practicar movimientos motrices cuando tocan, golpean o pellizcan la tela. Esta primera versión apoya dos actividades abiertas y una estructurada. En la primera actividad “**actividad de descubrir**”, los niños deben borrar una capa oscura que cubre la animación de una nebulosa espacial (Figura 9-izquierda). En la segunda actividad, “**actividad deslizar**” los niños mueven o deslizan elementos espaciales (*i.e.*, estrellas, cohetes, planetas) que se proyectan de manera aleatoria sobre la tela. Los elementos visuales reproducen sonidos de notas de piano cuando los empujan o muevan (Figura 9-derecha). Finalmente, en la tercera actividad “**actividad de seguir al astronauta**”, un astronauta aparece y proporciona una guía a los niños para tocar una canción infantil al tocar las estrellas que titilan (Ortega et al., 2015).

Una de las desventajas que encontraron los especialistas en esta versión de MúsicaFlexible es que no provee una guía adecuada que imite intervenciones terapéuticas para el desarrollo motor, y no provee

retroalimentación sobre cómo necesitan los niños practicar movimientos motrices. Por estas razones, se realizó una segunda interacción para entender que actividades estructuradas se necesitan incorporar en MúsicaFlexible para apoyar el control motriz de niños con autismo.



Figura 9. Prototipo preliminar de MúsicaFlexible. Un participante jugando con la **actividad de descubrir** de MúsicaFlexible. El participante está tocando la tela para borrar la capa oscura de humo que cubre la nebulosa espacial (izquierda). Un participante juega con la **actividad de deslizar** moviendo una nave espacial para escuchar sonidos de piano (derecha).

3.3.2 Iteración 2. Diseño de la “rutina de ejercicios”




Como resultado de la segunda iteración, los especialistas seleccionaron un conjunto de movimientos que se realizan durante intervenciones motrices terapéuticas para niños con autismo, especialmente aquellos movimientos realizados en intervenciones enfocadas en la mejora de la sincronización y la auto-regulación de fuerza (Keele et al., 1987; Lundy-Ekman, Ivry, Keele, & Woollacott, 1991; R A Schmidt & Wrisberg, 2008).

Los especialistas concordaron que es importante enfocarse en un solo movimiento a la vez. Por lo que seleccionaron un conjunto de ejercicios para retar a los niños con autismo con variaciones del movimiento de empuje. Los especialistas propusieron una “rutina de ejercicio” compuesta por tres retos al empujar la tela: primero, los niños deberán empujar la tela usando su mano izquierda, segundo, usando su mano derecha, y tercero, deberán alternar sus manos (Tabla 3). De esta manera, los niños practicarán patrones de movimientos que apoyen la coordinación bi-manual (Brakke, Fragaszy, Simpson, Hoy, & Cummins-Sebree, 2007; Fagard & Wolff, 1991). Además de practicar esta “rutina de ejercicio”, los especialistas sugirieron ajustar la cantidad de fuerza que los niños utilizan al empujar la tela. Ellos propusieron actividades que permitan a los niños usar mucha o poca fuerza a diferentes velocidades. Estos niveles durante intervenciones terapéuticas que incluyen variaciones en fuerza durante ejercicios

de coordinación bi-manual han mostrado resultados clínicos prometedores (Brakke et al., 2007; Fagard & Wolff, 1991).

Finalmente, para motivar a los niños a utilizar la cantidad apropiada de fuerza, los especialistas propusieron que el objetivo del juego sea catapultar un cohete para que aterrice de manera segura en un planeta. El cohete aparece al lado derecho o al lado izquierdo de la tela de acuerdo a la mano que el niño deba usar para empujar el cohete y catapultarlo (Tabla 3, columna Ejemplo).

Tabla 3. Conjunto de movimientos propuestos durante las sesiones de diseño participativas que se incluyeron en MúsicaFlexible.

Ejercicios de coordinación motriz	Movimiento	Variación de fuerza	Variación de velocidad	Ejemplo
Movimiento dirigido uni-manual	Empujar con la mano izquierda	Libre Fuerte Suave	Libre Ritmo lento Ritmo rápido	
Movimiento dirigido uni-manual	Empujar con la mano derecha	Libre Fuerte Suave	Libre Ritmo lento Ritmo rápido	
Ejercicios de coordinación bi-manual asíncronos.	Empujar con las manos alternadas	Libre Fuerte Suave	Libre Ritmo lento Ritmo rápido	

Durante el juego, el niño deberá utilizar diferentes variaciones de fuerza. De manera particular, los especialistas propusieron incluir las siguientes actividades terapéuticas (Cibrian, Pena, Vazquez, Cardenas, & Tentori, 2016):

- **Empujar de manera libre:** los niños deberán empujar el cohete para catapultar su vuelo hacia un planeta (Figura 10-izquierda). La distancia del vuelo será determinada por la cantidad de

fuerza que el niño use cuando empuja la tela. El objetivo de esta actividad es enseñarle al niño como seguir la “rutina de ejercicio” para la coordinación bi-manual (Brakke et al., 2007).

- **Regulación de fuerza:** la cantidad de fuerza que los niños usen cuando empujen la tela deberá catapultar el vuelo del cohete para “cachar” un conjunto de elementos del espacio (*e.g.*, estrellas) que estarán cerca o lejos del cohete (Figura 10-centro y derecha). Los niños deberán utilizar la suficiente fuerza para atrapar todos los elementos, pero no demasiada para evitar saltarlos. Esta actividad permitirá a los niños practicar variaciones de fuerza que beneficien la auto-regulación de fuerza (Keele et al., 1987; Lundy-Ekman et al., 1991; R A Schmidt & Wrisberg, 2008).

En ambas actividades, los niños deberán completar una cantidad de repeticiones que el terapeuta debe especificar y cada vuelo del cohete contará como una repetición. Por ejemplo, si el terapeuta quiere que el niño realice cinco veces el movimiento de empuje, entonces, el niño deberá empujar el cohete cinco veces con la mano izquierda, cinco con la mano derecha y cinco de manera alternada.

Aunque estas dos actividades siguen los objetivos de una terapia motriz para el control de fuerza y la sincronización de movimientos, los especialistas explicaron que necesitan más guía. Por esta razón, sugirieron complementar la experiencia visual y táctil con elementos musicales (*e.g.*, ritmo, intensidad, tonalidad). Esto es consistente con resultados previos de la literatura en cuanto a los beneficios de utilizar música y sonidos para proporcionar una guía apropiada de los movimientos (Keele et al., 1987; Lundy-Ekman et al., 1991; R A Schmidt & Wrisberg, 2008). Entonces, se realizó una iteración más para re-diseñar la experiencia auditiva de MúsicaFlexible.



Figura 10. Capturas de pantalla de las actividades disponibles en MúsicaFlexible. Un cohete muestra donde empujar para recolectar una nota con y sin ritmo de fondo (empujar de manera libre y ritmo; izquierda). Un cohete mostrando donde empujar fuerte para recolectar un conjunto de notas y llegar a un planeta que se encuentra lejos (centro). Un cohete mostrando donde empujar suave para recolectar un conjunto de notas y llegar al planeta que se encuentra cerca (regulación de fuerza; derecha).

3.3.3 Iteración 3. Diseño de estímulos auditivos

Los especialistas estuvieron de acuerdo que MúsicaFlexible debería controlar los elementos musicales de acuerdo con las interacciones de los niños al utilizar la tela. Los elementos musicales enfatizan los patrones motrices y motivan a los niños durante el proceso terapéutico (Srinivasan & Bhat, 2013; Michael H. Thaut & Volker, 2014). Los elementos musicales se organizaron de la siguiente manera (Figura 11):

- **Tonos:** los especialistas estuvieron de acuerdo que los sonidos se deben ordenar de graves a agudos, en el eje vertical y de manera ascendente. Este arreglo de tonos ofrece a los niños conciencia sobre la dirección del movimiento, dado que, la correspondencia más común con la tonalidad ascendente son movimientos de abajo hacia arriba (Berger, 2002; Salgado-Montejo et al., 2016; Spence, 2011). Por ejemplo, si el niño toca la parte inferior de la tela y se desliza hacia la parte superior escuchará primero la nota do (más grave), seguida de las notas re, mi, fa, sol, y así sucesivamente hasta llegar a la nota más aguda (*e.g.*, do más agudo, ver Figura 11, pentagrama). Los especialistas sugirieron que las notas seleccionadas deberían ser de una canción de acuerdo a las preferencias del niño. El arreglo de las notas determinará la posición vertical del cohete que el niño tiene que empujar. Entonces, los niños usarán su fuerza para catapultar el cohete y obtener una nota musical representada por un elemento visual del espacio. Cuando el cohete llegue al elemento, el niño escuchará la nota o un conjunto de notas que el cohete vaya atrapando.
- **Dinámica (intensidad o volumen):** los especialistas decidieron modificar el volumen del sonido de acuerdo con la cantidad de fuerza utilizada al empujar la tela. Por ejemplo, cuando se toque con suavidad, el volumen será menor que cuando se toque con mucha fuerza. La dinámica debe ser similar al nivel de energía (Berger, 2002) para proporcionar la correspondencia entre el sonido y la cantidad de fuerza que se usa para empujar la tela (Spence, 2011).
- **Ritmo:** los especialistas decidieron controlar el tiempo de la música utilizando un “pulso musical” o ritmo que se tocará como sonido de fondo (“**Seguimiento de ritmo**”, Figura 10-izquierda). Este “pulso musical” servirá como una pista a los niños para indicar la velocidad de la música, permitiendo a los niños tocar la canción de acuerdo al tiempo. Sin embargo, no se deberá penalizar a los niños cuando no toquen la tela siguiendo el ritmo de la canción. El “pulso musical” tocado como sonido de fondo pudiera mejorar la sincronización de movimientos de niños con autismo (Hardy & Lagasse, 2013; Repp & Su, 2013) y potencialmente ayudarlos en la

sincronización de sus movimientos (Keele et al., 1987; Lundy-Ekman et al., 1991; R A Schmidt & Wrisberg, 2008).

- **Timbre:** dado que el timbre es uno de los factores más difíciles de procesar para las personas con problemas de integración sensorial (Berger, 2002), los especialistas decidieron que se debería personalizar el instrumento musical de acuerdo a las preferencias del niño. Los instrumentos que los terapeutas seleccionaron incluyen los instrumentos musicales disponibles en sintetizadores de música.

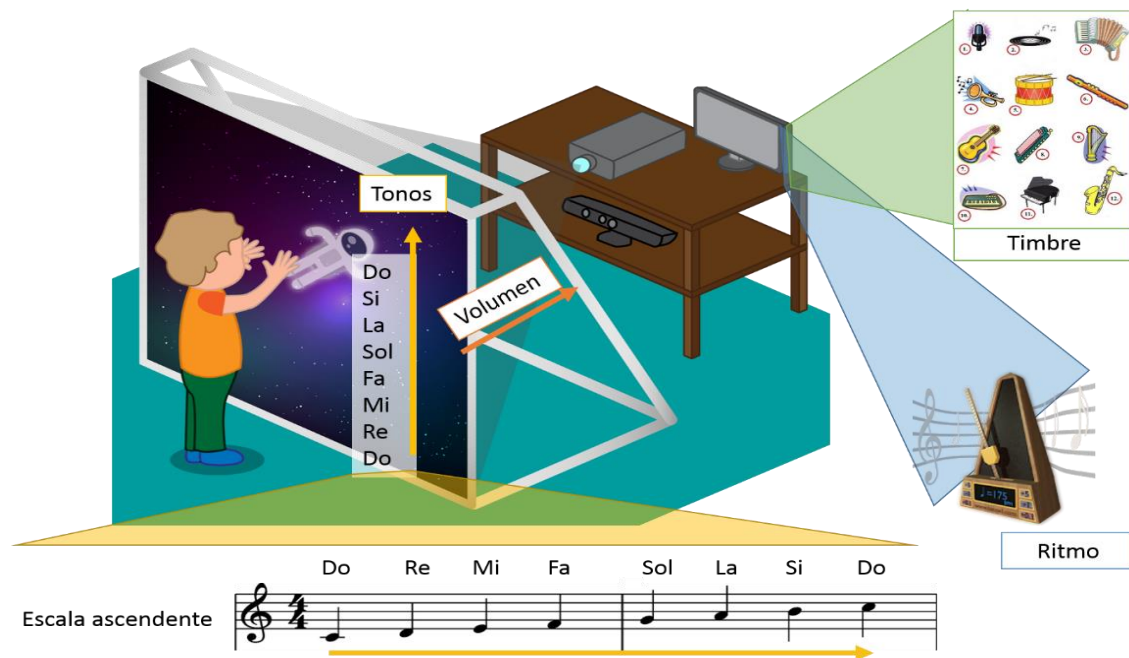


Figura 11. El arreglo de elementos musicales en MúsicaFlexible: La tonalidad es representada por las notas musicales organizadas de manera ascendente; la dinámica del sonido es representada con el volumen y varía de acuerdo a la cantidad de fuerza; el timbre es representado con los sonidos de instrumentos musicales; para el ritmo se utiliza un pulso musical como sonido de fondo.

3.4 Dinámica de los “juegos terapéuticos” MúsicaFlexible

El objetivo de MúsicaFlexible es que los niños con autismo usen su fuerza para catapultar el vuelo de un cohete espacial y ayudarlo a aterrizar en un planeta. Durante su viaje, el cohete irá coleccionando notas de una canción infantil que el terapeuta selecciona previamente. El prototipo de MúsicaFlexible cuenta con las siguientes actividades (Figura 12):

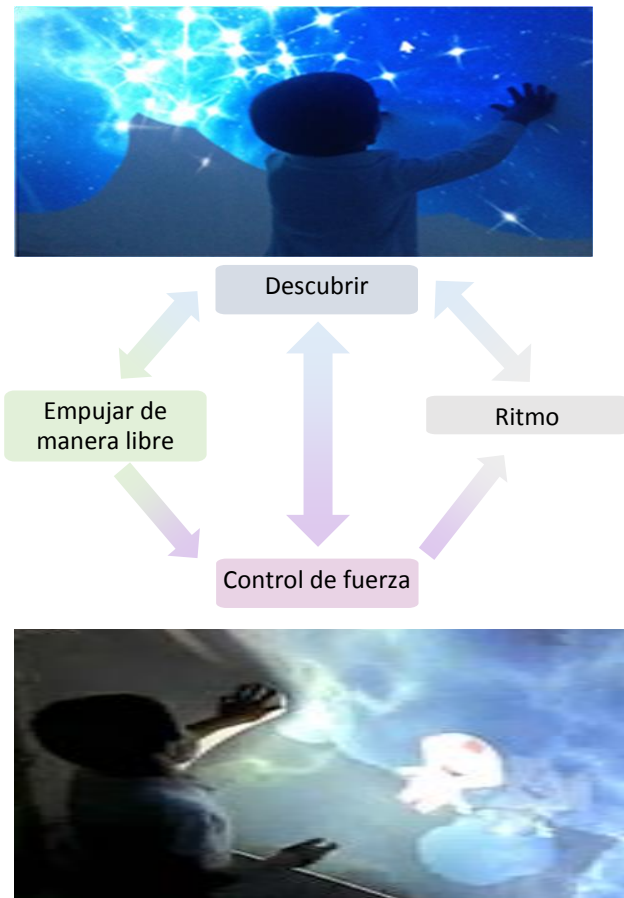


Figura 12. Niño con autismo realizando la actividad de descubrir (arriba), dinámica recomendada para realizar las actividades de MúsicaFlexible, el flujo de las flechas indica el orden de las actividades (centro). Niño con autismo empujando la tela para realizar la rutina de ejercicio (abajo).

- **Actividad 1. Descubrir:** el objetivo de esta actividad es que el niño descubra los estímulos visuales y auditivos con los que va a interactuar, y explore diferentes maneras de usar MúsicaFlexible. El niño debe interactuar de manera libre borrando una capa oscura que cubre una nebulosa espacial (Figura 12-arriba). Cada que el niño empuje, jale o toque la tela, se descubrirá en esa ubicación una parte de la nebulosa y se escuchará la nota musical correspondiente a dicha ubicación.
- **Actividad 2. Empujar de manera libre:** el objetivo de esta actividad es catapultar el vuelo de un cohete para atrapar notas musicales de una canción de cuna siguiendo la rutina de ejercicio de coordinación motriz (ver Sección 3.3.2). El cohete aparece al lado izquierdo de la tela y el niño lo debe empujar para catapultar su vuelo. Mientras el cohete va volando, recolecta notas musicales de una canción infantil. El niño deberá completar un cierto número de repeticiones usando su mano izquierda. Posteriormente, el cohete se moverá a la derecha y el niño deberá completar la misma cantidad de repeticiones usando su mano derecha. Finalmente, el niño

deberá alternar sus manos y el cohete se moverá de izquierda a derecha cuando sea apropiado (Figura 12-abajo).

- **Actividad 3. Control de fuerza:** el objetivo de esta actividad es que el niño aprenda a diferenciar entre empujar fuerte y empujar suave para ir regulando su fuerza. El niño deberá empujar fuertemente la tela para ayudar al cohete a llegar al planeta más alejado mientras recolecta un conjunto de notas de la canción infantil. Como en la actividad de empujar de manera libre, el niño deberá primero usar su mano izquierda, después su mano derecha y finalmente las manos alternadas. Posteriormente, el niño deberá seguir la rutina de ejercicio empujando el cohete de manera suave para alcanzar el planeta más cercano.
- **Actividad 4. Ritmo:** el objetivo de esta actividad es ayudarle al niño a sincronizar sus movimientos con un estímulo auditivo. Un ritmo sonará como música de fondo y el niño deberá tocar el cohete siguiendo el ritmo de la música para tocar la canción (Figura 12-abajo). El niño deberá de seguir la misma rutina de ejercicio que la actividad de empujar de manera libre.

3.4.1 Escenario de uso

Para ejemplificar como se utiliza MúsicaFlexible en la práctica se presenta un escenario de uso:

Oscar es un niño de 6 años con autismo severo que exhibe problemas motrices. Oscar tiene dificultades cuando controla su fuerza. Hoy, Oscar va a ir a jugar con MúsicaFlexible. Su terapeuta Melisa selecciona la marimba como instrumento musical, la canción de “estrellita”, y la actividad de control fuerza. Oscar empuja y desliza con sus manos la tela para borrar la “capa oscura” que cubre la nebulosa espacial. Cuando Oscar descubre la nebulosa espacial, un cohete aparece y la terapeuta Melisa le dice a Oscar: “Oscar, por favor empuja muy fuerte la tela con tu mano izquierda”. Entonces Oscar toca la tela muy suave y el cohete vuela lentamente y sólo recolecta una estrella y una nota de la canción. Entonces el cohete aparece de nuevo, del mismo lado, y Oscar empuja más fuerte, entonces el cohete recolecta cuatro estrellas. Oscar escucha las notas de la canción y descubre que es la canción de “estrellita”. Oscar sonríe. La terapeuta Melisa felicita a Oscar diciéndole “¡Buen trabajo Oscar!”. Cuando Oscar termina la rutina de ejercicio, la terapeuta Melisa activa la última actividad para permitirle a Oscar jugar de manera libre con la música y con las notas que descubrió mientras jugaba con MúsicaFlexible.

3.5 Consideraciones de diseño

A partir de los resultados que se obtuvieron durante las iteraciones, se identificaron un conjunto de consideraciones de diseño para el desarrollo de superficies elásticas que apoyen el control de fuerza y la sincronización de movimientos durante las sesiones de Neuro-MT para niños con autismo.

3.5.1 Proveer una experiencia sensorial congruente

El uso de estímulos multi-sensoriales para proporcionar a los niños con autismo retroalimentación apropiada cuando manipulan una superficie elástica puede permitir una experiencia sensorial congruente y comprensible. Sin embargo, crear esa “representación”, principalmente de la parte táctil no es una tarea fácil, especialmente cuando el diseño tiene como objetivo apoyar a poblaciones vulnerables con desórdenes sensoriales como los presentados por niños con autismo.

En MúsicaFlexible, se decidió usar una tela elástica como superficie para aprovechar la experiencia táctil que tiene la propia tela. La tela elástica proporciona mayor retroalimentación a los niños sobre las cualidades de sus movimientos, es decir, cuando los niños empujan la tela, la propia resistencia que la tela ejerce sobre el movimiento sirve como retroalimentación táctil de la presión que se le está aplicando. Como resultado, los niños con autismo pueden interactuar de diferentes maneras con la información digital. Por ejemplo, pueden utilizar diferentes niveles de presión para empujar, jalar, o estirar elementos digitales que aparecen en la pantalla. Esto les permitiría descubrir que las “pantallas de computadora” pueden ser suaves y deformables. Este tipo de interacciones son, la mayor parte del tiempo, difíciles de explorar en superficies rígidas. En MúsicaFlexible, los usuarios pueden sentir de manera inmediata la cantidad de presión que están usando cuando tocan la tela, incluso si usan diferentes partes del cuerpo.

Se recomienda que una superficie elástica organice los estímulos multi-sensoriales de manera congruente para facilitar el procesamiento sensorial y el control de movimientos en niños con autismo. La manera en que los niños tocan, empujan o manipulan la superficie elástica debe modificar los estímulos visuales y auditivos para brindar a los niños con autismo un mayor sentido de control de sus interacciones (i.e., ayudar a entender a los niños que sus movimientos e interacciones en la superficie producen un efecto o una reacción congruente de los estímulos sensoriales). Esta conciencia de que los movimientos propios son los que están provocando una reacción, sirven para el control de movimientos

(Moore & Fletcher, 2012), y facilitan el procesamiento sensorial y la respuesta motriz (Longo & Haggard, 2009).

3.5.2 Balancear independencia del niño con autismo con guías del terapeuta

La mayoría de las intervenciones terapéuticas para niños con autismo son intervenciones conductuales o intervenciones para el desarrollo temprano (Ospina et al., 2008). Las intervenciones conductuales son altamente estructuradas y siguen procedimientos de ensayos discretos fuertemente guiados por el terapeuta. Por ejemplo, para mejorar el desarrollo motriz, un mismo movimiento tiene que practicarse de manera repetida (Richard A. Schmidt, 1988). En contraste, las intervenciones para el desarrollo temprano son más pragmáticas y permiten que la intervención sea guiada por los intereses del niño, por lo que el terapeuta tiene que lograr los objetivos de la terapia utilizando los intereses del niño (Ospina et al., 2008). Por ejemplo, durante una sesión de Neuro-MT se le permite al niño explorar de manera libre como puede tocar un instrumento musical, y el terapeuta lo puede acompañar utilizando otro instrumento. Ambos paradigmas comparten características en común, por ejemplo, ambos siguen una progresión sistemática enfocadas a cumplir metas. El éxito de cualquier enfoque dependerá de las necesidades y preferencias de cada niño, así como también, de la experiencia que tengan los terapeutas de equilibrar ambos paradigmas.

En MúsicaFlexible se combinan tanto actividades abiertas, como estructuradas. Esto con el objetivo de permitir a los niños con autismo ser independientes, pero al mismo tiempo, permitir al terapeuta dar una guía al niño cuando se considere necesario. Las actividades abiertas disponibles en MúsicaFlexible imitan las técnicas de improvisación usadas durante las sesiones de Neuro-MT. Por ejemplo, en la actividad de descubrir de MúsicaFlexible, los niños pueden colorear la capa oscura que cubre la nebulosa interactuando de acuerdo a sus intereses. En contraste, para promover la repetición de movimientos, es necesario proveer más guía a los pacientes de cómo realizar el movimiento y recompensarlos cuando el movimiento se realice correctamente. Por ejemplo, en MúsicaFlexible, la posición del cohete invita a los pacientes a usar su mano izquierda, derecha o alternarlas para catapultar el cohete y como recompensa recolectan notas musicales.

Se recomienda que una superficie elástica combine actividades abiertas con estructuradas, y los estímulos sensoriales estén ordenados de acuerdo a las actividades. Es decir, las superficies elásticas deben incorporar una dinámica del juego que les permita a los niños con autismo: (1) explorar de

manera libre como pueden utilizar la superficie, y (2) les proporcione recompensas y ayudas similares a las que los terapeutas utilizan para guiar y motivar a los pacientes a repetir los movimientos. La repetición de movimientos es necesaria para mejorar la trayectoria y el control de movimientos (Büitefisch, Hummelsheim, Denzler, & Mauritz, 1995; Sterr, Freivogel, & Voss, 2002). Tener una dinámica apropiada pudiera ayudar a los niños con autismo a descubrir nuevas características en la superficie y resolver retos dirigidos a mejorar sus habilidades.

3.5.3 Promover una interacción natural con interacciones sencillas

Una de las maneras más populares para interactuar con computadores es utilizando como dispositivos de entrada un ratón y un teclado; sin embargo, estos dispositivos pudieran inhibir las habilidades de interacción natural (Malizia & Bellucci, 2012). A pesar de que el ratón fue un dispositivo que revolucionó y cambió el uso de las computadoras, no es una interfaz “natural”. Los usuarios tienen que aprender cómo controlar un ratón, y esto pudiera ser difícil, especialmente para los niños, adultos mayores, y otras personas con discapacidad. Las interfaces naturales tratan de imitar como los usuarios interactúan en el mundo real (Malizia & Bellucci, 2012).

En nuestro caso, MúsicaFlexible es una superficie elástica, que agrega una dimensión extra y permite a los niños con autismo explorar gestos en tres dimensiones, al variar la cantidad de presión usada cuando tocan la superficie (Müller et al., 2015). Este modelo de interacción invita a los niños con autismo a agarrar, empujar, o doblar la superficie de una manera más natural que utilizando superficies rígidas (*e.g.*, tabletas, celulares táctiles). El modelo de interacción tiene una doble funcionalidad, es tanto atractivo, como apropiado para el desarrollo motriz. De esta manera los niños con autismo pudieran obtener beneficios terapéuticos mientras se divierten.

Se recomienda que las superficies elásticas aprovechen las tres dimensiones de interacción para proporcionar una interacción natural que permita una mayor eficiencia en las prácticas terapéuticas (Shams & Seitz, 2008). Esta interacción debe integrar de manera natural, personalizada y gentil los estímulos multisensoriales (Kientz et al., 2013; Parés et al., 2005; Ringland et al., 2014), permitiendo a los niños con autismo adquirir de manera exitosa diferentes habilidades (Parés et al., 2005; Ringland et al., 2014).

3.6 Resumen y conclusiones

En este capítulo se presenta el proceso de diseño centrado en el usuario que se siguió durante el diseño de MúsicaFlexible. El proceso consistió en tres iteraciones.

Para cada iteración se realizaron entrevistas semi-estructuradas a expertos, observaciones no participativas de niños con autismo en diferentes actividades basadas en música y sesiones de diseño participativas. En la primera iteración se definieron los estímulos visuales y tecnología a utilizar. Como resultado de la primera iteración, los especialistas propusieron utilizar una tela de licra como pantalla, donde se proyectarán visualizaciones del espacio, y se combinara actividades abiertas y orientadas a objetivos. En esta iteración se diseñó la primera versión de MúsicaFlexible.

Con el objetivo de diseñar la experiencia táctil y la rutina apropiada de ejercicios, se realizaron entrevistas, observación y sesiones de diseño con neuropsicólogos y fisioterapeutas. Como resultado, los especialistas propusieron seguir una dinámica del juego que consiste en catapultar un cohete que obtiene notas de una canción. El cohete se coloca del lado izquierdo o derecho de acuerdo a la rutina de ejercicio y se puede empujar utilizando diferentes variaciones de fuerza, es decir, empujar fuerte o suave.

Con el objetivo de mejorar la experiencia musical, se realizaron entrevistas, observaciones y sesiones de diseño con especialistas en música y musicoterapia. Como resultado, los especialistas propusieron que los elementos musicales deberían controlarse de acuerdo a la interacción con la superficie elástica. Las notas musicales se ordenarían de manera ascendente y se controlarían de acuerdo a la ubicación donde se esté tocando la superficie; y el volumen se controlaría de acuerdo con la profundidad con que se esté empujando la superficie. También se sugirió agregar un ritmo de fondo que ayude en la sincronización de movimientos y a utilizar diferentes instrumentos musicales predefinidos para cada niño.

Como resultados de las iteraciones se diseñó la dinámica de juego de MúsicaFlexible. MúsicaFlexible contiene cuatro actividades combinando dinámicas abiertas y estructuradas que se siguen durante las terapias de improvisación Neuro-MT y para el control de movimientos. Para utilizar MúsicaFlexible, los usuarios tienen que practicar diferentes niveles de fuerza y sincronizar sus movimientos para empujar una tela de licra. Además, en este proceso iterativo se encontró que una superficie elástica debe de: (1) proveer una experiencia sensorial congruente, es decir, lo que el niño ve, siente y escucha debe estar relacionado; (2) tener un balance entre actividades abiertas, y estructuradas; (3) Proveer una interacción sencilla y natural.

Capítulo 4. Implementación de MúsicaFlexible

En este capítulo se presentan el prototipo final de MúsicaFlexible, una superficie elástica formada por una tela de licra (*spandex*), táctil e interactiva de $\sim 1.5\text{m}^3$ que permite a los niños con autismo crear sonidos y practicar movimientos motrices cuando tocan, golpean o pellizcan la tela. Tiene un fondo en 3D de color neón oscuro con una animación de nebulosas y elementos espaciales traslúcidos como cohetes o planetas. Cuenta con un conjunto de actividades o “juegos terapéuticos” para promover el desarrollo motriz con actividades abiertas y retos de variación de fuerza y ritmo.

En este capítulo se presenta la configuración física, arquitectura y el cálculo de características de los gestos que se pueden realizar en MúsicaFlexible.

4.1 Configuración física

MúsicaFlexible es una superficie elástica, formada por una tela de licra (*spandex*), táctil e interactiva de $\sim 1.5\text{m}^3$, que consta de un marco de PVC ensamblado de manera similar a una portería de fútbol. El marco sostiene una tela de licra de 1.5 x 2.3 m. Detrás de la tela, a 0.5 metros de distancia y a nivel del piso, se coloca un proyector NEC de distancia de proyección ultra corta (Figura 13). Esta configuración nos da un tamaño de proyección de 1.4 x 1.4 m de imagen. A 1.78 m de distancia detrás de la tela y a 0.98 m. de altura se coloca un sensor Kinect para Xbox 360. El sensor Kinect debe abarcar por completo la proyección. Ambos están conectados a una computadora con Windows 8, procesador i7, y 1T de disco duro y 16G de RAM.

4.2 Implementación de MúsicaFlexible.

Para la implementación del prototipo se siguió una metodología para el desarrollo de software iterativo e incremental (Fowler, 2003), donde en cada iteración se llevó a cabo un proceso de análisis, diseño, desarrollo y pruebas antes de integrarlo con la iteración anterior. Durante las etapas de análisis y diseño se analizaron los requerimientos de cada elemento de las actividades. En el desarrollo se implementaron la lógica de las actividades, visualizaciones y sonidos. Finalmente se realizaron pruebas de funcionalidad a cada componente previo al inicio de la siguiente iteración.

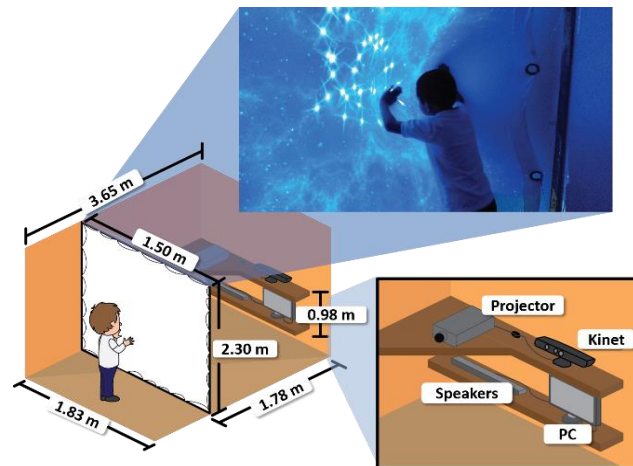


Figura 13. Una representación del cuarto de MúsicaFlexible mostrando la instalación del hardware y software.

4.2.1 Arquitectura de MúsicaFlexible

MúsicaFlexible está formado por un sensor de profundidad Kinect para Xbox 360 o para Windows¹⁹, una computadora, un proyector y unas bocinas (Figura 14). El sensor Kinect se utiliza como dispositivo de entrada para inferir donde el usuario está tocando la tela *-i.e.*, con el Kinect se detectan los cambios de profundidad causados por la deformación de la tela. La computadora procesa los datos de entrada del Kinect, almacena los datos de la interacción, y valida la dinámica del juego. Para desplegar la imagen de salida sobre la tela se utiliza un proyector. Para los efectos de sonido se utilizó un reproductor de audio (ver más detalles en Anexo 1).

4.2.2 Cálculo de características de los gestos de interacción

Se registraron todas las interacciones del usuario con la tela. Cada dato en el registro es la ubicación de un movimiento de empuje en un tiempo t :

$$\vec{r}_t = x_t \hat{i} + y_t \hat{j} + z_t \hat{k}$$

Donde, x_t , y_t , z_t , son el tamaño de la ubicación de un movimiento en un tiempo t , en cada dirección; mientras que \hat{i} , \hat{j} , \hat{k} son los vectores unitarios en la dirección de cada eje. Cada registro se almacena 60 veces por segundo.

¹⁹ <https://support.xbox.com/es-MX/xbox-on-windows/accessories/kinect-for-windows-info>

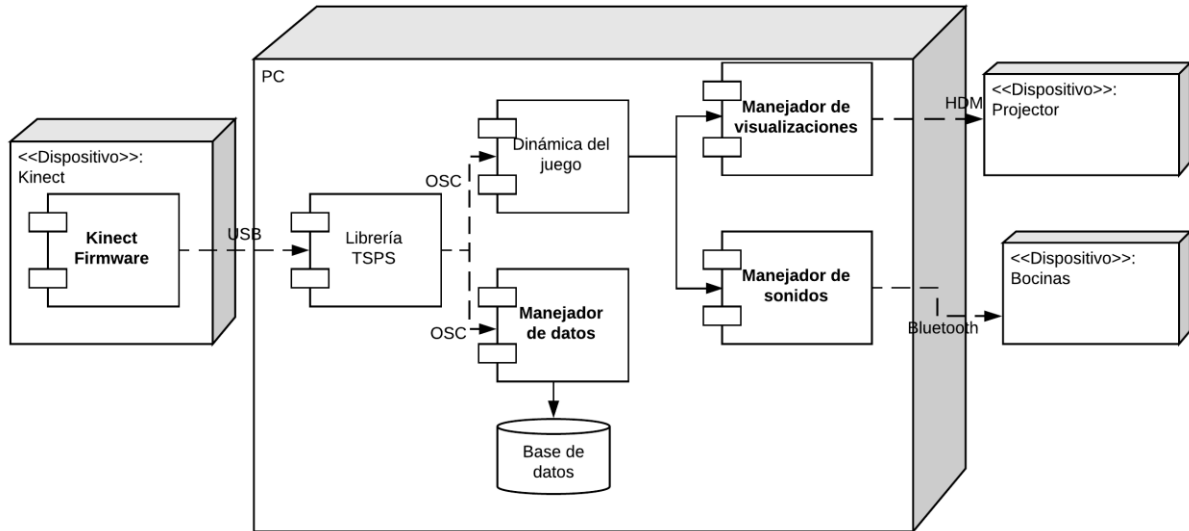


Figura 14. Diagrama de emplazamiento de MúsicaFlexible mostrando los componentes de software y el hardware del Sistema.

En la Tabla 4 se puede ver un ejemplo de un dato de entrada. Primero, se calcula el punto de inicio y se almacena la ubicación y el tiempo donde el niño empezó a tocar la tela (Tabla 4, columna Posición inicial). Posteriormente se almacena la trayectoria hasta llegar a una profundidad máxima (Tabla 4, columna Profundidad máxima). Finalmente se almacena la trayectoria de la profundidad máxima hasta el punto final (Tabla 4, columna Posición Final). De manera simultánea se almacenan todos los eventos que ocurren en MúsicaFlexible.

Para analizar los registros, se calculan un conjunto de características para cada movimiento de empuje que se captura por el sensor Kinect (Tabla 5). Estas características se seleccionaron por que los niños con autismo presentan mayor variabilidad en su respuesta entre intervalo, y en la fuerza reacción de manera anticipada o retrasada cuando responden a un estímulo (Piek & Skinner, 1999).

Tabla 4. Ejemplo de la representación real y gráfica de un movimiento de empuje.




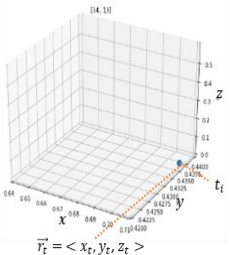
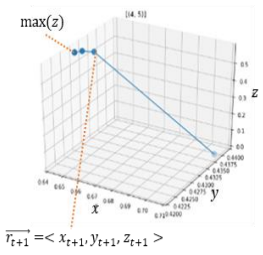
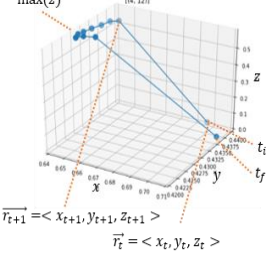
	Posición inicial	Profundidad máxima	Posición final
Niño realizando el movimiento			
Representación gráfica de los datos almacenados en BendableSound	 <p>$\vec{r}_i = \langle x_i, y_i, z_i \rangle$</p>	 <p>$\vec{r}_{t+1} = \langle x_{t+1}, y_{t+1}, z_{t+1} \rangle$</p>	 <p>$\vec{r}_{t+1} = \langle x_{t+1}, y_{t+1}, z_{t+1} \rangle$ $\vec{r}_t = \langle x_t, y_t, z_t \rangle$</p>

Tabla 5. Características de fuerza y sincronización de movimientos calculadas por cada movimiento realizado en MúsicaFlexible.

Nombre	Descripción	Fórmula	Variables
Respuesta entre- intervalos (RE)	La RE es la diferencia de tiempo entre dos movimientos de empuje consecutivos. El RE es mejor cuando el resultado es más cercano al intervalo del tiempo del ritmo.	$RE = t_i - t_{i-1}$	t_i es el tiempo inicial de el movimiento de empuje actual. t_{i-1} es el tiempo inicial del movimiento de empuje anterior.
Tiempo de reacción (TR)	El TR es el tiempo que le toma al usuario tocar la tela después de haber escuchado un tono audible.	$TR = t_i - t_{antBS}$	t_{antBS} es el tiempo inicial del tono audible anterior a t_i
Distancia (d)	La distancia es la estimación de la longitud de la trayectoria dibujada en el espacio de un movimiento de empuje. Dado que la librería TSPS 1.3.7 obtiene las medidas en un rango entre [0,1], para calcular la distancia por eje, los valores se normalizaron a las magnitudes básicas del movimiento, en nuestro caso metros (sistema de referencia). Entonces, el desplazamiento de un movimiento de empuje de un tiempo t a un tiempo $t + 1$ será $\vec{r}_{t+1} = \langle x_{t+1}, y_{t+1}, z_{t+1} \rangle$.	$d = \sum_{t=1}^{N-1} \sqrt{(x_{t+1} - x_t)^2 + (y_{t+1} - y_t)^2 + (z_{t+1} - z_t)^2}$	x_t, y_t, z_t el tamaño de la ubicación de un movimiento de empuje en un tiempo t
Velocidad (\vec{v})	Para estimar la velocidad, se calcula la distancia entre el tiempo que le toma al usuario realizar el movimiento.	$ \vec{v} = \frac{d}{t_f - t_i}$	t_f es el tiempo final is the final time of the current push movement
Aceleración (\vec{a})	Para la aceleración promedio se calcula el cambio de velocidad que hubo en un movimiento de empuje durante el tiempo que tomó realizar el movimiento.	$ \vec{a} = \frac{ \vec{v} }{t_f - t_i}$	
Masa	Para estimar la masa que se necesita para empujar la tela se realizaron los siguientes pasos: (1). se usó un dinamómetro para jalar la tela elástica en diferentes puntos (i.e., cerca de los bordes de la tela, en el centro). (2) se estimó la relación entre la cantidad de masa dada por el dinamómetro y la profundidad del movimiento de empuje. (3) Se infiere que tanta masa es necesaria para llegar a la máxima profundidad del movimiento de empuje ($max(z)$)	$masa = max(z) * kg$	$max(z)$ es la profundidad máxima obtenida en el movimiento de empuje. kg representa la proporción de kilogramos necesarios para empujar la tela hasta la profundidad de $max(z)$.
Fuerza (f)	Para tener la estimación de la fuerza usada al empujar la tela , se calculó la aceleración a de un movimiento de empuje multiplicando la masa para llegar a la profundidad máxima.	$f = mass * \vec{a} $	

4.3 Resumen y conclusiones

En este capítulo se presentó la configuración física, la arquitectura de software y el cálculo de características de los gestos de interacción. Para obtener los datos de entrada, se utiliza un sensor Kinect para inferir donde el usuario está tocando. Posteriormente estos datos se procesan en una computadora utilizando la librería TSPS y una aplicación programada en Processing. Esta aplicación se encarga de obtener los datos y actualizar la dinámica del juego, *i.e.*, determinar los efectos visuales y de sonido que aparecerán en MúsicaFlexible dada la interacción del usuario.

Todos los gestos de interacción se almacenan y se procesan para obtener características de los movimientos. Estas características permiten entender como es el control de fuerza y la sincronización de movimientos del niño mientras utiliza la tela.

Capítulo 5. Fase de experimentación 1: evaluación formativa

En este capítulo se presenta la evaluación formativa²⁰ del prototipo MúsicaFlexible. La evaluación se llevó a cabo en el centro psicopedagógico Pasitos A. C., y tiene como objetivo responder la pregunta de investigación [PI2] ¿Qué beneficios terapéuticos puede promover una superficie elástica en niños con autismo? (ver Capítulo 1, Subsección 1.5).

De manera particular, la evaluación tuvo como objetivos:

[OBJ 1] Entender la percepción de los usuarios potenciales en relación al diseño de MúsicaFlexible

[OBJ 2] Evaluar la experiencia de uso e interacción de los niños con autismo con una superficie elástica

[OBJ 3] Determinar el potencial terapéutico que MúsicaFlexible pudiera ofrecer en comparación de un piano de juguete comúnmente usado durante las sesiones Neuro-MT para niños con autismo

5.1 Percepción de MúsicaFlexible por parte de los terapeutas

Para resolver los primeros dos objetivos de la evaluación formativa, primero se realizó un estudio basado en encuestas para entender la percepción de las terapeutas escolares²¹ sobre MúsicaFlexible y discutir mejoras potenciales para su diseño.

5.1.1 Métodos

5.1.1.1 Participantes

Para entender la percepción de los niños con autismo en relación al prototipo de MúsicaFlexible, se reclutaron 18 terapeutas escolares que trabajan en Pasitos. Aunque las terapeutas no son los usuarios finales, son las principales cuidadoras de los niños con autismo que atienden a Pasitos, y fueron encuestadas como “representantes” (*proxies*) de los niños. Esta técnica de utilizar “representantes” es

²⁰ **Evaluación formativa:** Es aquella evaluación realizada durante el proceso de diseño para comprobar que el producto satisface las necesidades de los usuarios (Preece et al., 2015).

²¹ **Terapeuta escolar:** Profesionistas que enseñan a los niños técnicas para manejar sus dificultades de aprendizaje, atención y conducta más allá de lo que aprenden en el salón de clase. En Pasitos, las maestras, ya sean psicólogas, psicopedagogas, o maestras de educación especial tienen la función de terapeutas escolares.

usada comúnmente cuando se trabaja con poblaciones no verbales (Tang & McCorkle, 2002) como los niños con autismo que participaron en nuestro estudio.

5.1.1.2 Consideraciones éticas

Se siguieron las consideraciones éticas de Pasitos. Primeramente, se envió una narrativa del proyecto a la junta de revisión institucional. La narrativa contiene el resumen del estudio; la descripción y roles del equipo de trabajo; el diseño del estudio incluyendo el procedimiento, datos a recolectar y metodologías para el análisis de datos; características de las personas que pueden participar en el estudio, métodos de reclutamiento y confidencialidad de los datos. Una vez aprobada la narrativa por la institución, se realizó el reclutamiento con las terapeutas escolares de Pasitos.

Todas las terapeutas escolares que aceptaron participar de manera voluntaria firmaron un formato de consentimiento (ver ejemplo en Anexo 2). El formato de consentimiento contiene información referente a los beneficios, riesgos, incomodidades y confidencialidad de los datos obtenidos. En este estudio se les pidió a los terapeutas permisos para tomar fotos, notas, y recolectar información en papel o de manera digital (e.g., encuestas). Para protección de la privacidad de las terapeutas, solo los investigadores tienen acceso a los datos, fotos, notas e información recabada. Toda la información se recolectó y anonimizó. Todos los datos se almacenaron en una computadora perteneciente al investigador principal.

Al finalizar el estudio, las terapeutas recibieron un reconocimiento y una carta de agradecimiento donde se indica la cantidad de horas invertidas en el estudio y los potenciales beneficios de su participación.

5.1.1.3 Procedimiento

Primero, por alrededor de cinco minutos, las terapeutas escolares pasaron en pares y usaron la actividad de descubrir de MúsicaFlexible. Durante este tiempo se les indicó que podían tocar, empujar o deslizar sus manos para escuchar las notas musicales. Esto les permitió tener un mejor entendimiento de la experiencia de interacción. Posteriormente se les mostró el diseño final de MúsicaFlexible (ver Capítulo 3, Subsección 3.4) y finalmente, se les pidió que llenaran dos cuestionarios, tomando en cuenta la experiencia que habían tenido al interactuar con la tela, las actividades propuestas, y las reacciones que pudieran tener los niños con autismo bajo su cargo.

5.1.1.4 Recolección de datos

Para evaluar la usabilidad²² y potencial aceptación de MúsicaFlexible, las terapeutas contestaron el cuestionario “Escala de Usabilidad del Sistema” (SUS por sus siglas en inglés *System Usability Scale*) (Brooke, 2013). Este cuestionario consta de diez preguntas que se responden usando una escala Likert de 5 puntos (Ver Anexo 3). Se seleccionó el cuestionario SUS porque es genérico, rápido, fácil de administrar y provee un alto nivel de la percepción de usabilidad de los usuarios. Además, el cuestionario SUS se ha utilizado para evaluar la usabilidad de interfaces interactivas (Bangor, Kortum, & Miller, 2008; Meldrum, Glennon, Herdman, Murray, & McConn-Walsh, 2012; Schonauer, Pintaric, Kaufmann, Jansen-Kosterink, & Vollenbroek-Hutten, 2011).

Para evaluar la experiencia de uso, las terapeutas contestaron el Cuestionario de Experiencia de Uso (UEQ por sus siglas en inglés *User Experience Questionnaire*) (Laugwitz, Held, & Schrepp, 2008). UEQ está formado por 26 pares de atributos bipolares (*e.g.*, agradable/desagradable) que utilizan un diferencial semántico (*i.e.*, cada elemento está formado por dos adjetivos opuestos y se le pide al encuestado que situó la cercanía a cada extremo en una escala de 7 grados; ver Anexo 4). Se seleccionó el cuestionario UEQ ya que permite una evaluación rápida de la experiencia de uso y ha sido validado en su versión en Español (Rauschenberger, Schrepp, Perez-Cota, Olschner, & Thomaschewski, 2013). Además UEQ se ha usado para evaluar la experiencia de uso de interfaces interactivas (Nawaz, Helbostad, Chiari, Chesani, & Cattelani, 2015; Santoso, Isal, Basaruddin, Sadira, & Schrepp, 2014).

5.1.1.5 Análisis de datos

Se analizaron los resultados de cada cuestionario de manera separada utilizando las fórmulas especificadas por cada cuestionario (Brooke, 2013; Laugwitz et al., 2008). Se compararon los resultados que se obtuvieron con los puntos de referencia que los cuestionarios establecen.

Para el cuestionario SUS se sumaron los puntajes obtenidos de las respuestas de cada usuario, cada pregunta tiene un valor entre 0 y 4. Para las preguntas 1, 3, 4, 7 y 9 la contribución al puntaje es de la posición de la escala de la respuesta menos uno. Para el resto de las preguntas, la contribución del puntaje es de acuerdo a la posición de la respuesta menos cinco.

²² **Usabilidad:** es un atributo cualitativo que evalúa la facilidad de uso de interfaces de usuario. Por lo general la usabilidad se define por los componentes de calidad: aprendizaje, eficiencia, errores, satisfacción y recuerdo (Nielsen, 1994).

y el total se multiplicó por 2.5. Esto convierte los valores en un rango de uno a 100, donde uno significa que el usuario encontró el sistema absolutamente inútil y el 100 significa que encontró el sistema óptimamente útil. De acuerdo con estudios previamente realizados con el cuestionario SUS (Brooke, 2013), los puntajes mayores a 68 significan que el sistema es “aceptable”, y se encuentra por arriba del promedio de usabilidad de los sistemas evaluados en la literatura usando el cuestionario SUS. Además, los puntajes se pueden representar con adjetivos tales como: “pobre” (puntaje < 40), “neutral” (40 < puntaje < 50), “bueno” (50 < puntaje < 75), o “excelente” (puntaje > 85).

Los elementos del cuestionario UEQ están agrupados en seis escalas: “atractivo”, “capacidad de aprendizaje”²³, “eficiencia”, “confiabilidad”, “estimulación” y “novedad”, donde la escala de “atractivo” está formada por seis atributos bipolares y el resto de las escalas por cuatro. Cada una de las respuestas de los elementos se puntúan de -3 a +3, donde -3 representa la respuesta más negativa, 0 una respuesta neutral y +3 una respuesta más positiva. Por cada escala, se suma el puntaje de sus elementos y se saca el promedio. Se considera que valores mayores a +1.5 son evaluaciones positivas de la escala. Estos promedios también se pueden comparar con estudios previamente realizados con el cuestionario UEQ (Laugwitz et al., 2008). Las escalas se pueden calificar desde “mala” hasta “excelente”.

5.1.2 Resultados

Los resultados indican que las terapeutas escolares encontraron MúsicaFlexible “fácil de usar”, “atractivo”, “novedoso” y con una buena “capacidad de aprendizaje”.

5.1.2.1 Aceptación de MúsicaFlexible

Los resultados del cuestionario SUS (Brooke, 2013) indican que en promedio las terapeutas escolares estuvieron de acuerdo que MúsicaFlexible es “Aceptable” (promedio = 72.63, Figura 15). Además, el 83% de las terapeutas escolares calificaron a MúsicaFlexible por arriba del promedio de aceptación de acuerdo al punto de referencia indicado por el cuestionario (Brooke, 2013). El 50% de las terapeutas escolares encontraron a MúsicaFlexible como “bueno” y el 11.1% lo calificaron como “excelente”. Además, 100% de las terapeutas escolares encontraron a MúsicaFlexible como “fácil de usar”.

²³ **Capacidad de aprendizaje:** la habilidad de los usuarios de acostumbrarse a usar el Sistema (Rauschenberger et al., 2013).

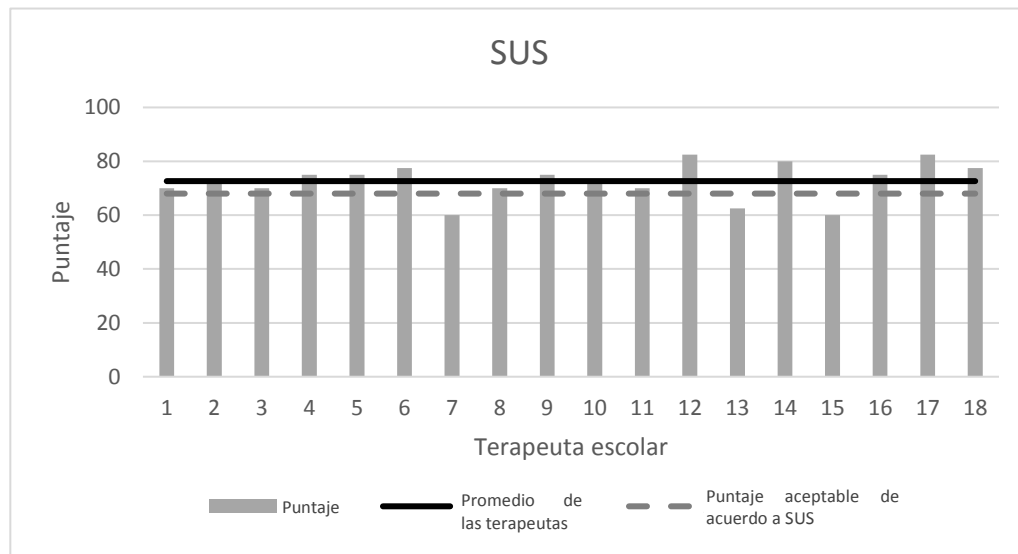


Figura 15. Puntaje de la encuesta Escala de Usabilidad (SUS) sobre del diseño de MúsicaFlexible (puntajes mayores de 68 son considerados “aceptables”).

5.1.2.2 Percepción de la experiencia de uso de MúsicaFlexible

De acuerdo con el cuestionario UEQ (Rauschenberger et al., 2013), las terapeutas escolares estuvieron satisfechas con el diseño de MúsicaFlexible (Tabla 6). Analizando nuestros resultados por escalas, se encontró que las terapeutas escolares calificaron la escala de “atractivo” muy alto (promedio = 2.25 de 3). Las categorías relacionadas a la “novedad”, “confiabilidad”, y “capacidad de aprendizaje”, obtuvieron una calificación alta (promedio > 1.5). En contraste, la “eficiencia” fue calificada por debajo del promedio.

Comparando nuestros resultados con los datos de referencia de otros estudios que usaron el UEQ para evaluar interfaces interactivas (Laugwitz et al., 2008), en general, el diseño de MúsicaFlexible fue percibido como “Bueno” (Figura 16). De manera particular, las terapeutas escolares estuvieron de acuerdo en que MúsicaFlexible sobresale en las escalas de “atracción” y “novedad” dado que ambas escalas fueron calificadas como “Excelentes”. Los resultados también indican que las terapeutas encontraron MúsicaFlexible fácil de usar, porque las escalas de “capacidad de aprendizaje”, “confiabilidad” y “estimulación” fueron calificadas como “buenas”.

Tabla 6. Respuestas de las terapeutas escolares al cuestionario UEQ para medir la experiencia de uso del diseño de MúsicaFlexible (n=18).

Intervalos de confianza (p=0.05) por escala				
Escala	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza	
Atractivo	2.25	0.77	1.89	2.61
Capacidad de aprendizaje	1.85	0.87	1.45	2.25
Novedad	1.69	1.19	1.15	2.24
Confiabilidad	1.57	0.78	1.21	1.93
Estimulación	1.40	1.20	0.85	1.95
Eficiencia	1.39	0.76	1.04	1.74

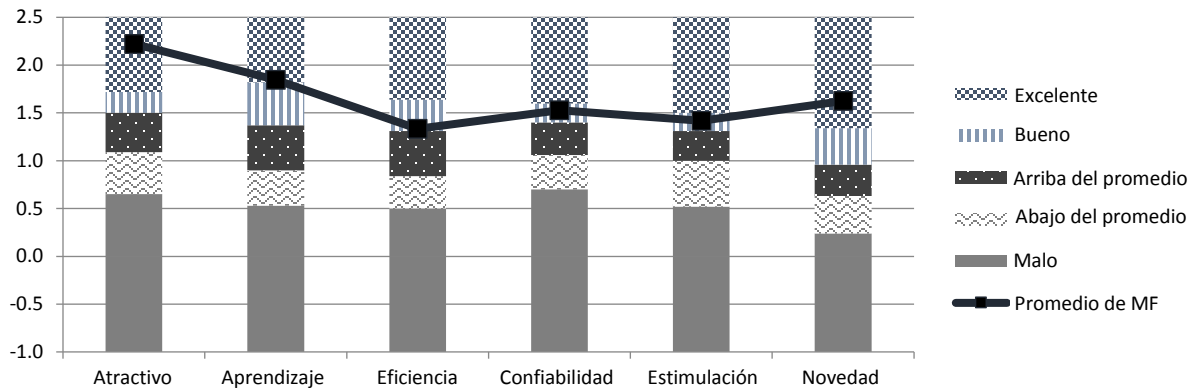


Figura 16. Puntajes de encuesta UEQ sobre diseño de MúsicaFlexible (MF) en comparación con los datos de referencia.

5.1.3 Discusión

De acuerdo con el cuestionario SUS, los resultados muestran que MúsicaFlexible es “bueno” y “usable”. Estos resultados pudieran ser parcialmente explicados dado que las terapeutas escolares aprecian la experiencia de interacción que brinda una tela en conjunto con los estímulos multisensoriales.

De acuerdo con el cuestionario UEQ, MúsicaFlexible es altamente “atractivo y “novedoso”. Una posible explicación es que los ambientes multisensoriales en las clínicas para niños con autismo en México son costosos y la mayoría de las clínicas no los tiene. Entonces, MúsicaFlexible fue percibido como novedoso y atractivo para apoyar las actividades que se realizan en la clínica “Pasitos”.

Los resultados de las categorías de “capacidad de aprendizaje”, “confiabilidad” y “estimulación” fueron calificados como “buenos”. Es probable que las terapeutas encontraron fácil de usar el sistema ya que les permite seleccionar entre un conjunto de actividades abiertas y estructuradas de acuerdo a las preferencias del niño. Además, este balance lo encuentran apropiado para apoyar sus prácticas, y están

motivadas en usar MúsicaFlexible. Sin embargo, las terapeutas pudieran sentirse intimidadas de usar música durante sus prácticas, y pudieran desconocer los beneficios que tiene la música en el desarrollo de habilidades motrices en niños con autismo.

5.2 Uso de MúsicaFlexible por niños con autismo

Para resolver los últimos dos objetivos de la evaluación formativa, se realizó un experimento intra-sujetos (*i.e.*, todos los participantes del estudio realizaron todas las condiciones) por seis días en el centro psicopedagógico Pasitos.

5.2.1 Métodos

5.2.1.1 Participantes

24 niños con autismo severo²⁴, entre tres y once años, pero de la misma edad de desarrollo, participaron de manera voluntaria en el estudio (\bar{X} = 6.6 años; σ = 2.17). La mayoría de los participantes eran no-verbales, tenían problemas de atención, presentaban múltiples discapacidades sensoriales y cognitivas, y no seguían un tratamiento farmacológico. Ningún participante en el estudio tomaba clases de música o había ido anteriormente a sesiones de musicoterapia. De esta manera, ambas condiciones fueron experiencias novedosas para los participantes. Se contrató una psicóloga entrenada en técnicas de Neuro-MT para que condujera las sesiones de terapia.

5.2.1.2 Instalación de MúsicaFlexible

Se equiparon dos cuartos de terapia en Pasitos, de dimensiones de 1.83 m x 3.65 m, con dos cámaras de video vigilancia para monitorear las interacciones de los usuarios, sus reacciones y sus movimientos. En el primer cuarto, se instaló MúsicaFlexible (Figura 17-izquierda). Para instalarlo se usó un marco de PVC, ensamblado de manera similar a una portería de fútbol. El marco sostiene una tela de licra de 1.5 m x 1.5 m. A 1.78 m detrás de la tela (pero dentro del marco), se colocó en el piso un proyector de ultra-

²⁴ Por simplicidad de la lectura, se utilizará el término *participante* para referirse a los niños con autismo severo participando en las evaluaciones.

corto alcance, una bocina, y sobre una repisa a 0.98 m de altura se colocó el sensor Kinect. El sensor Kinect, el proyector y la bocina se conectaron a una computadora con un procesador i5, 500 GB de disco duro, 4G RAM, y tarjeta gráfica Intel HD 5000. Además se conectó un teclado y un ratón de manera inalámbrica para que las terapeutas controlaran las opciones disponibles de MúsicaFlexible (Figura 17-izquierda).

En el segundo cuarto, se retiraron todos los estímulos sensoriales disponibles, como muebles o soportes visuales y se colocó un piano de juguete²⁵ sobre una mesa (Figura 17- derecha).

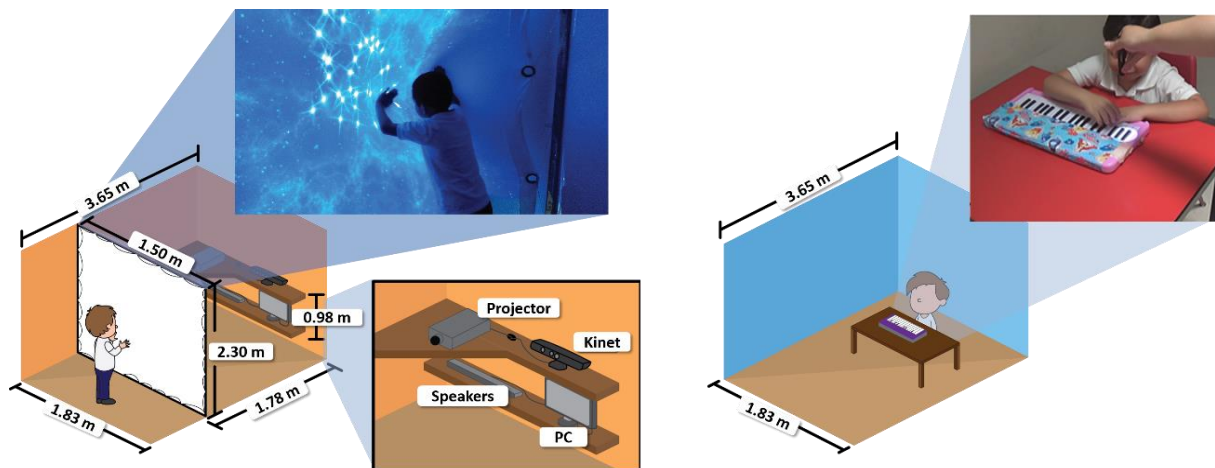


Figura 17. La instalación de la evaluación formativa. Una representación del cuarto de MúsicaFlexible mostrando la instalación del hardware y software (izquierda). Una representación de la instalación de una sesión tradicional de Neuro-MT mostrando la instalación del piano de juguete (derecha).

5.2.1.3 Consideraciones éticas

Para realizar este estudio se siguieron las consideraciones éticas de Pasitos. Primeramente, se envió una narrativa del estudio a la junta de revisión institucional (ver Capítulo 5, Subsección 5.1.1.2). Una vez aprobada la narrativa por Pasitos, se realizó el reclutamiento con los padres de familia de niños que van a clases en Pasitos.

Con la ayuda de las profesoras se solicitó una reunión con los padres de familia, para saber la disposición de estos para participar en el estudio. La sesión tuvo una duración aproximada de 30 min donde se les explicó a los padres de familia en qué consistía el estudio, beneficios, riesgos, incomodidades y confidencialidad de los datos obtenidos. Al final de la sesión los padres de familia decidían si querían

²⁵ Por simplicidad de la lectura, se utilizará el término de piano para referirse al piano de juguete utilizado en las sesiones de Neuro-MT

que sus hijos participaran o no en el estudio. Todos los padres de familia que dieron el consentimiento de participación en nombre de sus hijos firmaron un formato de consentimiento (ejemplo de formato de consentimiento en Anexo 2).

En este estudio se les pidió a los padres permisos para tomar fotos, videos, notas, y recolectar información en papel o de manera digital mientras sus hijos participaran en el estudio. Para protección de la privacidad de los, solo los investigadores tienen acceso a los datos. Toda la información se recolectó y anonimizó. Los datos se almacenaron en una computadora perteneciente al investigador principal. Las publicaciones y presentaciones que resultaron de este estudio, incluyendo esta tesis, no incluyen información que identifique a los participantes. Al finalizar el estudio, los niños recibieron un reconocimiento como agradecimiento.

5.2.1.4 Procedimiento

La psicóloga recibió un entrenamiento de 15 minutos para aprender a usar MúsicaFlexible. Posteriormente se realizó el estudio intra-sujetos. Los participantes atendieron a sesiones de Neuro-MT por cinco minutos rotando de manera aleatoria entre las dos condiciones:

- **MúsicaFlexible:** Los participantes usaron de manera libre por cinco minutos MúsicaFlexible removiendo la capa oscura para descubrir la nebulosa espacial.
- **Piano:** Los participantes usaron de manera libre por cinco minutos el piano comúnmente usado en las terapias Neuro-MT de Pasitos.

5.2.1.5 Colección de datos

Todas las sesiones se video grabaron, y los registros de los participantes se almacenaron indicando las interacciones de los participantes con la tela por un total de 4 horas (2 horas por condición).

Cada día, al completar una porción del experimento, la psicóloga fue brevemente entrevistada (Tiempo total = 53.9 min; tiempo \bar{x} por entrevista = 8.91 min.) Estas entrevistas cortas y semi-estructuradas nos permitieron dar un seguimiento sobre cualquier cosa que pasó durante la sesión e incluyeron preguntas para entender diferencias entre usar la actividad de descubrir de MúsicaFlexible y usar un piano de juguete de manera libre (ver Anexo 5).

5.2.1.6 Análisis de datos

El análisis de datos siguió un enfoque de métodos mixtos. Para analizar las grabaciones de video, se usaron técnicas inspiradas en observación basada en eventos²⁶ (Mintzberg, 1970). Tres investigadores observaron todos los videos y etiquetaron el comportamiento de los participantes siguiendo un esquema de codificación pre-definido (Tabla 7). Para validar el esquema de codificación, los tres investigadores observaron el mismo video de una sesión de MúsicaFlexible y un video de una sesión con el piano. Cada investigador de manera independiente codificó los eventos y se calculó el acuerdo entre observadores (IOA por sus siglas en inglés *Inter-observer agreement* (Malek, Machani, Mevcha, & Hyder, 2006)). El IOA entre los tres observadores fue aceptable (Fleiss kappa promedio $\kappa = 0.88$).

Una vez que se codificaron todos los videos, se estimó, por cada participante y bajo cada condición, la estadística descriptiva del tiempo y la frecuencia que los participantes pasaron en cada comportamiento (Tabla 7). Para validar si existían diferencias entre la condición de MúsicaFlexible y el piano, se aplicó una prueba de T de Wilcoxon de rangos con signo²⁷ (Wilcoxon, 1946) para un $\alpha = 0.05$, dado que la distribución de los datos fue no-paramétrica. Para determinar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk²⁸ (Shapiro & Wilk, 1965).

Todas las entrevistas con la psicóloga se audio grabaron, transcribieron y analizaron juntas. Se usó un análisis deductivo para examinar como los comportamientos observados y las percepciones reportadas por la psicóloga apoyan o contradicen nuestras preguntas de investigación. De manera adicional se utilizaron enfoques de análisis inductivos para permitir que nuevos temas emergieran de nuestros datos. Para nuestro análisis inductivo, se usó codificación abierta, y axial (Strauss et al., 2015) para identificar códigos. Posteriormente los códigos se agruparon y analizaron en un diagrama de afinidad (Charmaz, 2006). Finalmente, se examinaron los temas de acuerdo con nuestro análisis inductivo para explicar los resultados de nuestro análisis deductivo. Solo un investigador codificó los datos, y agrupó las citas de las entrevistas para descubrir los potenciales temas emergentes. Para analizar los datos, se usó el software Atlas.ti.

²⁶ **Observación basada en eventos:** Examinar cada uno de los videos capturados de acuerdo a un esquema de codificación que contiene los eventos a codificar definidos previamente (Mintzberg, 1970).

²⁷ **Prueba t de Wilcoxon de rangos con signo:** prueba estadística para comparar dos grupos de datos que siguen una distribución no paramétrica. Cuando se lleva a cabo con un $\alpha = 0.05$, existe una diferencia estadística significativa cuando $p < 0.05$ (Wilcoxon, 1946).

²⁸ **Prueba de normalidad Shapiro-Wilk:** prueba estadística para contrastar la normalidad de los datos para muestras menores a 50 datos (Shapiro & Wilk, 1965).

Tabla 7. Breve definición del esquema de codificación usado para codificar los comportamientos.

Categoría	Comportamiento		Definición	Tipo de medición
Comportamiento del participante	Atención	En la tarea	El niño está enfocado y atento a la actividad	Tiempo
		Fuera de la tarea	El niño está distraído	Tiempo
	Emoción	Negativa	El niño está llorando (triste), frunciendo el ceño (enojado), o gritando (miedo)	Tiempo
		Positiva	El niño está sonriendo (alegría), aplaudiendo (felicidad), riendo (entretenido)	Tiempo
	Ninguna	El niño no exhibe ninguna emoción	Tiempo	
Movimiento del participante	Mano	Dedo	El niño usa uno o más dedos para empujar la tela o tocar el piano de juguete	Frecuencia
		Palma	El niño usa una o ambas manos para empujar la tela o tocar el piano de juguete	Frecuencia
		Puños	El niño usa uno o ambo puños para tocar la tela o el piano de juguete	Frecuencia
	Pie	Patear	El niño patea la tela con su pie	Frecuencia
	Cabeza	Sumergirse	El niño usa toda la cabeza para empujar la tela	Frecuencia
		Cara	El niño usa la cara para empujar la tela.	Frecuencia
Espalda	Dejarse caer	El niño se desliza hacia atrás para tocar la tela	Frecuencia	

5.2.2 Resultados

De acuerdo con la percepción de la psicóloga, los participantes encontraron MúsicaFlexible “fácil de usar”. Los resultados muestran que MúsicaFlexible pudiera tener potenciales beneficios terapéuticos en términos de atención y desarrollo motriz de niños con autismo severo.

5.2.2.1 Experiencia de uso

Los resultados muestran que MúsicaFlexible tiene el potencial de promover una interacción más natural y una experiencia multi-sensorial intuitiva en comparación con el uso del piano. Los resultados sugieren que las superficies elásticas promueven el descubrimiento de experiencias táctiles novedosas.

5.2.2.1.1 Uso y adopción

La psicóloga reportó que los participantes encontraron MúsicaFlexible “fácil de usar” ya que aprendieron rápidamente cómo usar la tela,

“Realizar [la actividad] fue realmente sencillo y fluido [refiriéndose al uso de MúsicaFlexible]. MúsicaFlexible facilitó que los niños tocaran y escucharan la música...” Psicóloga A²⁹.

Los resultados reflejan que aproximadamente el 80% del tiempo, en ambas condiciones, los participantes no exhibieron ninguna emoción (Tabla 8). De aquellos que exhibieron emociones, el 71%³⁰ de los participantes exhibieron emociones positivas usando MúsicaFlexible y el 58% de los participantes exhibieron emociones positivas cuando tocaban el piano ($p = 0.35$, Figura 18). En ambas condiciones, cerca del 5% del tiempo, los participantes exhibieron emociones negativas ($p = 0.52$). El análisis estadístico no muestra diferencia significativa entre las dos condiciones; sin embargo, de acuerdo con la percepción de la psicóloga, cuando se usó MúsicaFlexible, las emociones de los participantes fueron mayormente positivas, más intensas y visibles (Figura 18):

“Algunos participantes [que podían pronunciar algunas palabras] decían expresiones de asombro como ‘wow’ o ‘gracias’ [...] Creo que fue debido a los estímulos sensoriales disponibles en la tela, al juego, las estrellas, y todos lo que estaba en MúsicaFlexible. La sensación de la tela creo que es lo que a los niños les gustó más” Psicóloga A.



Figura 18. Participantes en ambas condiciones. El participante 3 riéndose y disfrutando el uso tanto de MúsicaFlexible (izquierda-arriba), como del piano de juguete (izquierda-abajo). Participante 15 peleando con la psicóloga cuando usaba MúsicaFlexible (centro-arriba) y estando calmado y enfocado cuando usaba el piano (centro-abajo). Participante 6 motivado y disfrutando el uso de MúsicaFlexible (derecha- arriba) pero llorando y rechazando el uso del piano de juguete (derecha-abajo).

²⁹ Se usarán las iniciales del nombre de las psicólogas y terapeutas para su identificación.

³⁰ Los porcentajes se calcularon en relación al número de participantes que exhibieron el comportamiento divididos por los 24 niños con autismo que participaron en el estudio.

Tabla 8. Comparativa de los promedios de las emociones positivas y negativas exhibidas por los participantes que usaron MúsicaFlexible (MF) y el piano. Notar que el total de emociones puede exceder el 100% por que los participantes pudieron exhibir tanto emociones positivas como negativas en cada condición.

	Exhibieron una emoción		Emoción positiva		Emoción negativa	
	Piano	MF	Piano	MF	Piano	MF
% Participantes	75%	83.33%	58.33%	70.83%	33.33%	20.83%
Tiempo total (seg)	997	1471	814	1074	363	397
Tiempo promedio (seg)	49	61	34	45	15	17
% promedio del tiempo	16.34%	20.43%	11.31%	14.92%	5.03%	5.51%

5.2.2.1.2 Experiencia de interacción

Se observaron diferentes interacciones cuando los participantes usaron MúsicaFlexible. Los participantes disfrutaron deslizar y tocar la tela, ya sea usando un dedo, múltiples dedos o la mano completa (Figura 19). Los participantes también usaron todo su cuerpo o específicas partes del cuerpo, como su cabeza o su espalda, para descubrir y explorar movimientos que no pueden realizarse con superficies tradicionales táctiles (e.g., tabletas, paredes interactivas) (Figura 19). La psicóloga comentó la importancia de facilitar la interacción con los estímulos multi-sensoriales durante las terapias:

“La interacción [con MúsicaFlexible] es fácil y permite a los participantes interactuar con una tela [...] [MúsicaFlexible] motiva a los niños a tomar la iniciativa y descubrir nuevas y novedosas maneras de interactuar con la música usando una tela” Psicóloga A.



Figura 19. Participantes con autismo usando diferentes partes del cuerpo para interactuar con MúsicaFlexible. De izquierda a derecha, una niña usando su mano para empujar la tela; un niño empujando con ambas manos; un niño empujando con su cabeza; un niño sentado empujando la tela con casi todo su cuerpo; un niño acostado en el piso para mirar y tocar la tela.

5.2.2.2 Potencial uso terapéutico

MúsicaFlexible ayuda a los niños con autismo a mantener la atención durante la terapia. Los participantes fueron capaces de practicar diferentes movimientos y explorar el uso de diferentes partes del cuerpo para interactuar con MúsicaFlexible. Estos resultados pudieran indicar que MúsicaFlexible tiene beneficios terapéuticos en términos de desarrollo motriz y control de movimientos.

5.2.2.2.1 Atención y motivación

El 79% de los participantes estuvieron más atentos en la sesión cuando usaron MúsicaFlexible que cuando usaron el piano, y estuvieron, en promedio, 7% más tiempo enfocados en la terapia ($p = 0.02$). Se encontró que MúsicaFlexible supera al piano principalmente en la atención sostenida³¹. Los participantes estuvieron el doble del tiempo poniendo más atención sin distraerse (2.13 veces más) cuando usaron MúsicaFlexible que cuando usaron el piano (Tabla 9; $p = 0.003$). El 45% de los participantes duraron más de un minuto consecutivamente enfocados en la terapia cuando usaron MúsicaFlexible (el 25% duró más de dos minutos). En contraste, sólo el 16% de los participantes estuvo atento durante un minuto usando el piano (sólo el 8% estuvo más de dos minutos) (Figura 20). La psicóloga atribuye esta mejora de la atención de los participantes a los estímulos multi-sensoriales de MúsicaFlexible,

“Yo pienso que [a los participantes] les gusta [MúsicaFlexible], a ellos les gusta ver las estrellas y escuchar los sonidos. MúsicaFlexible es algo nuevo, a ellos les gusta borrar la capa oscura, y tienen el objetivo de iluminar completamente la tela. Esto es un reto para ellos...” Psicóloga A.

“[Con el pianito, los participantes] estaban más frustrados... y yo no pienso que su frustración era por el piano en sí, yo creo que era porque el piano no atrapaba su atención como [MúsicaFlexible] lo hace. En consecuencia, ellos estaban más distraídos durante la terapia”. Psicóloga A.

³¹ **Atención sostenida:** Es la capacidad de concentrarse en una tarea específica durante un período de tiempo continuo sin distraerse (Nobre & Kastner, 2003).

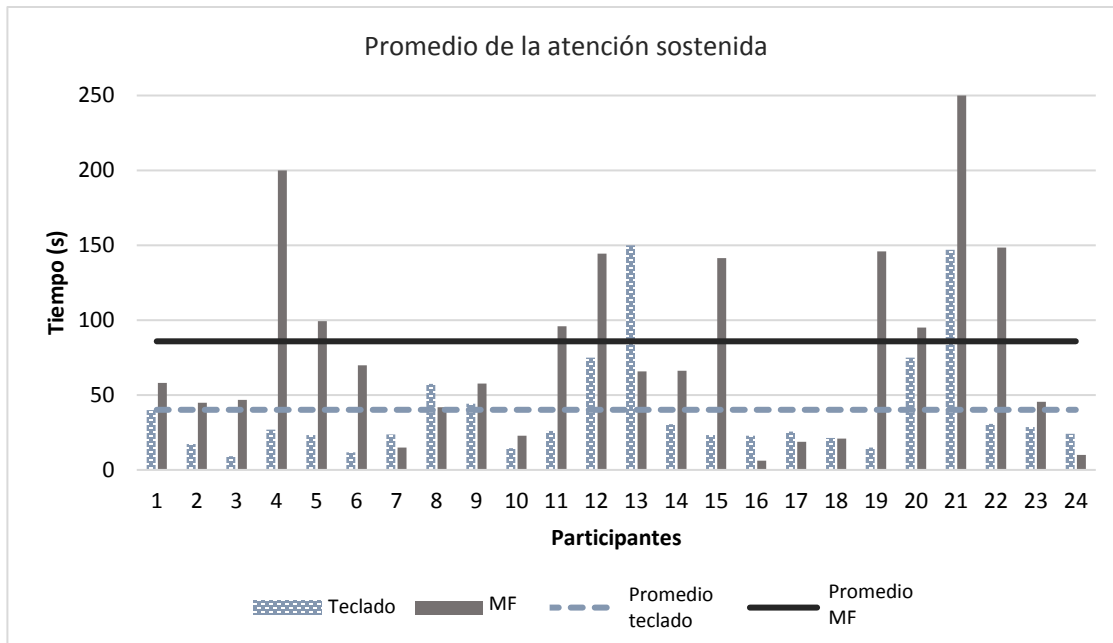


Figura 20. Promedio de tiempo en segundos que los participantes estuvieron enfocados en la terapia de manera continua usando el piano en comparación con MúsicaFlexible (MF).

Tabla 9. Comparación de la atención sostenida de los participantes en ambas condiciones.

	Atención Sostenida	
	Piano	MúsicaFlexible
Promedio (s)	40.14326	85.8654
Promedio de periodos de atención (#)	5.5	8.45
Niños que estuvieron >60 s. (#)	4	11

5.2.2.2.2 Desarrollo motriz

Aunque en promedio los participantes realizaron 1.7 veces más gestos usando MúsicaFlexible que con el piano, no se encontró diferencia significativa ($p=0.33$; Tabla 10). El 99% de los gestos realizados en MúsicaFlexible por los participantes involucraron el uso de sus manos. Sin embargo, el 87% de los participantes intentaron usar su espalda, cabeza o pies cuando interactuaron con MúsicaFlexible. Solamente el 33% de los participantes intentaron estos gestos usando el piano. Los participantes realizaron casi cuatro veces más movimientos usando la espalda, cabeza o pies con MúsicaFlexible que con el piano ($p=0.01$). De acuerdo con la psicóloga, ella cree que estos movimientos novedosos tienen un potencial impacto en el desarrollo de la motricidad gruesa y el control de fuerza:

“Yo creo que MúsicaFlexible [pudiera tener un impacto] en las habilidades de motricidad gruesa. Los niños a veces empujaban la tela fuerte, y algunas veces ellos empujaban la tela muy suave. Los niños también hacían figuras sobre la tela con sus manos. Estos ejercicios pudieran ayudarlos en el desarrollo de sus habilidades motrices. ¡Me encantó esta parte!” Psicóloga A.

También se observó que los participantes cambiaban su postura mientras jugaban con MúsicaFlexible, es decir, dada las dimensiones de la tela, los niños podían utilizarla estando parados, sentados o incluso acostados.

Tabla 10. Comparación de la frecuencia de las partes del cuerpo que los participantes usaron en MúsicaFlexible (MF) y el piano. Se compararon movimientos de mano y se agruparon los movimientos de pies, espalda y cabeza como usar diferentes partes del cuerpo.

	Usando manos		Usando diferentes partes del cuerpo		Total	
	Piano	MF	Piano	MF	Piano	MF
Total	761	803	19	75	780	878
Promedio	31.708	33.458	0.79	3.125	32.5	36.58
DE	15.81	14.20	1.18	3.77	16.04	16.31

5.2.3 Discusión

De acuerdo con la percepción de la psicóloga, los participantes encontraron MúsicaFlexible “Fácil de usar”, y exhibieron emociones mayormente positivas, y visibles. Estos resultados sugieren que MúsicaFlexible ofrece una experiencia agradable, y, para la mayoría de los participantes, la experiencia multi-sensorial funcionó. Sin embargo, algunos de los participantes exhibieron emociones negativas cuando usaron Música Flexible, es probable que estas emociones o comportamientos negativos se deben a la falta de tolerancia de los niños con autismo a la interrupción de la rutina y su miedo a ser expuestos a experiencias novedosas (American Psychiatric Association, 2013). Por otra parte, la mayoría de las emociones negativas que exhibieron los participantes cuando usaron el piano estuvieron relacionadas al aburrimiento o la frustración. Se sugiere investigar cómo se pueden adaptar los estímulos sensoriales de MúsicaFlexible de acuerdo al contexto de uso (*e.g.*, reduciendo los estímulos para aquellos niños que necesitan menos estímulos). Esto demandaría no sólo la personalizar la visualización y los sonidos disponibles en MúsicaFlexible, si no también proponer nuevos métodos para el reconocimiento de emociones.

Las interacciones naturales y novedosas que provee MúsicaFlexible son importantes para ayudar a los niños con autismo severo a que de manera individual y voluntaria descubran y exploren nuevas maneras de interactuar con una superficie elástica. La interacción natural y la combinación de estímulos táctiles, auditivos y visuales ofrecidos por MúsicaFlexible impactaron de manera positiva incrementando la curiosidad de los participantes y mejorando de manera general su experiencia durante las sesiones. En la literatura se ha mostrado que los ambientes multi-sensoriales usando estímulos táctiles son bien aceptados por los niños con autismo (Sitdhisanguan, Chotikakamthorn, Dechaboon, & Out, 2012). Estos resultados muestran la importancia de usar los estímulos multi-sensoriales para proveer una experiencia sensorial rica para los niños con autismo durante las terapias.

Los resultados muestran que MúsicaFlexible captura la atención de los participantes de una manera más efectiva que el piano. En consecuencia, los participantes estuvieron más expuestos a los sonidos y a la música, incrementando así sus oportunidades de permanecer motivados durante las sesiones de Neuro-MT. Estos resultados pudieran indicar que MúsicaFlexible proporciona estímulos multi-sensoriales apropiados para mantener la atención de los niños con autismo durante las actividades abiertas. Resultados similares se han mostrado en la literatura, donde ambientes interactivos multi-sensoriales pueden mejorar la motivación y atención de niños con autismo durante las terapias (Parés et al., 2005; Ringland et al., 2014).

MúsicaFlexible promueve la exploración de gestos novedosos de interacción, por lo que los niños con autismo pudieran ganar un mejor entendimiento de sus movimientos, y tener potencial impacto en su balance, marcha su sentido del control de movimientos como se ha señalado en la literatura en otras poblaciones (Bellan et al., 2017; Longo & Haggard, 2009). Sin embargo, la mayoría de las intervenciones motrices terapéuticas para niños con autismo son altamente estructuradas con más ayudas y soportes visuales que guían el movimiento de niños con autismo. Por lo que nuestro diseño integra tanto actividades abiertas como orientadas a objetivos que pudieran potencialmente motivar la repetición de este tipo de interacciones.

5.3 Resumen y conclusiones

En este capítulo se describe la evaluación formativa de MúsicaFlexible, la cual se llevó a cabo en dos etapas. Primero se realizó un estudio con 18 terapeutas escolares utilizando encuestas para entender la experiencia y la usabilidad del diseño de MúsicaFlexible. En este estudio se encontró que MúsicaFlexible

es aceptable, usable, atractivo y novedoso. Por lo que las terapeutas escolares están dispuestas a utilizarlo como herramienta terapéutica.

Posteriormente se realizó un estudio intra-sujetos, donde 24 niños con autismo severo asistieron a sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible y un piano de juguete. En este estudio se encontró que MúsicaFlexible es “fácil de usar” para los niños con autismo severo, y los mantiene motivados durante la terapia. Además, se encontró que el uso de experiencias táctiles novedosas combinadas con estímulos auditivos y visuales puede ayudar a los niños con autismo severo a mantenerse atentos en la terapia y les permite descubrir nuevas maneras de interacción, no solamente utilizando sus manos, si no también diferentes partes del cuerpo. Este tipo de movimientos pudieran ayudar a los niños con autismo severo a ganar un mejor entendimiento y conciencia sobre sus movimientos. Por lo que se encontró que MúsicaFlexible tiene potenciales beneficios terapéuticos tanto en atención como en el desarrollo motriz.

Capítulo 6. Fase de experimentación 2: evaluación sumativa

En este capítulo se presenta la evaluación sumativa³² de MúsicaFlexible, la cual se llevó a cabo en el centro psicopedagógico Pasitos A. C. La evaluación sumativa compara la eficacia de MúsicaFlexible con el uso de instrumentos musicales tradicionales utilizados en una sesión de Neuro-MT. El objetivo de este estudio es responder la presunta de investigación: [PI4] ¿Cuál es la eficacia de una superficie elástica para apoyar sesiones de Neuro-MT para niños con autismo? (Ver Capítulo 1, Subsección 1.5).

De manera particular la evaluación tuvo como objetivos:

- [OB1] Evaluar el uso, la adopción y los cambios en las características de los movimientos de los niños con autismo mientras usaban MúsicaFlexible durante ocho sesiones de Neuro-MT.
- [OB2] Evaluar la eficacia de MúsicaFlexible en el control de fuerza y sincronización de movimientos de niños con autismo severo en comparación con las sesiones de Neuro-MT.

6.1 Métodos

Se realizó un estudio aleatorio controlado en sitio durante dos meses en la clínica Pasitos. En el estudio participaron 22 niños con autismo severo, los cuales asistieron a ocho sesiones de Neuro-MT. Los participantes se dividieron de manera aleatoria en dos grupos: grupo experimental y grupo de control. En el grupo experimental los niños realizaron las sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible (*i.e.*, condición MúsicaFlexible), mientras que en el grupo de control los niños realizaron sesiones de Neuro-MT usando Panderos (*i.e.*, condición Panderos). En ambos grupos se evaluó la eficacia de las sesiones de Neuro-MT a través de mediciones pre- y post- condición.

6.1.1 Participantes

Los participantes de este estudio comprenden 22 niños con autismo severo³³ de “Pasitos”, entre cuatro y ocho años de edad, pero con la misma edad de desarrollo ($\bar{X} = 5.72$; $\sigma = 1.2$). La mayoría de los

³² **Evaluación sumativa:** Evaluación cuyo objetivo es evaluar la efectividad de las decisiones de diseño tomadas a un prototipo de alta fidelidad (Preece et al., 2015)

³³ Por simplicidad de la lectura, nos referiremos como *participantes* a los niños con autismo severo que participaron en el estudio.

participantes eran no-verbales, tenían problemas de atención, presentaban múltiples problemas sensoriales y cognitivos. Es importante notar que ninguno de ellos seguía un tratamiento farmacológico, tomaba clases de música o participó en la evaluación formativa de MúsicaFlexible. Además, se reclutaron cuatro terapeutas escolares de Pasitos para acompañar a los participantes durante la terapia y a una psicóloga entrenada en técnicas de Neuro-MT para realizar las sesiones³⁴ de Neuro-MT.

6.1.2 Instalación de MúsicaFlexible

Dos cuartos de terapia en Pasitos, de dimensiones de 1.83 m x 3.65 m, se equiparon con dos cámaras de video vigilancia para monitorear las interacciones de los usuarios, sus reacciones y sus movimientos. En el primer cuarto, se instaló MúsicaFlexible de la misma manera que en la evaluación formativa (ver Capítulo 5, Subsección 5.2.1.2; Figura 21-izquierda). En el segundo cuarto, se colocaron dos panderos y un metrónomo sobre una repisa en la pared, y se retiraron todos los estímulos sensoriales disponibles, como muebles o soportes visuales (Figura 21- derecha).

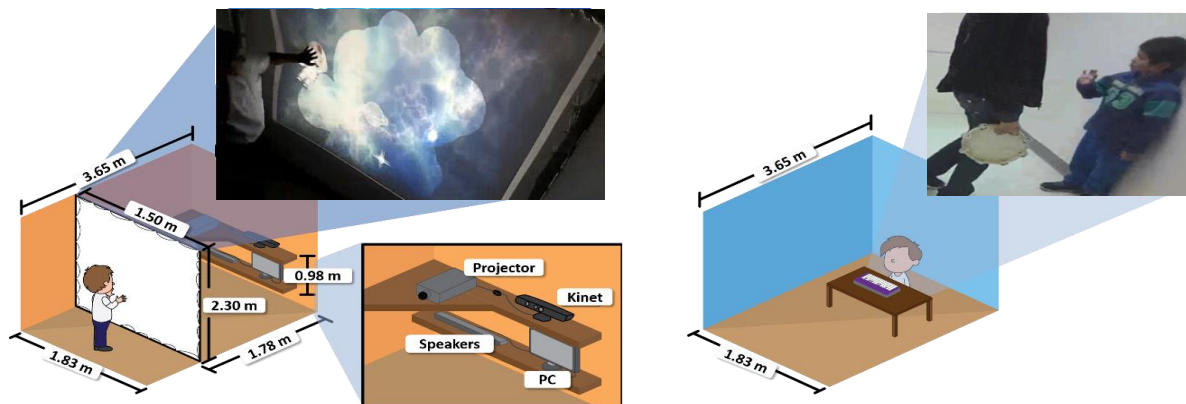


Figura 21. Instalación del equipo para la evaluación sumativa. Representación del cuarto utilizado por el grupo experimental mostrando la instalación de MúsicaFlexible (izquierda). Representación del cuarto utilizado por el grupo de control mostrando una sesión tradicional de Neuro-MT.

6.1.3 Consideraciones éticas

Para realizar este estudio se siguieron las consideraciones éticas de Pasitos. Primeramente, se envió una narrativa del estudio a la junta de revisión institucional (ver Subsección 5.1.1.2 Consideraciones éticas).

³⁴ Por simplicidad de la lectura, nos referiremos como musicoterapeuta a la psicóloga entrenada en técnicas de Neuro-MT.

Una vez aprobada la narrativa por Pasitos, se realizó el reclutamiento con las terapeutas escolares y padres de familia de niños que van a clases en Pasitos.

Las consideraciones de ética para las terapeutas siguieron el mismo formato de la evaluación formativa de la percepción de MúsicaFlexible por parte de las terapeutas escolares (ver Capítulo 5, Subsección 5.1.1.2). Mientras que, las consideraciones éticas para la participación de los niños con autismo, se siguió el mismo procedimiento que el estudio de Uso de Música Flexible (ver Capítulo 5, Subsección 5.2.1.3), donde todos los padres de familia que dieron el consentimiento de participación en nombre de sus hijos firmaron un formato de consentimiento (ver Anexo 2).

6.1.4 Recolección de datos

La recolección de datos estuvo formada por pruebas clínicas, cuestionarios, entrevistas y registro de interacciones. Se aplicaron tres pruebas clínicas de motricidad como mediciones pre- y post-condición. Los terapeutas, como “representantes” (*proxies*) de los participantes (Tang & McCorkle, 2002), contestaron un cuestionario para medir el enganchamiento con la música durante las sesiones de Neuro-MT. Se almacenaron todos los registros de las interacciones de los participantes que usaron MúsicaFlexible.

6.1.4.1 Pruebas clínicas de motricidad

Se agregaron a MúsicaFlexible dos pruebas para evaluar la sincronización de fuerza y el control de movimientos de los participantes³⁵ –estas pruebas se implementaron siguiendo pruebas clínicas de control motriz (Lundy-Ekman et al., 1991). Las pruebas se complementaron con el Cuestionario del Trastorno de Coordinación del Desarrollo (DCDQ por sus siglas en inglés *Developmental Coordination Disorder Questionnaire*) (Wilson, 2009).

³⁵ Se ha mostrado que las sesiones de Neuro-MT pueden ser evaluadas usando métodos asistidos por computadora (Soh et al., 2016)

6.1.4.1.1 Prueba para la sincronización de movimientos.

Para la prueba de sincronización de movimientos, los participantes deben empujar la tela y sincronizar sus movimientos con tonos rítmicos que genera MúsicaFlexible. MúsicaFlexible genera tonos rítmicos de 50 ms de duración, 1000 ms de espera entre intervalos que actúan como un pulso musical (*i.e.*, ritmo). En total, los participantes deben completar cinco ensayos, en donde cada ensayo consiste en empujar diez veces la tela con la mano (Figura 22-izquierda), cinco veces escuchando los tonos rítmicos y cinco veces sin escuchar los tonos.

En esta prueba se almacenaron todas las interacciones de los participantes con la tela, donde cada registro tiene la ubicación del movimiento en un tiempo t y cada movimiento de empuje tiene su correspondiente número de repetición y ensayo al que pertenece. También se almacena el tiempo en que iniciaron los tonos rítmicos que MúsicaFlexible genera.



Figura 22. Una participante usando MúsicaFlexible durante la prueba de sincronización de movimientos (izquierda), y la de control de fuerza (centro y derecha).

6.1.4.1.2 Prueba para el control de fuerza

Para la prueba de control de fuerza, los participantes deben igualar la fuerza que ejercen al empujar la tela para alcanzar un objetivo visual. MúsicaFlexible presenta los objetivos en forma de líneas horizontales y un cohete se mueve de manera vertical y proporcional a la profundidad empleada por los participantes cuando empujan la tela. Cuando los participantes empujan la tela, el cohete vuela para alcanzar la línea horizontal. La línea horizontal primero aparece a tres cuartos de altura de la tela demandando a los participantes que empujen fuerte (Figura 22-centro). Posteriormente, la línea aparece a un cuarto de altura de la tela, para pedirles a los participantes que empujen suave (Figura 22-derecha). Para completar un ensayo, los participantes necesitan completar cinco repeticiones con y sin retroalimentación visual. Para completar la prueba, se realizan cinco ensayos empujando fuerte y cinco empujando suave.

Se almacenaron todas las interacciones de los participantes con la tela, donde cada registro tiene la ubicación del movimiento en un tiempo t . Cada movimiento de empuje se almacenó con su correspondiente número de repetición y ensayo.

Durante los ensayos, tanto de la prueba de sincronización de movimientos como la de control de fuerza, la terapeuta podía interrumpirlos en caso de ser necesario. Sin embargo, los participantes tenían que realizar al menos dos ensayos por prueba.

6.1.4.1.3 Cuestionario del trastorno de desarrollo de la coordinación (DCDQ)

El Cuestionario del Trastorno del Desarrollo de la Coordinación (DCDQ) (Wilson, 2009), es considerada una prueba clínica de evaluación válida para niños que tienen problemas de coordinación. DCDQ se ha usado previamente para medir el progreso de intervenciones terapéuticas sin (Green & Wilson, 2008) y utilizando tecnología ubicua (Caro, Tentori, Martinez-Garcia, & Alvelais, 2017). El DCDQ está formado por 15 preguntas, seis para evaluar el “control de movimientos” (e.g., “[el niño] tira el balón de una manera controlada), cuatro para “motricidad fina” ” (e.g., “[el niño] corta dibujos y figuras de manera precisa), y cinco relacionadas a “coordinación general” (e.g., “[el niño] se mueve y desplaza con cuidado y agilidad sin chocar ni tumbar objetos) (Ver Anexo 7). Cada pregunta se contesta usando una escala Likert de 5 puntos. Para niños entre 4 a 8 años de edad, los puntajes mayores a 46 puntos, significa que el niño posiblemente no tenga problemas de coordinación. La sensibilidad general del DCDQ es de 84.6% y la especificidad es de 70.8% (Wilson, 2009).

6.1.4.2 Mediciones durante las sesiones de terapia

Para evaluar el grado de motivación de los participantes se usó el cuestionario para la motivación con la música (PiT por sus siglas en inglés *Playing in Touch*) (Politi, Emanuele, Grassi, & Invisible Orchestra Project, 2012). Para medir el progreso de los participantes que usaron MúsicaFlexible, se evaluó su comportamiento motriz extrayendo características computacionales de los registros de interacciones del uso de MúsicaFlexible (ver Capítulo 4, Subsección 4.2.2, Tabla 5) (Kołakowska, Landowska, Anzulewicz, & Sobota, 2017; Soh et al., 2016).

6.1.4.2.1 Cuestionario para la motivación con la música (PiT)

El cuestionario para la motivación con la música (PiT por sus siglas en inglés *Playing in Touch*) provee una medición específica para evaluar la motivación intangible con la música (*musical intouchness*) – definida como el grado de motivación con la música de personas con autismo severo (Politi et al., 2012). PiT es un cuestionario válido que muestra buenas propiedades psicométricas y evalúa las actitudes musicales de las personas con autismo severo. El cuestionario está formado por diez preguntas (e.g., “[el niño] escucha y responde a los sonidos, “[el niño] está distraído”, ver Anexo 6). Cada pregunta se responde por un terapeuta con valores de sí (1 punto) o un no (0 puntos). Un mayor número de puntos representa un mayor enganchamiento de los participantes con la música.

6.1.4.2.2 Registro de las interacciones con MúsicaFlexible.

Se almacenaron todas las interacciones que tuvieron los niños con MúsicaFlexible. Cada registro tiene la ubicación del movimiento en un tiempo t , la repetición correspondiente, y la actividad. También se almacenaron los registros de todos los eventos que MúsicaFlexible genera.

6.1.5 Procedimiento

Los 22 participantes se asignaron de manera aleatoria a dos grupos de igual tamaño (grupo experimental y grupo de control). De esta manera, 11 participantes usaron MúsicaFlexible (grupo experimental), y 11 participantes usaron panderos (grupo de control) durante ocho sesiones de Neuro-MT. El estudio consistió en tres etapas:

- **Evaluación:** por 15 min, todos los participantes primeramente usaron MúsicaFlexible para completar las pruebas de sincronización de movimientos y control de fuerza. Posteriormente, los participantes realizaron “actividades deportivas” (e.g., tirar una pelota) para que la terapeuta escolar pudiera responder el cuestionario DCDQ (ver Anexo 6).
- **Terapia:** los participantes completaron ocho sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible o panderos. En sesiones alternadas, la terapeuta escolar respondió el cuestionario PiT. Una sesión de terapia consistió en:

- **MúsicaFlexible (grupo experimental):** en cada sesión, los participantes jugaron al menos uno de las tres actividades disponibles en MúsicaFlexible: empujar de manera libre, control de fuerza y ritmo. Es importante notar que cada sesión iniciaba y terminaba con la actividad de descubrir.
- **Panderos (grupo de control):** la musicoterapeuta usó un par de panderos para realizar todas las sesiones de Neuro-MT. La musicoterapeuta y el participante tenían que realizar al menos dos de las tres actividades, los cuales son: empujar de manera libre, control de fuerza, y ritmo. Todas las sesiones iniciaban y finalizaban permitiéndole a los participantes usar los panderos de manera libre. La actividad de empujar de manera libre consistió en que la musicoterapeuta tenía un pandero en cada mano. Primeramente, la musicoterapeuta usaba el pandero izquierdo para que el participante tocara el pandero un determinado número de repeticiones con la mano izquierda. Posteriormente, usaba el pandero derecho para que el participante tocara el pandero con la mano derecha. Finalmente, la musicoterapeuta alternaba los panderos para realizar el ejercicio con las manos alternadas. En la actividad de control de fuerza, la musicoterapeuta siguió la rutina de ejercicio pidiéndole al participante que tocara fuerte los panderos y posteriormente que los tocara de manera suave. Finalmente, en la actividad de ritmo, la musicoterapeuta usaba un metrónomo para motivar a los participantes a realizar la rutina de ejercicio siguiendo el ritmo.
- **Evaluación:** todos los participantes realizaron las pruebas de sincronización de movimientos y control de fuerza usando MúsicaFlexible y realizaron las “actividades deportivas” para que la terapeuta pudiera responder el DCDQ.

6.1.6 Análisis de datos

6.1.6.1 Pruebas clínicas de motricidad

A continuación, se describe el análisis de los registros de MúsicaFlexible para las pruebas de control de fuerza y sincronización de movimientos. Para cada movimiento se calcularon las características mostradas en la Tabla 5 (ver Capítulo 4, Subsección 4.2.2). Después se calculó por cada participante lo siguiente:

- El promedio de los puntajes de todas las características (Tabla 5) de los movimientos que cada participante realizó por ensayo.
- El promedio de la respuesta entre intervalos de los movimientos que realizó cada participante sin estímulo auditivo durante la prueba de sincronización de movimientos.
- El promedio del tiempo de reacción de los movimientos que cada participante realizó con estímulos auditivos durante la prueba de sincronización de movimientos.
- El promedio de las fuerzas aplicadas por los participantes cuando empujaron fuerte, suave y su diferencia durante la prueba de control de fuerza.

Para validar si existían diferencias entre la prueba de sincronización de movimientos y control de fuerza inicial y la final, y dado que la distribución de los datos fue no paramétrica de acuerdo con los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), se aplicó una prueba de T de Wilcoxon de rangos con signo para un $\alpha= 0.05$ (Wilcoxon, 1946).

Para ver si existía diferencia entre los puntajes de DCDQ, y dado que la distribución de los datos fue paramétrica de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), se aplicó una prueba T ³⁶ para un $\alpha= 0.05$ (Rosenthal & Rosnow, 2007).

Finalmente, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman³⁷ (Spearman, Con, & Page, 1904) entre las pruebas de valoración y el puntaje de “control durante el movimiento” del cuestionario DCDQ para ver si existe una congruencia entre las medidas de las pruebas de valoración –sólo se consideró la subsección “control durante el movimiento” dado que es la más relacionada con el control de movimientos (Wilson, 2009).

6.1.6.2 Mediciones durante las sesiones de terapia

Para analizar los datos del uso de MúsicaFlexible por el grupo experimental, se calculó por cada participante:

³⁶ **Prueba T:** prueba estadística para comparar dos grupos de datos que siguen una distribución paramétrica. Cuando se lleva a cabo con un $\alpha= 0.05$, existe una diferencia significativa cuando $p<0.05$ ³⁶ (Rosenthal & Rosnow, 2007).

³⁷ **Coefficiente de correlación Spearman:** es un estadístico basado en rangos que sirve para determinar si hay una correlación entre dos variables (Spearman et al., 1904).

- El promedio de todas las características de los movimientos (Tabla 5), que cada niño hizo durante la actividad de descubrir.
- El promedio de la respuesta entre intervalos y el tiempo de reacción durante la actividad de ritmo
- El promedio de las fuerzas aplicadas y su diferencia cuando el niño empujaba fuerte y suave la tela durante la actividad de control de fuerza
- La duración total de las sesiones y el tiempo total que los niños estuvieron tocando la tela.

Para comparar los promedios de las características durante las sesiones, se realizó un análisis de regresión lineal simple³⁸ (Chatterjee & Hadi, 2012) para las ocho sesiones.

Para analizar los datos del cuestionario PiT, se calcularon los puntajes de los participantes por cada sesión y su promedio. Se realizó un análisis de regresión lineal simple sobre los puntajes en las cuatro sesiones.

Finalmente, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (Spearman et al., 1904) entre todas las características para encontrar posibles relaciones entre las cualidades de los movimientos.

6.2 Resultados

6.2.1 Uso de MúsicaFlexible por el grupo experimental

En general, los resultados muestran que los participantes usaron MúsicaFlexible durante las ocho sesiones de Neruo-MT, y la mayoría de ellos mostró un entendimiento en el control de fuerza a partir de la quinta sesión.

6.2.1.1 Uso y adopción

Las sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible duraron en promedio 15.5 min. Durante estas sesiones, en promedio, los participantes pasaron 53% del tiempo tocando la tela (Figura 23). La cuarta

³⁸ **Análisis de regresión lineal simple:** Es un proceso estadístico para estimar la relación lineal entre dos variables. La regresión proporciona la línea que “mejor” se ajusta a los datos (Chatterjee & Hadi, 2012)

sesión fue la que tuvo una menor duración (tiempo \bar{x} = 12.39 min) en comparación con el resto. Las sesiones posteriores tuvieron una duración promedio de 16 min.

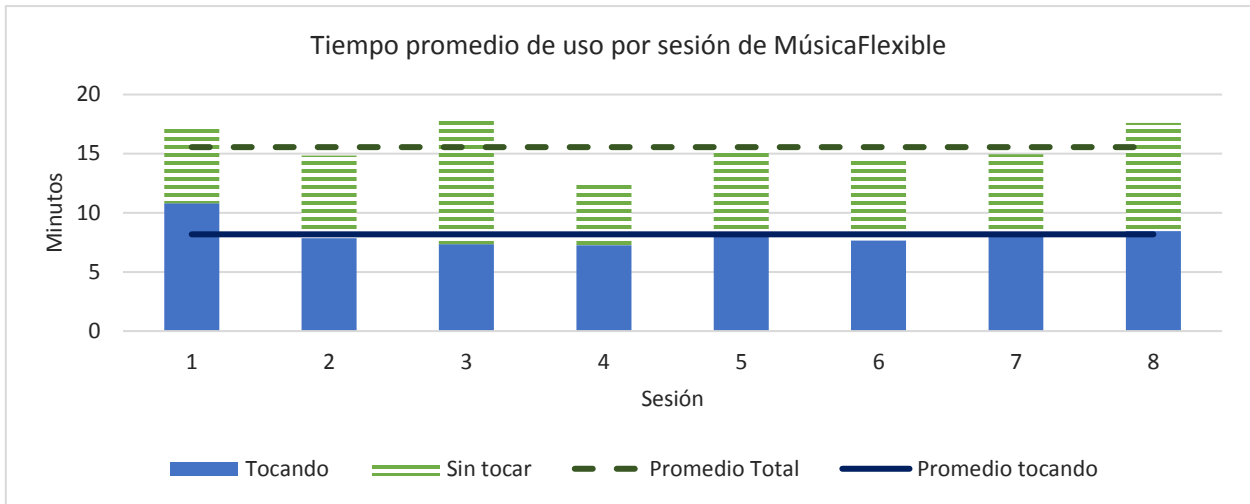


Figura 23. Tiempo promedio de uso por sesión de MúsicaFlexible.

En general, durante las sesiones los participantes interactuaron en promedio con cinco canciones diferentes. Ellos escucharon la canción de “Estrellita” 55% de las veces, la de “Martinillo” 15% y la de “¡Oh, Susana!” 12% (Figura 24-izquierda). Además, los participantes escucharon, en promedio, cinco de las ocho categorías de instrumentos musicales disponibles en MúsicaFlexible, siendo la categoría de “piano” (35%), “percusión” (15%), y “órgano” (15%) las más seleccionadas (Figura 24-derecha).

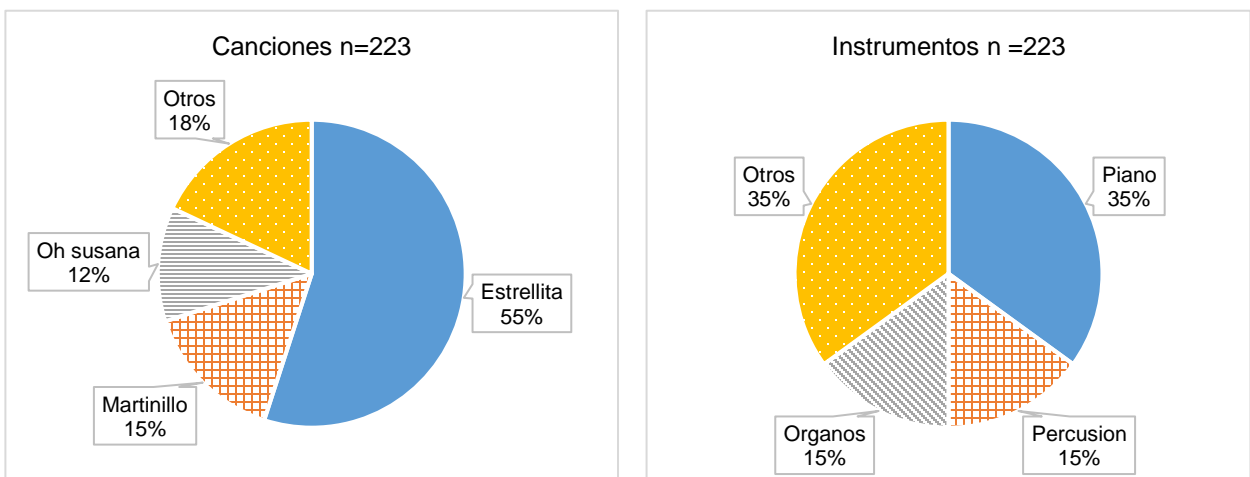


Figura 24. Porcentaje de las canciones seleccionadas por los terapeutas (izquierda) y las categorías de los instrumentos musicales (derecha).

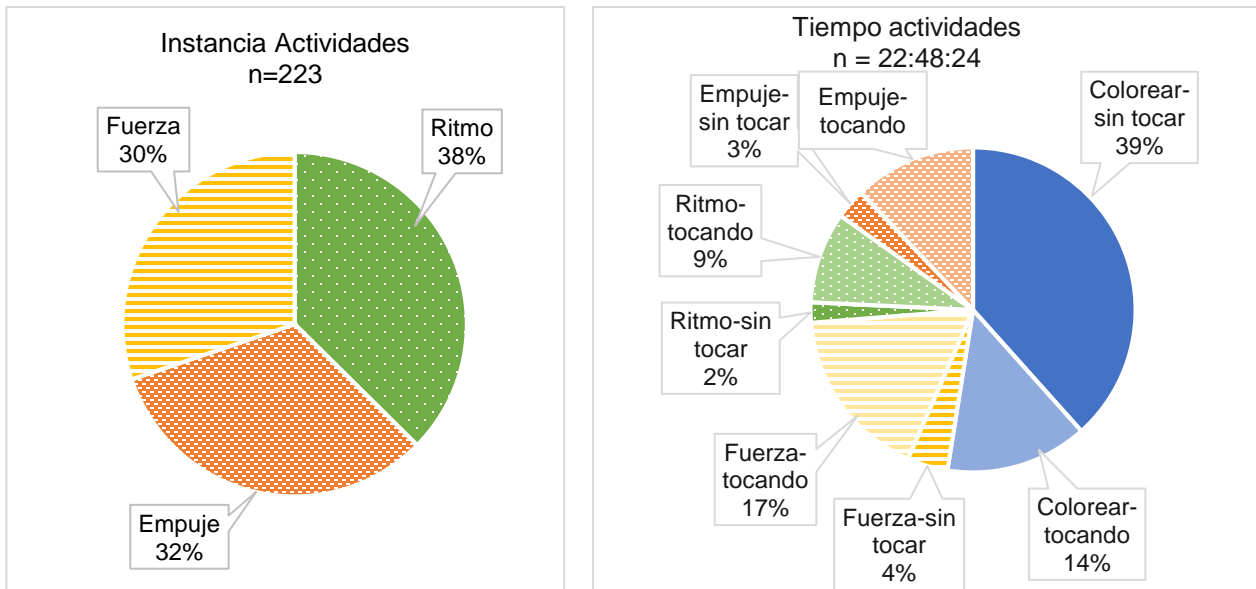


Figura 25. Porcentaje de uso de las actividades disponibles en MúsicaFlexible (izquierda). Porcentaje del tiempo de uso de cada actividad en MúsicaFlexible (derecha).

Los participantes, en promedio realizaron un total de 22 actividades usando MúsicaFlexible (*i.e.*, ellos realizaron alrededor de dos o tres actividades en cada sesión). Los participantes realizaron un más instancias de la actividad de ritmo (37.4%), seguido de la actividad de empujar de manera libre (32.4%), y finalmente la actividad de control de fuerza (30.2%) (Figura 25).

Los participantes pasaron la mayor parte del tiempo en la actividad de descubrir (Figura 25-derecha). Ellos estuvieron tocando de manera libre la tela para borrar la capa oscura y descubrir los estímulos visuales y audibles (14% del tiempo tocando la tela; 39% del tiempo sin tocar la tela; Figura 25-derecha).

Durante las actividades motrices (*i.e.*, empujar de manera libre, control de fuerza y ritmo), los participantes estuvieron más tiempo en la actividad de control de fuerza (17% del tiempo tocando la tela; 4% del tiempo sin tocar la tela; Figura 25-derecha), seguida la actividad de empujar de manera libre (12% del tiempo tocando la tela; 3% del tiempo sin tocar la tela; Figura 25-derecha) y finalmente la actividad de ritmo (9% del tiempo tocando la tela; 2% del tiempo sin tocar la tela; Figura 25-derecha).

El tiempo de uso de las actividades muestra que, durante la actividad de descubrir, los participantes tocaron la tela poco (27% del tiempo) y pasaron más tiempo observando las animaciones (73%). En contraste, en las actividades motrices, los participantes pasaron más tiempo tocando la tela (80%).

Por otra parte, los participantes jugaron más veces la actividad de ritmo (38%) en instancias cortas de tiempo (tiempo \bar{X} de duración de la actividad = 2.8 min), en contraste a la actividad de control de fuerza

cuyas instancias fueron menores (30%) pero de mayor duración (tiempo \bar{X} de duración de la actividad = 6.5 min).

6.2.1.2 Control de fuerza

Durante la actividad de control de fuerza, en promedio, los participantes empujaron la tela 0.34 N³⁹ más fuerte cuando se les pedía que empujaran fuerte que cuando se les pedía empujaran suave. Particularmente, el 63% de los participantes aumento su fuerza cuando empujaban fuerte conforme pasaron las sesiones, mientras que el 18% de los participantes la disminuyó y el 18% realizaron menos de la mitad de las sesiones (Figura 26)⁴⁰. Por otra parte, el 45% de los participantes utilizó menos fuerza cuando empujaron suave la tela conforme pasaron las sesiones, el 36% mantuvo casi mantuvo la misma fuerza durante todas las sesiones, y para el resto (18%) empujar suave fue complicado (Figura 26).

En general, el 72% de los participantes entendió la diferencia entre empujar fuerte y suave. El 54% de los participantes logró una diferencia entre empujar fuerte y suave después de la quinta sesión (diferencia $\bar{X} = 0.35 \text{ N}^{41}$) y el 18% después de la cuarta sesión (diferencia $\bar{X} = 0.5 \text{ N}$). Sin embargo, algunos participantes (18%) necesitan más sesiones para entender conceptos relacionados con la regulación de fuerza ya que primero requieren procesar la experiencia multisensorial que proporciona MúsicaFlexible.

Por ejemplo, el mejor caso (Participante P3), durante las primeras tres sesiones de la tarea de control de fuerza, tuvo problemas para diferenciar entre como empujar fuerte y suave (Diferencia $\bar{X} = 0.35 \text{ N}$, Figura 26-P3). Después de la cuarta sesión P3 entendió la diferencia entre empujar fuerte y suave y la diferencia de fuerzas se incrementó (Diferencia $\bar{X} = 1.63 \text{ N}$, Figura 26-P3). Sin embargo, el Participante P11 (Figura 26-P11), solamente pudo practicar en cuatro sesiones la actividad de control de fuerza y sólo en dos ocasiones logró terminar las repeticiones de empujar suave, dado que pasó la mayor parte del tiempo practicando la actividad de empujar de manera libre hasta que logró dominar su coordinación en ambas manos.

³⁹ Los resultados en Newtons (N) representan la estimación de fuerza indirecta que los participantes usan al empujar la tela.

⁴⁰ Dado que las terapeutas podían seleccionar dos de las tres actividades disponibles en MúsicaFlexible, no en todas las sesiones algunos participantes realizaron la actividad de control de fuerza.

⁴¹ Diferencia $\bar{X} = \bar{X}$ de empujar fuerte - \bar{X} de empujar suave

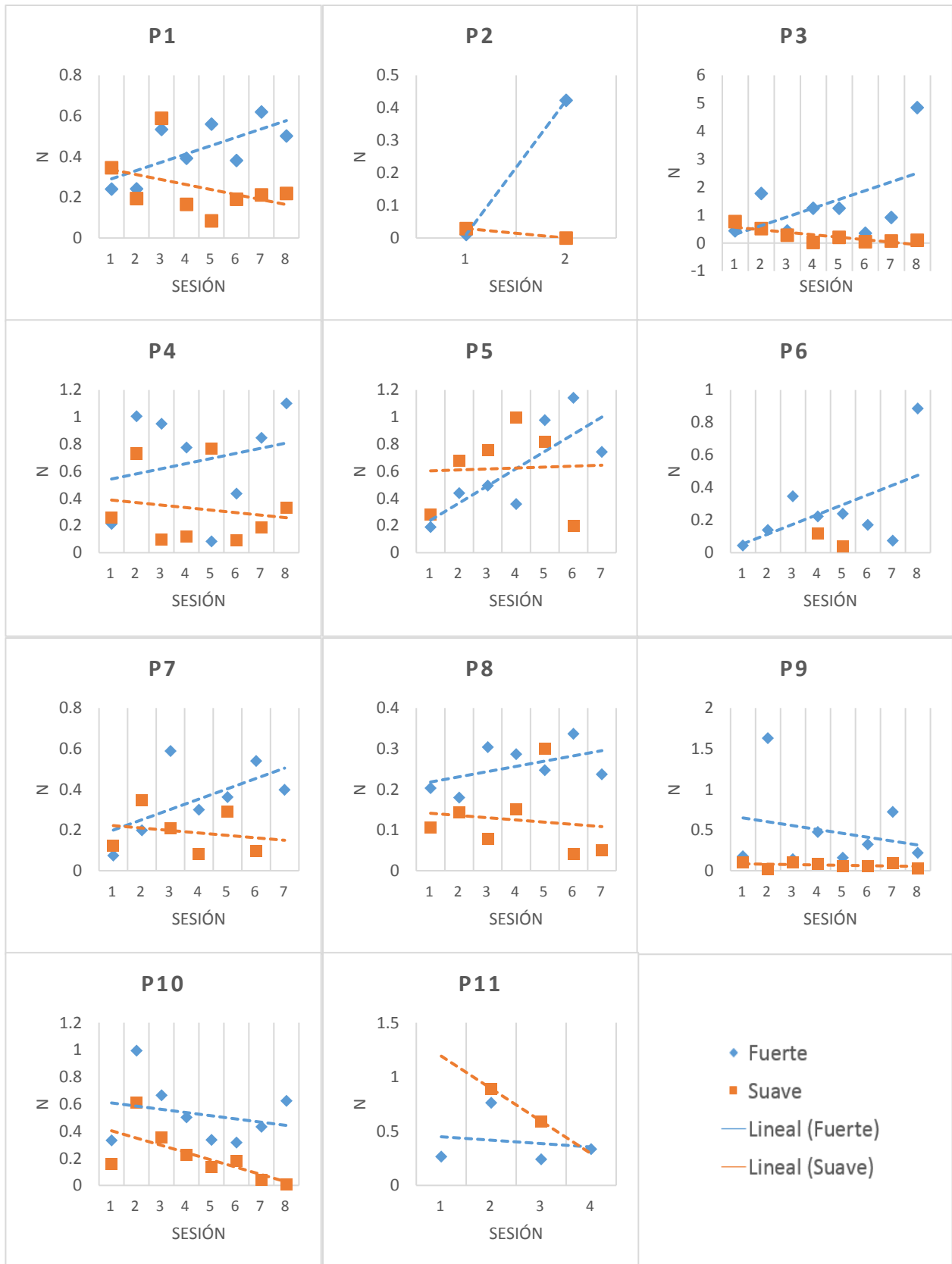


Figura 26. Fuerza promedio utilizada durante la tarea de control de fuerza por participante por sesión. Notar que algunos participantes no realizaron las ocho sesiones debido a que estuvieron reforzando la actividad de empujar de manera libre.

6.2.1.3 Sincronización de movimientos

Durante la actividad de ritmo, en promedio, los participantes realizaron un movimiento de empuje cada 2500 ms. Sólo el 27% de los participantes logró disminuir su respuesta entre intervalos (Tabla 11). El 9% de los participantes mostró un incremento promedio de 818 ms en su respuesta entre intervalos después de la quinta sesión y el 27% mostró un incremento promedio de 898 ms después de la cuarta sesión. Por ejemplo, nuestro mejor caso (Participante P5) mostró una disminución de 2000 ms en la respuesta entre intervalos comparando su primera sesión con la última. En contraste, el Participante P7, aumentó su respuesta entre intervalos 918 ms comparando su primera sesión con la última.

Tabla 11. Porcentaje de participantes que mostró un incremento, decremento o no se encontró ninguna tendencia de acuerdo al análisis de regresión por actividad y métrica.

Actividad de MúsicaFlexible	Métrica	Decremento	Incremento	Sin cambios
Actividad de Sincronización de movimientos	Respuesta entre intervalos	27%	45%	27%
	Tiempo de reacción	9%	36%	54%
Actividad de descubrir	Respuesta entre intervalos	27%	54%	18%
	Longitud	45%	45%	9%

En términos de tiempo de reacción, el tiempo promedio de los participantes fue de 507 ms durante las ocho sesiones. Sólo 36% de los participantes reaccionaron más rápido al terminar las ocho sesiones (Tabla 11). Por ejemplo, el participante P10 disminuyó 351 ms su tiempo de reacción comparando la primera sesión con la última sesión de la actividad de ritmo, mientras que el participante P4, aumentó 45 ms su tiempo de reacción comparando su primera sesión con la última.

El 45% de los participantes reaccionaron en promedio 42 ms más rápido después de la cuarta sesión, 18%, reaccionaron 89 ms más rápido después de la quinta sesión. En general, la disminución en el tiempo de reacción de los participantes se vio reflejado después de cinco sesiones de uso. Sin embargo, en algunas sesiones, el terapeuta cambiaba la velocidad del ritmo para retar a los participantes de acuerdo a sus capacidades –para algunos participantes utilizaban un ritmo más rápido o más lento.

6.2.1.4 Actividad “Descubrir”

En la actividad de descubrir, los participantes en promedio usaron 0.55 N de fuerza al empujar la tela durante cada sesión. Aunque no se encontró ninguna tendencia sobre la fuerza que los participantes emplearon durante las sesiones, se observó que el 72% de los participantes usó su fuerza máxima en la

cuarta sesión –es decir, los participantes usaron casi el doble de fuerza durante la cuarta sesión en comparación con el resto de las sesiones (\bar{X} de fuerza de la sesión 1-3 = 0.45 N; sesión 4 = 1 N; \bar{X} de fuerza sesión 5-8 = 0.51 N).

En términos de la respuesta entre intervalos, los participantes realizaron en promedio, un movimiento de empuje cada 2754 ms, y su respuesta entre intervalos estuvo entre 2000 ms y 3000 ms en todas las sesiones. La mayoría de los participantes aumentó su respuesta entre intervalos durante la actividad de descubrir (Tabla 11).

Finalmente, se analizó la longitud de los movimientos⁴² (Tabla 5, columna Distancia), y se observó que en promedio los movimientos de los participantes tenían un desplazamiento de 60 cm de longitud. El 45% de los participantes incrementó la longitud de sus movimientos en cada sesión, el 45% la decremento (Tabla 11).

6.2.1.5 Ejemplos de casos de estudio

Para el 72% de los participantes que usaron MúsicaFlexible su motivación con la música fue positiva y mostraron mejoras en control de fuerza y la sincronización de movimientos. Para ejemplificar estos casos, en esta subsección se presentan tres de los mejores casos del uso de MúsicaFlexible. En contraste, el 27% de los participantes que usaron MúsicaFlexible tuvieron diferentes problemas durante las sesiones de Neuro-MT. En esta subsección se presentan los tres casos en donde los participantes tuvieron problemas al interactuar con MúsicaFlexible.

- **Participante 1 (P1):** P1 es un niño con autismo severo de 6 años de edad, con problemas de coordinación principalmente en motricidad fina y control de movimientos. P1 realizó 24 actividades con MúsicaFlexible durante las ocho sesiones de Neuro-MT. P1 realizó mayormente la actividad de ritmo (42%) y la de control de fuerza (37.5%). P1 interactuó con seis canciones y tres familias de instrumentos musicales. Durante su primera sesión (puntuación de PiT = 4), P1 estuvo distraído y no entendió completamente las actividades. Después de la tercera sesión (puntuación de PiT = 9), P1 tuvo un mejor entendimiento de la terapia y su enganchamiento con la música incremento. Durante las primeras cuatro sesiones de la actividad de control de fuerza, para P1 fue complicado diferenciar entre empujar fuerte y suave –la fuerza aplicada entre las actividades fue casi la misma

⁴² La distancia es la estimación de la longitud de la trayectoria dibujada en el espacio de un movimiento de empuje.

(Diferencia \bar{X} = 0.02 N). Pero, después de cinco sesiones, P1 entendió la diferencia y logró empujar fuerte y suave la tela (Diferencia \bar{X} = 0.33 N, Figura 26-P1). En la actividad de ritmo, P1 mantuvo casi la misma respuesta entre intervalos en todas las sesiones (\bar{X} = IR = 2139 ms); sin embargo, su tiempo de reacción se redujo 82 ms después de la quinta sesión.

Al final de las sesiones, y de acuerdo con las evaluaciones pre y post- condición, P1 mejoró la coordinación de movimientos en un 16%. P1 incrementó al doble la diferencia entre empujar fuerte y suave (Diferencia = 1.52 N), y redujo su respuesta entre intervalos 200 ms, y su tiempo de reacción 24 ms. De manera general, la mejora motriz de P1 fue en términos de control de fuerza (Tabla 11).

- **Participante 3 (P3):** P3 es un niño con autismo severo de 6 años de edad, con problemas severos en coordinación, tanto en control de movimientos, motricidad fina y coordinación en general. P3 realizó 26 actividades con MúsicaFlexible. P3 realizó mayormente la actividad de ritmo (54%), y la de control de fuerza (30%). P3 interactuó con cinco canciones y cuatro familias de instrumentos musicales. Durante la primera sesión (puntuación PiT = 6), P3 se enfocó en “colorear” las nebulosas en la actividad de descubrir, y pasó poco tiempo en la actividad de empujar de manera libre. Después de 3 sesiones, su enganchamiento con la música se incrementó (puntaje \bar{X} de PiT = 9.6).

Durante las primeras 3 sesiones de la actividad de control de fuerza, P3 encontró difícil diferenciar como empujar fuerte y suave (Diferencia \bar{X} = 0.35 N, Figura 26-P3). Después de la cuarta sesión, P3 entendió la diferencia entre empujar fuerte y suave y la diferencia de fuerzas se incrementó (Diferencia \bar{X} = 1.63 N, Figura 26-P3).

En la actividad de ritmo, P3 disminuyó 300 ms su respuesta entre intervalos después de la quinta, y disminuyó 65 ms su tiempo de reacción después de la tercera sesión. Creemos que P3 trató de regular sus movimientos con el ritmo después de la tercera sesión.

Al final de las ocho sesiones, y de acuerdo con las evaluaciones pre y post- condición, P3 mejoró 20% su coordinación. La diferencia de fuerza entre empujar fuerte y suave fue tres veces mayor que al inicio (Diff. = 1.14 N). Sin embargo, su respuesta entre intervalos aumentó 177 ms, y su tiempo de reacción disminuyó 52 ms. En general, P3 tuvo mejoras tanto en el control de fuerza y la coordinación (Tabla 11).

- **Participante 10 (P10):** P10 es un niño con autismo severo de 8 años de edad con ligeros problemas en el control de movimientos. P10 realizó 24 actividades con MúsicaFlexible. P10 realizó mayormente la actividad de ritmo (45%), seguido por la de control de fuerza (29%). P10 interactuó con cinco canciones y cuatro familias de instrumentos musicales.

Durante la primera y tercera sesión (puntuación PiT = 7), P10 se mostró dispuesto en realizar las actividades de MúsicaFlexible sin embargo no comprendía completamente como obtener las notas musicales de la canción. Posteriormente, su enganchamiento con la música se incrementó (PiT= 9).

Desde la primera sesión hasta la sesión seis, P10 mostró un entendimiento de que era empujar fuerte y suave (Diferencia \bar{X} = 0.24 N, Figura 26-P10), sin embargo, en las últimas dos sesiones, esta diferencia fue más notoria (Diferencia \bar{X} = 0.51 N, Figura 26-P10).

En la actividad de ritmo, P10 no mostró un incremento o decremento en la respuesta entre intervalos, sin embargo, disminuyó 351 ms su tiempo de reacción comparando la primera sesión con la última sesión de la actividad de ritmo. Además, después de la tercera sesión, su terapeuta comenzó a realizar cambios en la velocidad del ritmo para tratar de retarlo a seguir ritmos más lentos o rápidos.

Al final de las ocho sesiones, y de acuerdo con las evaluaciones pre y post- condición, P10 mejoró 17% su coordinación. P10 aumentó 1.42 N su diferencia de fuerza entre empujar fuerte y suave. Su respuesta entre intervalos disminuyó 469 ms y su tiempo de reacción disminuyó 54 ms. En general P10 mostró mejoras en el control de fuerza, sincronización de movimientos y coordinación (Tabla 11).

- **Participante 2 (P2):** P2 es un niño con autismo severo de 5 años de edad, con problemas de coordinación principalmente en control de movimiento. P2 realizó 15 actividades con MúsicaFlexible. P2 realizó mayormente la actividad de empujar de manera libre (66%), posteriormente la de seguimiento de ritmo (20%) y finalmente la de control de fuerza (13%). P2 interactuó con 2 canciones y 2 familias de instrumentos musicales. Durante la primera sesión (puntuación PiT = 5), P2 estuvo distraído y renuente a tocar la tela. Después de tres sesiones, su motivación con la música disminuyó (puntuación PiT = 2), y estuvo la mayor parte del tiempo tratando de evitar los estímulos que producía MúsicaFlexible.

Durante las primeras cuatro sesiones, P2 sólo realizó las actividades de empujar de manera libre hasta que logró dominar empujar con ambas manos. Posteriormente, en la sesión seis y ocho realizó la actividad de control de fuerza. La primera vez que realizó la actividad de control de fuerza, empujó casi con la misma fuerza tanto fuerte como suave (Fuerza \bar{X} = 0.02 N, Figura 26-P2), mientras que en la segunda ocasión, logró incrementar 0.4 N su fuerza al empujar fuerte.

La actividad de ritmo la realizó durante las sesiones cinco, siete y ocho, comparando la sesión cinco con la ocho, el P2 tuvo una disminución de 1266 ms su respuesta entre intervalos, pero incremento 105 ms su tiempo de reacción.

Al final de las ocho sesiones, y de acuerdo con las evaluaciones pre y post- condición, P2 mejoró 8% su coordinación. La diferencia entre empujar fuerte y suave se incrementó 0.2 IN, su respuesta entre intervalos disminuyó 1208 ms, y su tiempo de reacción disminuyó 1008 ms (Tabla 11).

- **Participante 6 (P6):** P6 es un niño con autismo severo de 6 años de edad, con problemas severos en coordinación, principalmente en el control de movimientos y la motricidad fina. P6 realizó 23 actividades con MúsicaFlexible. P6 realizó 34% de las veces la actividad de empujar de manera libre y control de fuerza, y 30% la de empujar de ritmo. P6 interactuó con tres canciones y tres familias de instrumentos musicales. Durante la primera sesión (PiT = 4), P6 disfrutó mucho observar la tela, pero le fue difícil tocarla. Después de tres sesiones, su motivación aumentó ligeramente (PiT \bar{X} = 6), y tuvo más contacto con los estímulos táctiles de la tela.

Todas las sesiones de Neuro-MT P6 realizó la actividad de empujar de manera libre, y la terapeuta lo motivaba a realizar la actividad de control de fuerza. Durante la actividad de empujar fuerte, P6 trataba de empujar al cohete para obtener las notas musicales, y logró incrementar su fuerza 0.7 N conforme pasaban las sesiones. Pero, cuando se trataba de empujar suave, la actividad le parecía complicada causándole frustración por lo que sólo pudo terminar las repeticiones de empujar suave en dos ocasiones (Figura 26-P6).

La actividad de ritmo sólo la practicó durante cinco sesiones, sin embargo, durante estas sesiones su respuesta entre intervalos permaneció casi igual (RI = 4133 ms), al igual que su tiempo de reacción (TR = 581 ms).

Al final de las ocho sesiones, y de acuerdo con las evaluaciones pre y post- condición, P6 mejoró 5% su coordinación. La diferencia entre empujar fuerte y suave se mantuvo casi igual, su respuesta entre intervalos disminuyó 634 ms, así como su tiempo de reacción 186 ms (Tabla 11).

- **Participante 11 (P11):** P11 es un niño con autismo severo de 7 años de edad, con problemas severos en coordinación, tanto en el control de movimientos, motricidad fina y coordinación general. Además, P11 tiene problemas severos de atención, y su terapeuta recomendó no realizar muchos cambios durante cada sesión. P11 realizó 14 actividades con MúsicaFlexible y solo interactuó con dos canciones y una familia de instrumentos musicales. P11 realizó mayormente la actividad de empujar de manera libre (43%), siguiendo con la actividad de control de fuerza (28%) y finalmente la de ritmo (28%).

Durante las primeras cinco sesiones (PiT \bar{X} = 4), P11 estuvo distraído y no mostró motivación con la música, sin embargo, en la sesión siete y ocho (PiT = 9), P11 estuvo más dispuesto y motivado al interactuar con MúsicaFlexible. Esto pudiera ser a que después de siete sesiones para P11 fue más fácil procesar lo estímulos multisensoriales.

Durante las primeras dos sesiones P11 sólo realizó la actividad de empujar de manera libre. Posteriormente la terapeuta fue combinando esta actividad con la actividad de ritmo. Las últimas cuatro sesiones de Neuro-MT fue cuando P11 practicó la actividad de control de fuerza. En la actividad de control de fuerza, sólo en dos ocasiones logró terminar el número de repeticiones de empujar suave, y al empujar, usó casi la misma fuerza durante todas las sesiones (\bar{X} de fuerza = 0.5 N; Figura 26-P11).

En la actividad de ritmo, P11 no mostró mejoras en la respuesta entre intervalos (\bar{X} de RI = 3085 ms), ni en el tiempo de reacción (\bar{X} de RI = 745 ms), dado que aumentaban y disminuían ambas sin mostrar alguna tendencia entre las sesiones.

Al final de las ocho sesiones, y de acuerdo con las evaluaciones pre y post- condición, P1 mejoró 4% su coordinación. La diferencia entre empujar fuerte y suave se incrementó 0.1 N, su repuesta entre intervalos aumentó 200 ms, y su tiempo de reacción disminuyó 10 ms (Tabla 11).

Tabla 12. Resumen de las evaluaciones pre- y post- condición de los participantes.

		Coordinación				Control de fuerza		Sincronización de movimientos	
		Control (puntaje)	Fina (puntaje)	General (puntaje)	Total (puntaje)	Fuerte (N)	Suave (N)	Respuesta entre intervalos (ms)	Tiempo de reacción (ms)
P1	PRE	22	10	14	46	0.87	0.12	1494	464
	POST	28	10	20	58	1.71	0.19	1205	439
P3	PRE	9	4	10	23	0.51	0.02	466	644
	POST	17	7	14	38	2.12	0.49	475	423
P10	PRE	20	11	21	52	0.47	2.02	1569	522
	POST	27	15	23	65	0.38	0.25	1100	464
P2	PRE	20	13	16	49	0.05	0.02	3678	1501
	POST	22	15	18	55	0.79	0.48	2470	493
P6	PRE	10	4	11	25	0.19	0.23	5177	891
	POST	10	7	12	29	0.79	0.49	4543	705
P11	PRE	10	4	8	22	0.40	0.384	1247	589
	POST	13	4	8	25	0.68	0.79	1427	579

6.2.2 Discusión sobre el uso de MúsicaFlexible por el grupo experimental

Durante las sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible observamos que la cuarta sesión fue la de menor duración. Probablemente, en la cuarta semana de cada participante, pasó el “efecto novedad” y los participantes se acostumbraron a usar MúsicaFlexible. Sin embargo, las sesiones posteriores tuvieron una duración ligeramente mayor a la cuarta semana. Una posible explicación a este incremento en el tiempo de uso, es que los terapeutas empezaron a cambiar las canciones y los sonidos de los instrumentos musicales con más frecuencia. La personalización de canciones y sonidos sugiere que MúsicaFlexible ofrece una variedad de estímulos auditivos que los terapeutas pueden seleccionar de

acuerdo a las preferencias de los participantes y motiva a los participantes a seguir usando MúsicaFlexible.

Por otra parte, analizando el tiempo de uso por actividad, los resultados muestran que la actividad de ritmo de MúsicaFlexible fue realizada muchas veces en poco tiempo, en contraste con la actividad de control de fuerza que fue realizada pocas veces, pero con una mayor duración de tiempo. Una posible explicación es que el ritmo de fondo durante la actividad de ritmo agilizó las interacciones de los participantes (lo jugaron más rápido), en contraste con la actividad de control de fuerza que requería más tiempo para completar las repeticiones.

Los participantes disfrutaron mucho observar la nebulosa espacial de MúsicaFlexible en la actividad de descubrir, sin embargo, en las actividades motrices (*e.g.*, ritmo, control de fuerza), los participantes preferían empujar al cohete para obtener notas musicales. Este resultado sugiere que las actividades abiertas motivan mayormente a los participantes a interactuar con la experiencia multi-sensorial de MúsicaFlexible, mientras que las actividades con estructura los motivan a realizar repetición de movimientos. Este resultado refuerza la importancia de balancear las actividades abiertas con actividades estructuradas (Richard A. Schmidt, 1988). Este balance pudiera ayudar a la motivación de los niños con autismo en realizar repetición de un mismo movimiento y descubrir nuevas maneras de interacción.

En la actividad de control de fuerza, la mayoría de los participantes incrementó su fuerza cuando se les pedía que empujaran fuerte conforme pasaban las sesiones. Sin embargo, menos de la mitad de los participantes logró disminuir su fuerza cuando se les pedía que empujaran suave. El incremento en el uso de fuerza de los participantes durante las sesiones de Neuro-MT muestra que la máxima elasticidad de la tela que usa MúsicaFlexible sirve como retroalimentación para mejorar el entendimiento de empujar fuerte. El resultado de que menos participantes usaran menos fuerza cuando empujaron suave la tela, pudiera indicar que los participantes encuentran más difícil aprender a empujar más suave que empujar más fuerte, una posible causa es la falta de retroalimentación táctil de hasta donde se debe empujar la tela cuando es suave.

En la actividad de ritmo, la mayoría de los participantes mostró un incremento en su respuesta entre intervalos conforme pasaban las sesiones. Este resultado sugiere que para la mayoría de los participantes fue complicado seguir un patrón de movimientos rítmicos. Aunque el ritmo de fondo se sincronizaba con el ritmo de la canción, empujar rítmicamente el objetivo visual fue complicado, ya que

le cohete se movía tanto de manera vertical como horizontal, por lo que los participantes más pequeños, necesitaban dar algunos pasos para moverse alrededor de la tela y empujar el cohete.

Por ejemplo, al seguir la rutina de ejercicio en la actividad de ritmo, el cohete toma la ubicación de acuerdo a las notas de la canción y la rutina de ejercicio (Ver Anexo 1). Al inicio de la rutina, el cohete aparece primero al lado izquierdo, a la altura de la nota de la canción, por lo que pudiera aparecer primero al lado izquierdo en la parte central para que el niño lo empuje con la mano izquierda (Figura 27 – izquierda-arriba), cuando obtiene la nota de la canción, el cohete se pudiera mover a la parte de abajo de la tela para obtener la siguiente nota (Figura 27 – derecha-arriba). Al terminar los ejercicios con la mano izquierda, el cohete aparece al lado derecho de la tela, y a la altura de la siguiente nota música, por lo que pudiera aparecer de nuevo en la parte central. El niño tiene entonces que desplazarse al lado derecho de MúsicaFlexible para empujar el cohete con la mano derecha (Figura 27 – izquierda-centro). Posteriormente, el cohete aparece en la parte inferior y el niño de nuevo lo empujara con la mano derecha (Figura 27 – izquierda-centro). Al final los ejercicios de empuje con la mano derecha, el cohete aparece en la parte izquierda y posteriormente en la parte derecha para que el niño empuje de manera alternada, por lo que tiene que deberá desplazarse de izquierda a derecha para empujar el cohete (Figura 27-abajo).

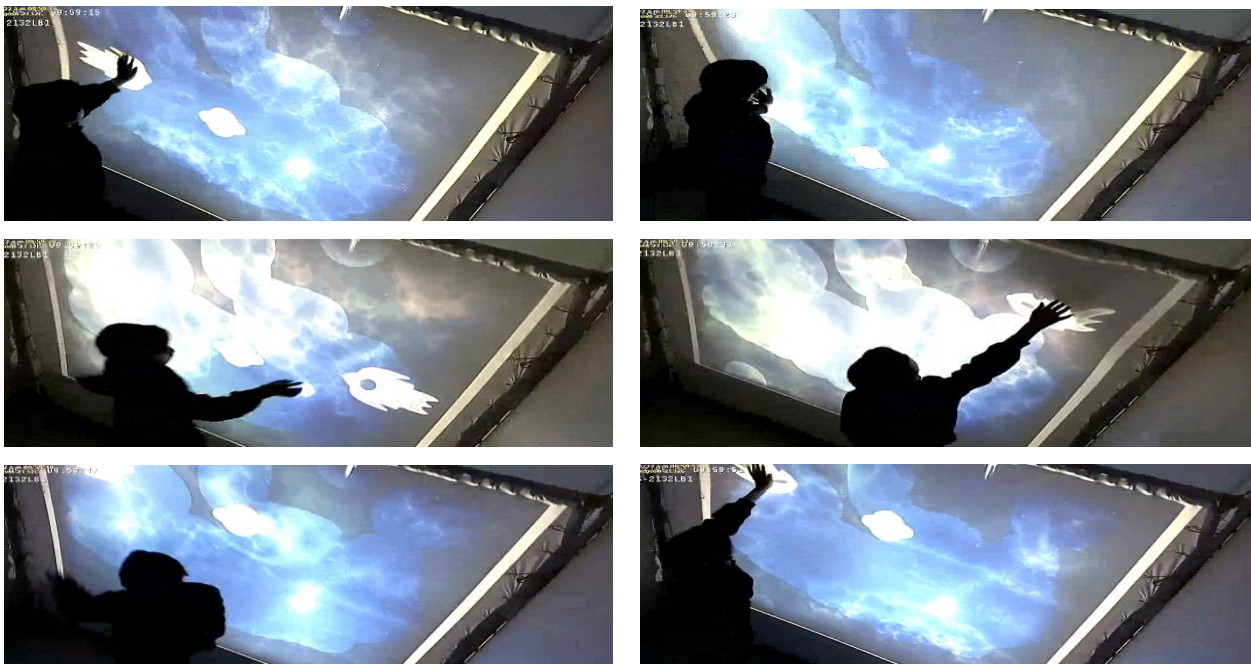


Figura 27. Participante realizando una rutina de ejercicios en MúsicaFlexible, empujando con la mano izquierda en la parte central de la tela (izquierda-arriba); empujando con la mano izquierda en la parte de abajo de la tela (derecha-arriba); desplazándose para empujar con la mano derecha (izquierda centro); empujando con la mano derecha en la parte superior de la tela (derecha-centro); desplazándose para empujar de nuevo con la mano derecha (izquierda-abajo); empujando con la mano derecha en la parte superior de la tela (derecha –abajo).

Para evitar que el niño se desplace y pueda seguir el ritmo fácilmente, los estímulos visuales se deben re-diseñar para que su atención no tenga que estar dividida entre “coordinar” el movimiento de los elementos visuales con el ritmo de la música.

En la actividad de descubrir, la mayoría de los participantes también incremento su respuesta entre intervalos. Esto sugiere que los participantes prefieren explorar diferentes tipos de movimientos que seguir un patrón rítmico predefinido –en especial por la actividad de descubrir no tiene un ritmo de fondo. Además, la longitud de los movimientos indica que los participantes realizan movimientos cortos y largos al interactuar con la tela, y no existe una preferencia clara de que movimientos prefieren realizar en la actividad de descubrir.

Analizando los resultados por participante encontramos que para los niños con problemas sensoriales y de atención severos, el uso de MúsicaFlexible pudiera resultar abrumador y probablemente requieran más tiempo realizar la actividad de descubrir que les ayude a mejorar su integración sensorial. Por ejemplo, creemos que P6 tenía preferencia el estímulo visual con respecto al táctil y al audible; P2, no logró procesar el estímulo audible del ritmo, por lo que sólo trataba de empujar la tela para sentir el estímulo táctil; y los problemas de atención de P11 eran tan severos que los estímulos multisensoriales no captaron su atención desde las primeras sesiones. Sin embargo, los tres tuvieron ligeras mejoras en la post- evaluación. Una posible explicación es que, a pesar de las dificultades que enfrentaron estos participantes para procesar la información sensorial de MúsicaFlexible, el estar expuestos a los estímulos y empujar la tela usando sus manos, pudo ayudarles a ganar confianza de que sus manos podían empujar la tela y mejorar al final, su coordinación y control de movimientos. Sin embargo, los tres pudieran requerir más sesiones para lograr una integración sensorial que les permita practicar más actividades en MúsicaFlexible.

En contraste, los participantes P1, P3 y P10 fueron capaces de procesar todos los estímulos multisensoriales que ofrece MúsicaFlexible, lo que les permitió permanecer atentos y motivados con la terapia. Además, sus mejoras durante las sesiones, tanto en control de fuerza como sincronización de movimiento, sugieren que los participantes entendieron como sus manos podían controlar la resistencia de la tela, por ejemplo trataban de empujar más fuerte o más suave para ayudar al cohete y recolectar notas musicales. Además, para ellos el procesamiento del ritmo fue más fácil por lo que pudieron sincronizar sus movimientos con los sonidos rítmicos, incluso, P3 disfrutaba aplaudir siguiendo la música. Estas mejoras se reflejaron en la post-evaluación, donde los tres participantes mejoraron tanto

el control de fuerza, la sincronización de movimientos y la motricidad en comparación con la pre-evaluación.

6.2.3 Comparación de la eficacia del uso de MúsicaFlexible contra el uso de panderos

En esta sección se presenta la comparación entre los participantes que usaron MúsicaFlexible (grupo experimental) y los que usaron panderos (grupo de control) en relación a su motivación con la música, su control de fuerza, la sincronización de sus movimientos y su coordinación. Los resultados muestran que MúsicaFlexible es más motivante y eficiente en apoyar el control de fuerza y mejorar el tiempo de reacción en niños con autismo severo que los panderos. Sin embargo, los participantes que usaron los panderos, disminuyeron más su respuesta entre intervalos. En general, ambos grupos mostraron mejoras en la coordinación, en la sub-área de “control de movimientos”; sin embargo, los participantes que usaron MúsicaFlexible mostraron también mejoras en las sub-áreas de “motricidad fina” y “coordinación en general”.

6.2.3.1 Motivación con la música

De acuerdo con el cuestionario de motivación con la música (PiT), los resultados muestran que la motivación con la música de los participantes que usaron MúsicaFlexible fue 1.2 puntos mayor a su motivación al usar panderos. De manera adicional, la motivación con la música de 91% de los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementó o se mantuvo durante las ocho sesiones. En contraste, sólo el 55% de los participantes que usaron panderos presentaron un comportamiento similar (Figura 28).

A pesar que el uso de panderos y MúsicaFlexible eran nuevas experiencias para los participantes, la motivación con la música de los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementó 2.63 puntos (en promedio) entre la primera y la tercera sesión. En contraste, la motivación con la música de los participantes que usaron panderos se mantuvo casi igual después de la tercera sesión (1.18 puntos).

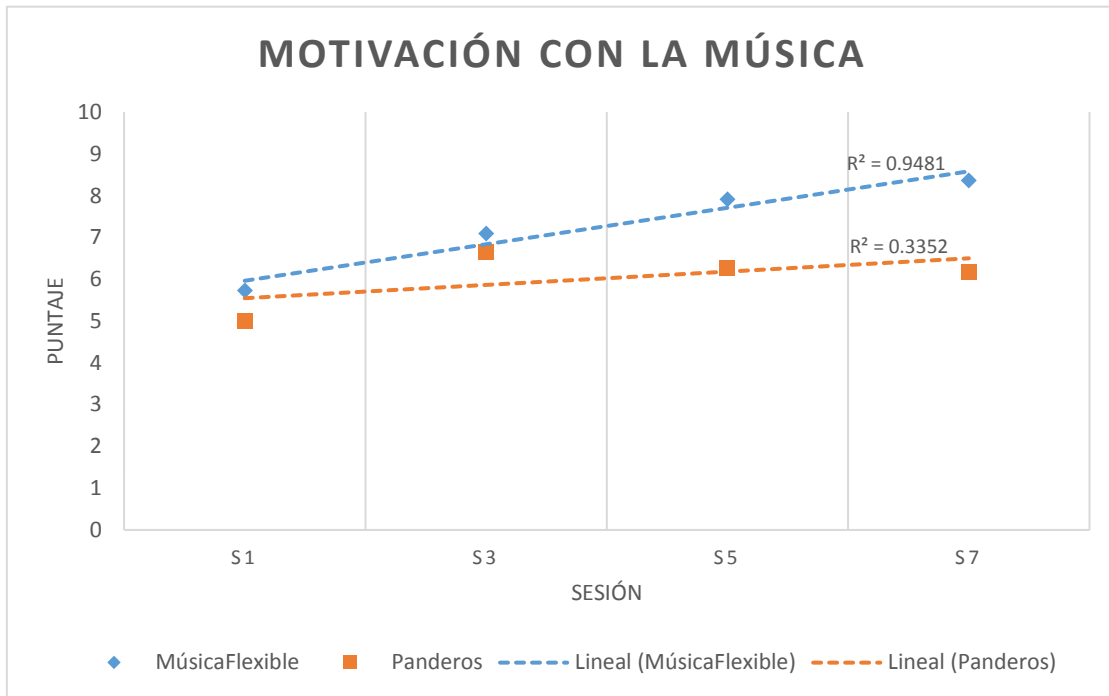


Figura 28. Puntaje promedio de la encuesta sobre la motivación con la música por sesión.

6.2.3.2 Control de fuerza

Los resultados muestran que ambos grupos exhibieron mejoras en la prueba de empujar fuerte. Todos los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron su fuerza cuando realizaron la prueba de empujar fuerte después de haber tomado ocho sesiones de Neuro-MT, mientras que el 90.1% de los participantes que usaron panderos incrementaron su fuerza. Los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron 1.37 veces más su fuerza (incremento $\bar{X} = 1.29 \text{ N}^{43}$; $p=0.003$) que los que usaron panderos (incremento $\bar{X} = 0.94 \text{ N}$; $p=0.003$; Figura 29- izquierda-arriba).

Aunque ambos grupos tuvieron una diferencia significativa cuando empujaron fuerte, el 63% de los participantes que usaron MúsicaFlexible empujaron con más fuerza ($\bar{X} = 0.8 \text{ N}$ más) en la post-condición en comparación con la pre-condición. En contraste, solo el 45% de los participantes que usaron panderos mostraron este incremento. En relación a la prueba de empujar suave, el 45.4% de los participantes en ambos grupos usaron menos fuerza en la post- evaluación y el resto de los

⁴³ incremento $\bar{X} = \bar{X}$ fuerza postCondición - \bar{X} fuerza preCondición

participantes (54.5%) incrementó ligeramente su fuerza. Los participantes que usaron MúsicaFlexible redujeron su fuerza en 0.38 N en promedio ($p=0.78$); en contraste a los participantes que usaron panderos, los cuales incrementaron su fuerza por 0.08 N ($p=0.53$; Figura 29- derecha-arriba).

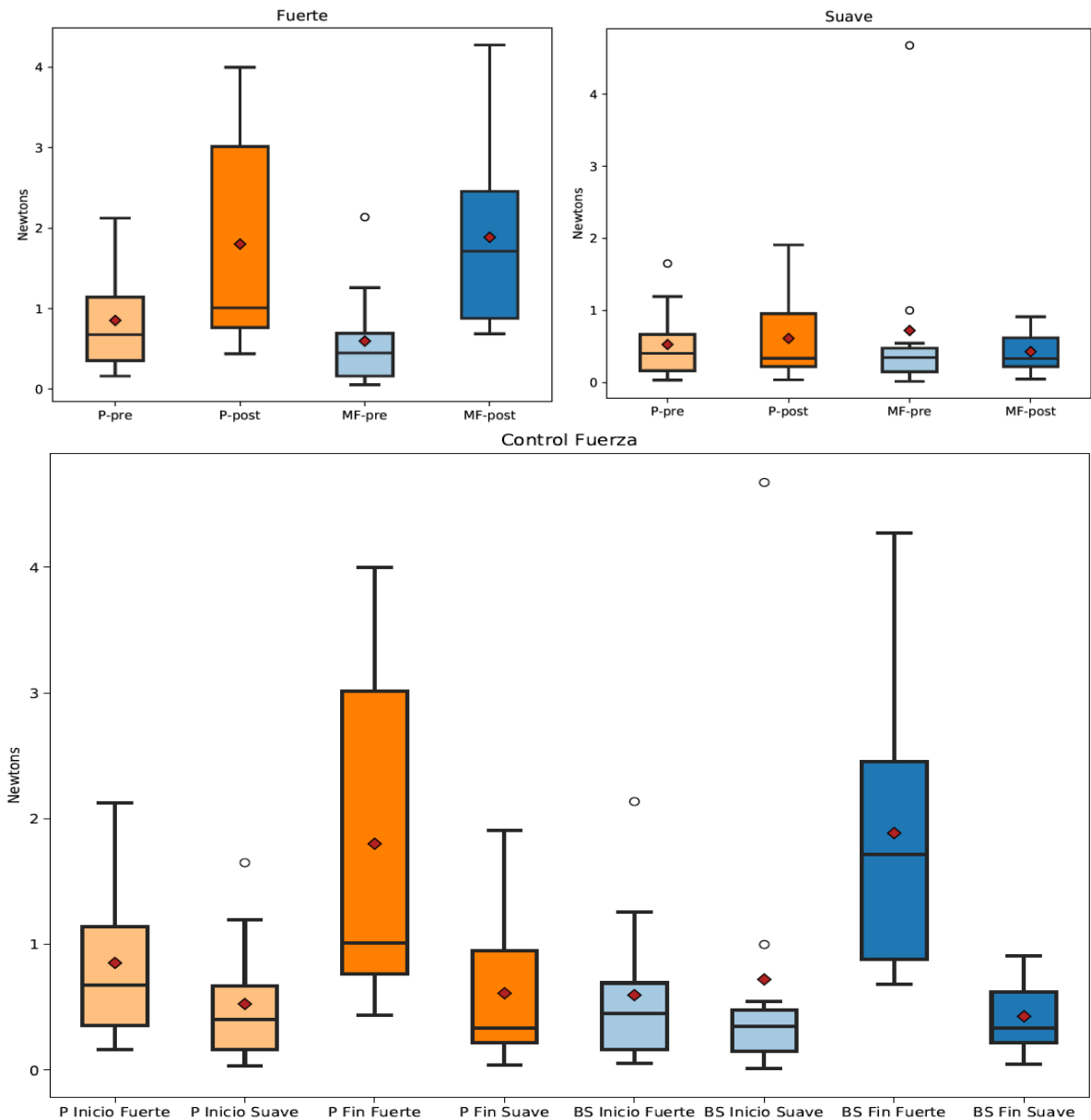


Figura 29. Comparación de la distribución de los puntajes de la estimación de fuerza indirecta usada por los participantes en la pre- y post- evaluación cuando empujaron fuerte (izquierda-arriba), suave (derecha-arriba) y ambas (abajo) en la evaluación de control de fuerza. Los participantes que usaron panderos (P) en naranja y los participantes que usaron MúsicaFlexible (MF) en azul. El rombo rojo representa el promedio. Las gráficas de cajas muestran los valores de la mediana (línea horizontal), los valores inter-cuartiles (contorno de la caja), valores mínimos y máximos de los cuartiles superior e inferior (bigotes), y valores atípicos (círculos).

Finalmente se compararon las diferencias de la fuerza que los participantes usaron cuando se empuja fuerte y suave entre las mediciones pre- y post-condición. La diferencias de fuerza de los participantes que usaron MúsicaFlexible fue casi el doble (\bar{X} del incremento 1.58 N⁴⁴; $p = 0.004$), en comparación con los participantes que usaron panderos (\bar{X} del incremento = 0.86 N; $P=0.016$; Figura 29).

6.2.3.3 Sincronización de movimientos

El 72% de los participantes que usaron MúsicaFlexible disminuyeron la respuesta entre intervalos en la post-evaluación; en contraste al 54% de los participantes que usaron panderos. Sin embargo, los participantes que usaron panderos disminuyeron casi el doble su respuesta entre intervalos (\bar{X} de mejora IR = 1463 ms⁴⁵; $p=0.04$) que los participantes que usaron MúsicaFlexible (\bar{X} de mejora = 681 ms; $p=0.04$) (Figura 30-derecha).

Comparando la respuesta entre intervalos contra el tiempo de espera entre los sonidos de fondo (valor esperado = 1000 ms), se observó que el 81% de los participantes que usaron MúsicaFlexible estuvieron más cerca de los 1000 ms (*i.e.*, el tiempo de espera entre los sonidos de fondo) en la post-evaluación; en contraste, con el 63% de los participantes que usaron panderos (Figura 30-derecha). Aunque los participantes que usaron MúsicaFlexible tuvieron una respuesta entre intervalos, mayor a los participantes de panderos, estuvieron 120 ms más cerca del tiempo de espera entre los sonidos de fondo que los participantes que usaron panderos.

Todos los participantes que usaron MúsicaFlexible disminuyeron su tiempo de reacción (TR), mientras que sólo el 72% de los participantes que usaron panderos lo lograron disminuir. En promedio, los participantes que usaron MúsicaFlexible mejoraron 1.4 más su tiempo de reacción (\bar{X} de mejora TR = 69 ms⁴⁶; $p=0.003$) que los que usaron panderos (\bar{X} de mejora TR = 49 ms; $p = 0.09$).

Comparando el tiempo de reacción de los participantes, con el tiempo de reacción de niños neurotípicos entre 8 y 11 años (TR de niños neurotípicos = 425 ms) (Piek & Skinner, 1999), los resultados muestran que todos los participantes que usaron MúsicaFlexible estuvieron más cerca del tiempo de reacción de niños neurotípicos después de haber tomado las sesiones de Neuro-MT. En contraste, solo el 72% de los

⁴⁴ \bar{X} del incremento de fuerza = (\bar{X} post Fuerte – \bar{X} post Suave) – (\bar{X} pre Fuerte – \bar{X} pre Suave)

⁴⁵ \bar{X} de mejora IR = \bar{X} post IR – \bar{X} pre IR

⁴⁶ \bar{X} de mejora TR = \bar{X} post TR - pre TR

participantes que usaron panderos estuvieron más cerca. En promedio, los participantes que usaron MúsicaFlexible (diferencia \bar{X} TR = 68 ms⁴⁷; p=0.003) estuvieron 1.64 veces más cerca del tiempo de reacción de niños neurotípicos, que los participantes que usaron panderos (diferencia \bar{X} TR = 41 ms; p=0.35).

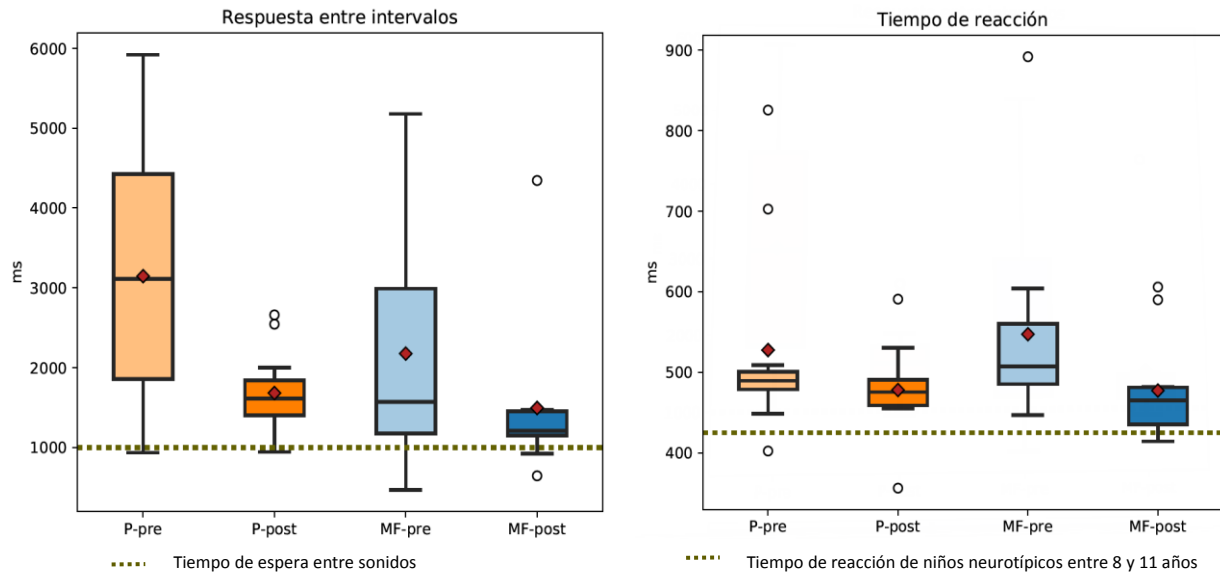


Figura 30. Comparación entre la distribución de la respuesta entre intervalos (izquierda), y el tiempo de reacción (derecha), en la pre y post- evaluación. Participantes que usaron panderos (P) en naranja y participantes que usaron MúsicaFlexible (BnSn) en azul. Las gráficas de cajas muestran los valores de la mediana (línea horizontal), los valores inter-cuartiles (contorno de la caja), valores mínimos y máximos de los cuartiles superior e inferior (bigotes), y valores atípicos (círculos). La línea punteada representa el valor esperado.

6.2.3.4 Coordinación motriz

Todos los participantes mostraron mejoras en la coordinación de acuerdo con el cuestionario DCDQ; sin embargo, los participantes que usaron MúsicaFlexible mostraron 6% más puntuación (\bar{X} mejora DCDQ⁴⁸ = 10.4%; p=0.0001) que los participantes que usaron panderos (\bar{X} mejora DCDQ = 4.6%; p=0.003; Figura 31). Para entender mejor esta diferencia, se analizaron los puntajes del cuestionario DCDQ de acuerdo a tres sub-secciones: “control durante el movimiento”, “motricidad fina”, y “coordinación general”.

⁴⁷ diferencia \bar{X} TR = \bar{X} post TR - 425

⁴⁸ \bar{X} mejora DCDQ = $(\bar{X}$ post DCDQ - \bar{X} pre DCDQ)/(75*100)

Para el “control durante el movimiento”, los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron su puntaje 5.33 % ($p=0.0004$) mientras que los participantes que usaron panderos tuvieron la mitad de este incremento (\bar{X} del incremento = 2.42%; $p=0.018$; Figura 31).

De acuerdo con las preguntas relacionadas a “motricidad fina”, los participantes que usaron MúsicaFlexible mejoraron 3% más sus habilidades de motricidad fina ($p=0.002$) mientras que los participantes que usaron panderos sólo mejoraron 1.5% ($p=0.118$; Figura 31).

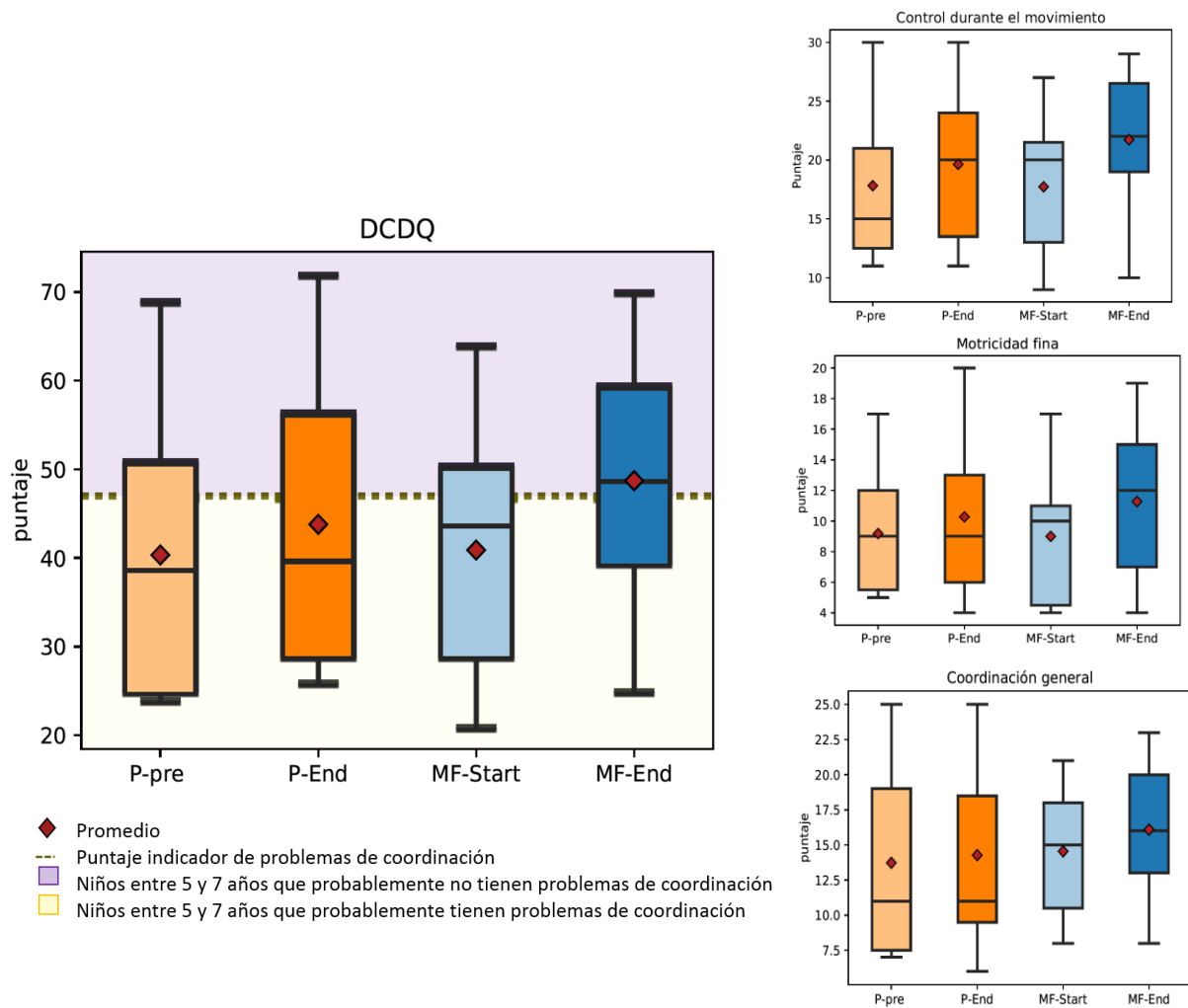


Figura 31. Comparación entre la distribución de los puntajes del cuestionario DCDQ (izquierda), y los tres factores que componen el cuestionario (derecha), tanto en la pre- como post- evaluación. Participantes que usaron panderos (P) en naranja, y participantes que usaron MúsicaFlexible (MF) en azul. Las gráficas de cajas muestran los valores de la mediana (línea horizontal), los valores inter-cuartiles (contorno de la caja), valores mínimos y máximos de los cuartiles superior e inferior (bigotes), y valores atípicos (círculos). La línea punteada representa el valor esperado.

Finalmente, en relación a la “coordinación general”, los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron 2% su puntaje ($p=0.017$) mientras que casi no hubo incremento para los participantes que usaron los panderos (0.7%; $p=0.31$; Figura 31).

Por otra parte, los resultados del DCDQ indican que el 18% de los participantes que usaron MúsicaFlexible redujeron sus problemas de coordinación al grado de obtener un valor “normal” con un puntaje arriba de los 46 puntos –los niños de 4 a 7 años con puntajes entre 15 a 45 tiene más probabilidades de tener problemas de coordinación que niños con puntajes mayores a 46 (Wilson, 2009). Mientras que sólo el 9% de los participantes que usaron panderos incrementaron este puntaje.

6.2.4 Discusión sobre la comparación de la eficacia del uso de MúsicaFlexible contra el uso de panderos

De acuerdo con el cuestionario PiT, el incremento de la motivación con la música, por parte de los participantes que usaron MúsicaFlexible sugiere que la experiencia interactiva que ofrece MúsicaFlexible trabaja en conjunto con la música para incrementar la motivación de los niños con autismo durante todas las sesiones de Neuro-MT. También la posibilidad de escuchar diferentes notas musicales o sonidos de los instrumentos musicales pudiera ayudar a los niños con autismo a estar más atentos y enganchados en cada sesión. Por lo que, este resultado sugiere que MúsicaFlexible es una mejor herramienta que los panderos para mantener a los niños con autismo severo motivados mientras interactúan con la música durante una sesión de Neuro-MT.

Analizando los resultados de la prueba de control de fuerza encontramos que los participantes que usaron MúsicaFlexible tuvieron un mayor incremento al empujar fuerte que los que usaron panderos. Este resultado sugiere que MúsicaFlexible ayuda al entendimiento de cómo empujar fuerte en comparación del uso de panderos. Se atribuye este comportamiento a la retroalimentación táctil que tienen las superficies elásticas que ayuda a los usuarios a entender rápidamente como funciona la regulación de fuerza (Müller et al., 2015). Sin embargo, en ambos grupos se encontró que la mayoría de los participantes incrementaran su fuerza en la prueba de empujar suave. Una posible razón es que los participantes encontraron más difícil entender variaciones de fuerza cuando empujaban suave. Esto pudiera ser parcialmente explicado debido a que ni MúsicaFlexible, ni los panderos, provee retroalimentación de que significa empujar “suave”. En contraste, el estiramiento máximo de la tela

brinda a los participantes una idea de cuál es la fuerza máxima dándoles una retroalimentación de lo que pudiera ser una “condición de parada”.

En general, en términos de control de fuerza, creemos que MúsicaFlexible es una herramienta útil para apoyar las sesiones de Neuro-MT para la regulación de fuerza de niños con autismo de la misma o de una mejor manera que usar panderos. La retroalimentación táctil inmediata que provee MúsicaFlexible permite a los niños ganar un mejor entendimiento sobre qué tanta fuerza están usando sus movimientos, especialmente cuando empujan fuerte. Se requiere modificar el diseño de MúsicaFlexible para mejorar la retroalimentación que se proporciona a los usuarios al empujar suave.

De acuerdo con los resultados de la prueba de sincronización de movimientos, encontramos que los participantes que usaron panderos disminuyeron casi el doble su respuesta entre intervalos, en comparación de los participantes que usaron MúsicaFlexible. Esto pudiera ser a que los panderos tienen únicamente el estímulo auditivo permitiéndoles a los participantes realizar los movimientos de una manera más constante; en contraste con MúsicaFlexible que usa muchos estímulos que pudieran dividir la atención de los participantes. En contraste, todos los participantes que usaron MúsicaFlexible disminuyeron su tiempo de reacción y estuvieron más cerca del tiempo de reacción de niños neurotípicos, mientras que sólo tres cuartas partes de los participantes que usaron panderos tuvieron esta mejora. Es probable que los participantes en ambos grupos hayan respondido de manera satisfactoria al ritmo de fondo que se usó durante la actividad de ritmo ayudándoles a mejorar su tiempo de respuesta ante estímulos. Sin embargo, una posible explicación del porque todos los participantes que usaron MúsicaFlexible mejoraron su tiempo de reacción es que la integración de múltiples estímulos, organizados de manera congruente, ayuda a los niños con autismo severo a procesar la información de una manera similar a los niños neurotípicos, ya que la correspondencia entre estímulos facilitan el procesamiento sensorial y la respuesta motriz (Longo & Haggard, 2009).

En términos de coordinación, todos los participantes mostraron mejoras de acuerdo al cuestionario DCDQ. Sin embargo, estas mejoras fueron mayores por parte de los participantes que usaron MúsicaFlexible. Este incremento en los puntajes del DCDQ, sugiere que los participantes tienen las mismas o mejores probabilidades de mejorar su coordinación usando MúsicaFlexible que usando panderos.

Además, los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron más su puntaje en términos de “coordinación fina” y “coordinación general”, en comparación con los participantes que usaron panderos. Creemos que las mejoras en coordinación fina se deben a que los participantes que usaron

MúsicaFlexible algunas veces practicaban también habilidades de motricidad fina durante las sesiones, mientras que los panderos carecen de las propiedades para invitar a los usuarios a practicar movimientos más finos. Por ejemplo, los participantes podían pellizcar o usar sólo un dedo para tocar la tela. Mientras que la mejora en “coordinación general” se pueden deber a que los participantes que usaron MúsicaFlexible, además de realizar movimientos para el control de fuerza, también practicaban habilidades de motricidad gruesa en general. Por ejemplo, usaban su espalda, cabeza o pies para empujar la tela o tenían que controlar su balance cuando la tela rebotaba. Mientras que con los panderos los participantes estuvieron la mayor parte del tiempo “estáticos”, ya sea parados o sentados, y movían más sus manos que otras partes de su cuerpo.

En general, las mejoras de la coordinación por parte de los participantes que usaron MúsicaFlexible muestran que MúsicaFlexible motivan a los niños con autismo a realizar una mayor variedad de movimientos y ejercicios que pudieran mejorar diferentes habilidades motrices (*e.g.*, balance, motricidad fina) usando una sola herramienta. En contraste, los panderos principalmente mejoraron el control de movimientos, por lo que los terapeutas necesitan tener un mayor número de instrumentos musicales para proveer las ventajas disponibles en MúsicaFlexible (*i.e.*, tener un modelo de interacción que permita a los niños empujar, torcer, jalar, usando un dedo, manos completa o diferentes partes del cuerpo (Müller et al., 2015; Troiano et al., 2014)). Por ejemplo, el uso de un piano en lugar de un pandero pudiera de mejor manera mejorar habilidades de motricidad fina durante las sesiones de Neuro-MT (Costa-Giomi, 2005).

Sin embargo, sería prematuro decir que MúsicaFlexible mejora la coordinación de todos los niños con autismo, dado que, de acuerdo a los resultados mostrados, para algunos de los participantes con problemas sensoriales más severos, es necesario que tomen más sesiones, y se personalicen aún más los estímulos sensoriales. No obstante, este estudio muestra que es posible mejorar la coordinación de los niños con autismo severo utilizando tecnología, y que MúsicaFlexible es un ejemplo de cómo esta tecnología puede apoyar a niños en el desarrollo de su motricidad, principalmente en el control de sus movimientos.

6.2.5 Relaciones entre las características de los movimientos

En esta subsección se presentan las principales relaciones que se encontraron entre las variables que se evaluaron durante el estudio. Estas relaciones ayudan a entender si existe una congruencia entre las

medidas de las pruebas de valoración y que variables que pudieran afectar el entendimiento de fuerza en niños con autismo.

6.2.5.1 Relaciones entre las pruebas de valoración

Los resultados muestran que existe una correlación entre la respuesta entre intervalos y la fuerza con la subsección de “control de movimientos” del cuestionario DCDQ.

En la prueba de sincronización de movimientos se encontró que existe una correlación negativa entre el promedio de la respuesta entre intervalos y el puntaje de la sección de “control de movimientos” ($\rho = -0.428$; $p = 0.003$; Figura 32-izquierda).

En la tarea de control de fuerza se encontró que existe una correlación débil positiva entre la diferencia promedio de fuerzas aplicadas cuando empujan suave y fuerte con el puntaje de la sección de “control de movimientos” ($\rho = 0.316$; $p = 0.036$; Figura 32-derecha).

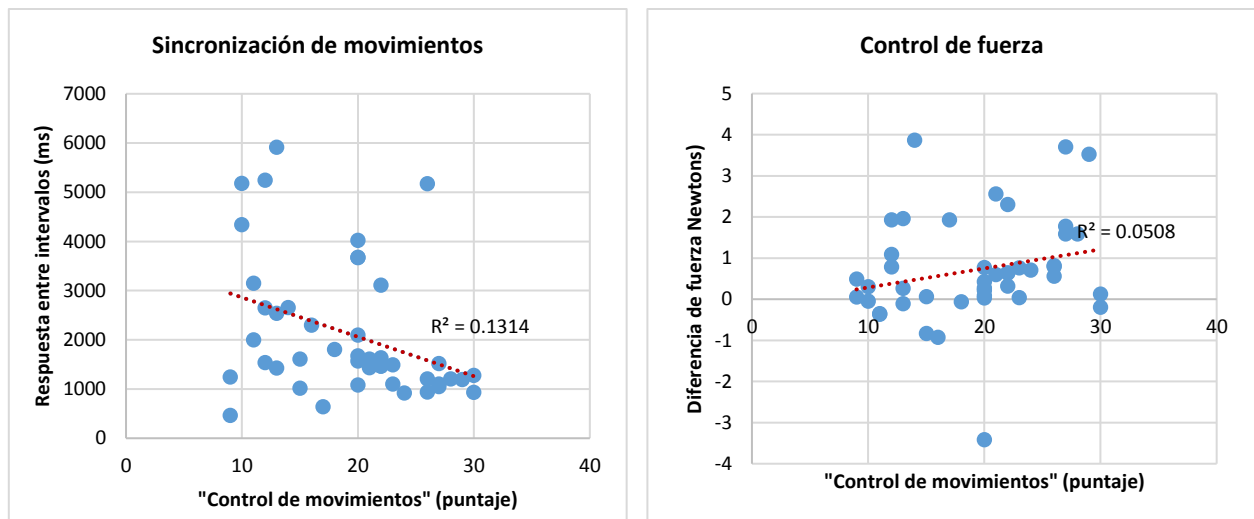


Figura 32. Puntajes del “control de movimientos” en comparación con la respuesta entre intervalos (izquierda) y el control de fuerza (derecha).

6.2.5.2 Relaciones de los movimientos cuando se usan las actividades de MúsicaFlexible

En general, los resultados muestran dos correlaciones entre las cualidades de movimientos: (1) existe una correlación entre la fuerza aplicada y la respuesta entre intervalos; (2) existe una correlación entre la fuerza aplicada y a longitud de los movimientos.

En la actividad de control de fuerza, se encontró que cuando los participantes empujaban suave la tela existe una correlación negativa entre el promedio de la respuesta entre intervalos y el promedio de la fuerza aplicada ($\rho = -0.59$; $p < 0.001$; Figura 33).

En la tarea de descubrir, se encontró que existe una correlación positiva entre la longitud cubierta por un movimiento, y la fuerza que los participantes usaron para empujar la tela ($\rho = 0.622$; $p < 0.001$; Figura 33).

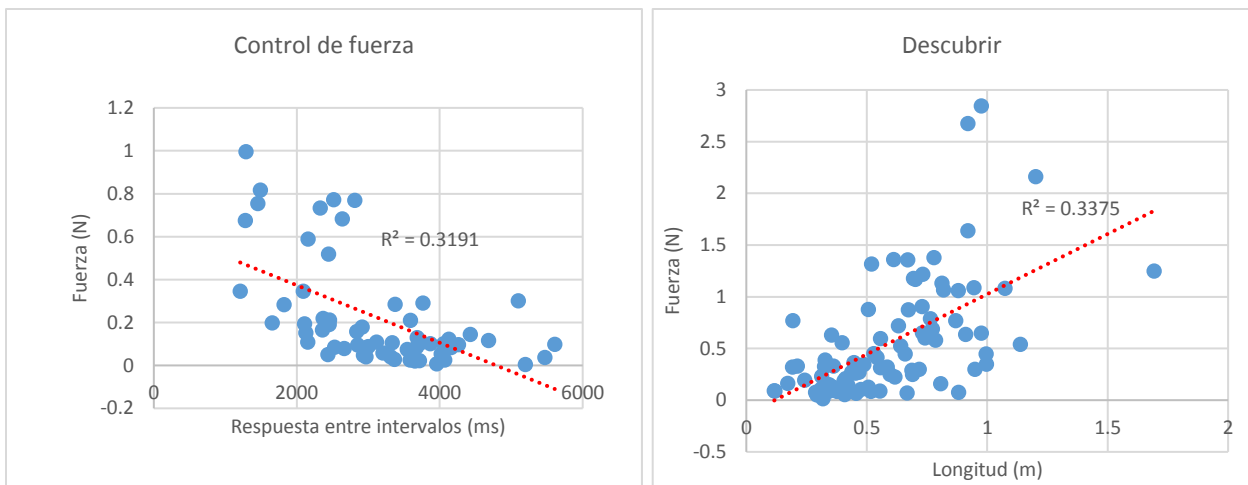


Figura 33. Comparación de la fuerza aplicada con la respuesta entre intervalos durante la tarea de control de fuerza (izquierda), y con la distancia durante la tarea de descubrir (derecha).

6.2.6 Discusión sobre las relaciones entre las características de los movimientos

De acuerdo con nuestros resultados comparando los puntajes de “control de movimiento” del DCDQ con los de la prueba de sincronización de movimientos, encontramos que los participantes que tocaron la tela de una manera más rítmica durante la prueba tenían mejor sincronización de sus movimientos dado que los puntajes de DCDQ fueron más altos.

Por otra parte, si comparamos los mismos resultados del DCDQ con la prueba de control de fuerza, encontramos que, si la diferencia entre empujar fuerte y suave es mayor, entonces los participantes

entienden mejor los conceptos relacionados con la regulación de fuerza, dado que también muestran puntajes en el DCDQ más altos.

Estos resultados muestran sugieren que, aunque muchas variables pueden afectar el control de movimientos en niños con autismo, la sincronización de movimientos y el control de fuerza son dos de estas variables. Entonces, las pruebas de valoración que se realizaron con una superficie elástica pueden ayudarnos a entender, y evaluar el control de fuerza y la sincronización de movimientos de niños con autismo (Cibrian, Beltran, & Tentori, 2018).

Analizando los movimientos de los participantes que usaron BendableSound, encontramos que, con movimientos más suaves, los participantes necesitaban más tiempo en conducir un movimiento, este tiempo les pudiera ayudar en planear el movimiento y evitar hacer movimientos de manera impulsiva. Mientras que, cuando los participantes realizan movimientos más largos tienen a empujar más fuerte, y son capaces de combinar el movimiento de empujar y deslizar a la vez. Este resultado muestra que los niños con autismo pudieran entender que se requiere más fuerza para realizar movimientos más largos o “profundos”.

En general, estos resultados pudieran sugerir que el uso de MúsicaFlexible permite a los participantes entender conceptos más allá de la regulación de fuerza (diferencia entre empujar fuerte y suave); ya que, pareciera, que los participantes pudieron darse cuenta de que su respuesta entre intervalos y la longitud de los movimientos pudiera afectar la fuerza con la que tocan la tela. Es por ello que los participantes pudieron relacionar que los movimientos más profundos y largos requieren más fuerza que los movimientos más lentos y pequeños.

6.3 Resumen y conclusiones

En este capítulo se muestra la evaluación sumativa de MúsicaFlexible, que tuvo como objetivo evaluar la eficacia en el control de fuerza y la sincronización de movimientos de niños con autismo en comparación de una Neuro-MT tradicional. La evaluación se realizó con 22 niños con autismo en la clínica-escuela “Pasitos”.

Se realizó un estudio controlado aleatorio con mediciones pre- y post-condición. 22 niños con autismo se asignaron aleatoriamente a un grupo experimental o a un grupo de control -11 niños tomaron ocho

sesiones de Neuro-MT usando MúsicaFlexible y 11 niños tomaron ocho sesiones de Neuro-MT usando panderos.

Para la evaluación se realizaron tres pruebas clínicas para el control de fuerza, la sincronización de movimientos y la coordinación, antes y después de las sesiones de Neuro-MT. La prueba de sincronización de fuerza y la de control de movimientos se implementaron usando MúsicaFlexible. También se aplicó una encuesta para evaluar la motivación con la música durante las sesiones de Neuro-MT y se almacenaron los registros de las interacciones de los participantes usando MúsicaFlexible.

Los resultados del uso de MúsicaFlexible muestran que los participantes usaron el sistema durante las ocho sesiones, y la mayoría de los participantes (72%) aprendieron a controlar su fuerza y sincronizar sus movimientos con los estímulos auditivos. Sin embargo, el resto de los participantes (27%) presentaron más problemas al usar MúsicaFlexible y le atribuimos este comportamiento a la dificultad que tuvieron en procesar los estímulos multisensoriales, por lo que requieren un mayor número de sesiones de Neuro-MT y una mayor personalización de los estímulos sensoriales.

Los resultados de la eficacia de MúsicaFlexible en comparación con sesiones tradicionales indican que ambos grupos tuvieron mejoras en relación a control de fuerza y coordinación. Sin embargo, las mejoras de enganchamiento con la música, control de fuerza y coordinación para los participantes que usaron MúsicaFlexible fueron ligeramente mayores que para los participantes que usaron panderos.

Finalmente, encontramos la respuesta entre intervalos y la fuerza que los participantes usaron al interactuar con MúsicaFlexible están relacionadas al control de movimientos, por lo que el uso de telas interactivas potencialmente pudiera servir para crear una herramienta de evaluación de la motricidad en niños con autismo.

En general, en este estudio se muestra que MúsicaFlexible puede mejorar el control de fuerza, la sincronización de movimientos y la coordinación de niños con autismo de la misma o mejor manera que usando panderos.

Capítulo 7. Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro

7.1 Conclusiones

En esta tesis se describe el proceso de diseño, implementación y evaluación de una superficie elástica para apoyar las sesiones de Neuro-MT para niños con autismo llamada MúsicaFlexible. MúsicaFlexible es una experiencia innovadora que cambia el paradigma de Interacción Humano Computadora tradicional (*i.e.*, usando ratón- teclado-monitor) hacia una interacción más parecida a la forma en que los humanos interactuamos con el mundo. Por ejemplo, los humanos, hablamos, realizamos gestos, o escribimos para comunicarnos con otros humanos. MúsicaFlexible imita estos modelos de interacción naturales con el fin de mejorar la experiencia de los niños con autismo severo al usar las computadoras. Estas interacciones se usan durante sesiones de terapia para mejorar su control de fuerza y su sincronización de movimientos.

Para el diseño de la superficie elástica se realizaron tres iteraciones utilizando una metodología centrada en el usuario. La primera iteración tuvo como objetivo especificar la tecnología a utilizar, y determinar el tipo de visualizaciones. En la segunda iteración se diseñó la dinámica de las actividades de MúsicaFlexible, estas incluyen retos de variación de fuerza y sincronización de movimientos y combinan un esquema libre y estructurado. Finalmente, en una tercera iteración se diseñaron los estímulos auditivos, los cuales se controlan de acuerdo a la interacción con la superficie elástica, e incluyen un “ritmo de fondo” para facilitar las repeticiones de los movimientos motrices.

El diseño final de MúsicaFlexible consiste en una superficie elástica formada por una tela de licra táctil e interactiva de $\sim 1.5 \text{ m}^3$ que permite a los niños con autismo crear sonidos y practicar movimientos motrices cuando tocan, golpean o pellizcan la tela. Tiene un fondo en 3D de color azul neón oscuro con una animación de nebulosas y elementos espaciales translúcidos como cohetes o planetas. Cuenta con “juegos terapéuticos” para promover el desarrollo motriz con actividades abiertas y retos de variación de fuerza y ritmo. En estas actividades, los usuarios pueden iluminar libremente la tela para escuchar las notas musicales, o utilizar su fuerza para catapultar el vuelo de un cohete para ayudarlo a aterrizar en un planeta y recoger notas musicales. MúsicaFlexible usa un sensor Kinect y un proyector detrás de la tela. El proyector despliega las imágenes sobre la superficie elástica, y el sensor Kinect infiere donde el usuario toca la tela. Ambos se conectan a una computadora donde se procesa la dinámica de las actividades de MúsicaFlexible.

Desde un punto de vista de diseño, los resultados del proceso de diseño (Capítulo 3) sugieren que el uso de experiencias táctiles combinadas con estímulos visuales y auditivos pudiera ayudar a los niños con autismo severo a mantenerse enfocados en la terapia y permitirles descubrir novedosas maneras de interacción, además la combinación de estímulos permite a los niños con autismo tener un mayor entendimiento de sus movimientos (Cibrian, Peña, Ortega, & Tentori, 2017; Cibrian, Pena, et al., 2016; Ortega et al., 2015).

Con el objetivo de obtener un mejor entendimiento de la experiencia de uso y los potenciales beneficios terapéuticos de MúsicaFlexible se realizó una evaluación formativa donde 18 terapeutas escolares evaluaron la experiencia de uso y aceptación de MúsicaFlexible (estudio basado en encuestas). Además, se instaló un prototipo preliminar de MúsicaFlexible y se evaluó su experiencia de uso y su potencial impacto terapéutico con 24 niños con autismo severo, en comparación de una sesión tradicional usando un piano (teclado de juguete).

En la evaluación formativa se encontró que MúsicaFlexible es aceptable, usable, atractivo y novedoso, por lo que las terapeutas escolares están dispuestas a utilizarlo como herramienta terapéutica. Además, MúsicaFlexible ayuda a los niños con autismo severo a mantener la atención durante la terapia. Las observaciones muestran que el 79% de los participantes estuvieron más atentos en la sesión cuando usaron MúsicaFlexible que cuando usaron el piano, y MúsicaFlexible supera al piano principalmente en la atención sostenida ya que los participantes estuvieron el doble del tiempo poniendo más atención sin distraerse cuando usaron MúsicaFlexible que cuando usaron el piano. También, con MúsicaFlexible el 87% de los participantes intentaron usar su espalda, cabeza o pies para descubrir los estímulos sensoriales, por lo que MúsicaFlexible promueve la exploración de gestos novedosos de interacción que pueden potenciar un mejor entendimiento de los movimientos a los niños con autismo. Por lo que se encontró que MúsicaFlexible tiene potenciales beneficios terapéuticos tanto en atención como en el desarrollo motriz (ver Capítulo 5 (Cibrian et al., 2017)).

Para evaluar la eficacia de MúsicaFlexible en términos de control de fuerza y sincronización de movimientos, durante dos meses, se realizó una evaluación sumativa donde 22 niños con autismo participaron en un estudio aleatorio controlado. Los participantes se asignaron aleatoriamente para tomar ocho sesiones de Neuro-MT, ya sea usando MúsicaFlexible, o panderos. En el estudio se realizaron tres mediciones clínicas incluyendo la medición pre- y post- condición en ambos grupos.

De acuerdo con el cuestionario de motivación con la música (PIT), los resultados muestran que la motivación de los participantes que usaron MúsicaFlexible fue 1.2 puntos mayor, en promedio, en

comparación con usar panderos y el 91% de los participantes que usaron MúsicaFlexible aumentaron su motivación conforme pasaban las sesiones. Por lo que, en términos de motivación con la música podemos concluir que la experiencia interactiva que ofrece MúsicaFlexible trabaja en conjunto con los estímulos multisensoriales para incrementar la motivación de los niños con autismo durante todas las sesiones de Neuro-MT.

Además, todos los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron 1.37 veces más su fuerza cuando realizaron la prueba de empujar fuerte, que los que usaron panderos. En relación a la prueba de empujar suave, los participantes que usaron MúsicaFlexible redujeron su fuerza en 0.38 N en promedio; en contraste, los participantes que usaron panderos incrementaron su fuerza por 0.08 N. Este entendimiento de empujar fuerte y suave muestran los participantes encontraron más fácil entender como empujar fuerte y más difícil cuando empujaban suave.

Los participantes que usaron panderos redujeron casi el doble su respuesta entre intervalos que los participantes que usaron MúsicaFlexible. En cambio, todos los participantes que usaron MúsicaFlexible redujeron, en promedio, 1.4 más su tiempo de reacción ($p=0.003$) que los que usaron panderos ($p = 0.09$). Estos resultados sugieren que tener un solo estímulo, en este caso el auditivo, dirige mejor la atención de los niños con autismo severo en lugar de utilizar múltiples estímulos cuando se requiere hacer un movimiento de manera rítmica. Sin embargo, el uso de múltiples estímulos pareciera no afectar el tiempo de reacción en niños con autismo severo.

Todos los participantes mostraron mejoras en la coordinación de acuerdo con el cuestionario DCDQ; sin embargo, los participantes que usaron MúsicaFlexible mostraron 6% más puntaje que los participantes que usaron panderos. En términos de “control durante el movimiento” y “motricidad fina”, los participantes que usaron MúsicaFlexible incrementaron el doble su puntaje que los que usaron panderos. Además, los participantes que usaron MúsicaFlexible mostraron un incremento del 2% su puntaje en “coordinación general”, mientras que los participantes que usaron panderos casi no la incrementaron.

Estas mejoras en la coordinación pudieran deberse a que los participantes que usaron MúsicaFlexible practicaban tanto habilidades de motricidad gruesa como de motricidad fina, ganando un mejor entendimiento de cómo controlar sus movimientos, mientras que con los panderos los participantes estuvieron la mayor parte del tiempo “estáticos”, y movían principalmente sus manos. Este resultado sugiere que los niños con autismo severo tienen las mismas o mejores probabilidades de mejorar su

coordinación usando MúsicaFlexible que usando panderos (ver Capítulo 6 (Cibrian, Madrigal, Avelais, & Tentori, 2018; Madrigal, Cibrian, Avelais, & Tentori, 2018)).

Con base en los resultados de las evaluaciones en conclusión se encontró que MúsicaFlexible es una potencial herramienta terapéutica que mantiene la atención de los niños con autismo, los motiva en la exploración de diferentes movimientos y mantiene la motivación de interactuar con la música. Desde un punto de vista clínico, en este trabajo se muestra evidencia sobre como MúsicaFlexible pudiera ser usado durante sesiones de Neuro-MT para mejorar la regulación sensomotriz de niños con autismo severo. Por lo tanto, los resultados de esta tesis muestran que con las superficies elásticas es posible mejorar la coordinación de los niños con autismo y que este tipo de tecnología puede ayudar a niños con autismo en su desarrollo motor.

7.2 Aportaciones

Las principales aportaciones de este trabajo son las siguientes:

- Evidencia empírica del uso de superficies elásticas para apoyar las sesiones de Neuro-MT para niños con autismo severo.
- Evidencia empírica de la eficacia y utilidad de una superficie elástica en comparación del uso de instrumentos musicales tradicionales durante sesiones de Neuro-MT, particularmente para el control de fuerza, sincronización de movimientos y coordinación.
- Evidencia empírica de como las superficies elásticas pueden utilizarse como herramientas para la evaluar el control de fuerza y la sincronización de movimientos.
- Un conjunto de características de diseño para desarrollar superficies elásticas en apoyo a sesiones de Neuro-MT para niños con autismo.
- Una superficie elástica que apoya sesiones de Neuro-MT para el control de movimientos.

Además, este trabajo de investigación dio como resultado el siguiente artículo publicado en una revista arbitrada:

- **Cibrian, F. L.,** Pena, O., Ortega, D. & Tentori, M (2017) "An elastic multisensory surface using touch-based interactions to assist children with severe autism during music therapy," *Int. J. Hum. Comput. Stud.* vol. 107, pp. 22–37, 2017.

En total, para la divulgación de esta investigación se realizaron:

- 1 artículo en revistas arbitradas
- 2 artículos de conferencia *in extenso*
- 3 artículos cortos,
- 7 posters y trabajos en progreso y
- 1 artículo de divulgación.

7.3 Limitaciones y suposiciones

Aunque la investigación cumplió los objetivos, se observaron algunas limitaciones, desde el punto de vista técnico, y metodológico.

Desde el punto de vista técnico, en términos de hardware, el equipo de MúsicaFlexible cuesta aproximadamente \$45,000 MX, y la instalación es complicada y frágil, una de las razones es que MúsicaFlexible usa cámaras para la detección de deformaciones, y la cámara debe colocarse al menos a 1.5 metros de distancia haciendo que el prototipo abarque demasiado espacio. Aunque nuestra instalación en la clínica fue robusta, y se ajustaba al espacio de la sala donde se instaló, la instalación no era portable por lo que para su instalación y replicación es necesario un salón dedicado. Es importante señalar que el objetivo de esta tesis no era diseñar el hardware de una superficie elástica, sino evaluar la experiencia de uso, y eficacia de las superficies para apoyar sesiones de Neuro-MT.

En términos de software, en el prototipo actual de MúsicaFlexible se usa una librería que no es lo suficientemente precisa cuando se trata de detectar dos o más toques de uno o más usuarios cuando estos están cerca uno del otro. Además, a pesar de llevar a cabo un largo proceso de calibración, las soluciones que usan sensado óptico indirecto son insuficientes para detectar diferentes tipos de interacciones como jalar o pinchar.

Todas las mediciones de fuerza se realizaron utilizando las características indirectas del uso de una superficie elástica. Para el cálculo de la masa se utilizó un dinamómetro con un margen de error de 0.01 kg, por lo que es necesario comprobar las mediciones dos o tres veces para obtener una lectura uniforme. Al realizar las mediciones se realizaron las siguientes suposiciones en relación a la medición de fuerza utilizando MúsicaFlexible:

- La trayectoria que se forma con el centro de masa de la deformación que se detecta con el sensor Kinect es la trayectoria que sigue el niño con su mano.
- La profundidad con la que toca el niño es proporcional al área de la deformación que el sensor Kinect detecta.
- La masa de la tela interactiva se comporta de manera lineal en relación al área de la deformación.

Sin embargo, en este estudio, se complementaron y correlacionaron estas mediciones con cuestionarios clínicamente validados, no obstante, se recomienda mejorar o corroborar las mediciones usando tecnología vestible que proporcione mediciones precisas de la fuerza muscular que los niños están aplicando cuando empujan la tela.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación se llevó a cabo en una sola clínica-escuela de niños con autismos donde 24 niños con autismo severo participaron en la evaluación formativa y 22 en la evaluación sumativa. En investigaciones experimentales, en el área de Interacción Humano Computadora, se espera que un estudio tenga mínimo de 30 a 40 usuarios para ser considerado válido (Lazar, Feng, & Hochheiser, 2017). Sin embargo, en investigaciones con usuarios con discapacidad es generalmente aceptable tener 15 o menos individuos en la investigación (Lazar et al., 2017), por lo que, aunque el tamaño de la población en este estudio es menor al de estudios de usuarios en el área de Interacción Humano Computadora, es mayor a los estudios de usuario con personas con discapacidad.

En la evaluación formativa se siguió un experimento intra-sujetos, por lo que la mayor limitación es el posible impacto en los efectos de aprendizaje de la segunda condición. Para evitar este efecto, se realizó una asignación aleatoria de las condiciones.

En la evaluación sumativa, se eligió realizar una prueba controlada aleatoria, por lo que la comparación de nuestras mediciones se realizó entre grupos. Los resultados de cada grupo pudieran sesgarse debido a las diferencias individuales de los niños con autismo severo, principalmente en términos de sus habilidades motrices. Además, al dividir nuestra población en dos grupos, el número de participantes es reducido dificultando obtener resultados estadísticamente significativos. Sin embargo, este enfoque nos permite ver cuáles son los efectos que tiene cada condición y este tipo de experimentos es considerado un estándar de oro para evaluar la eficacia clínica y proveer evidencia sobre la eficacia de un tratamiento (Spieth et al., 2016). Pero, dado el tamaño de nuestra muestra los estudios que se reportan en esta tesis se deben replicar con una población mucho más grande.

La prueba controlada aleatoria puede tener limitaciones en su validez interna principalmente en términos de selección, desempeño y detección (Spieth et al., 2016). En términos de detección, en este estudio se utilizó una asignación aleatoria, sin embargo, pudiéramos haber realizado un balance en términos de habilidades motrices para tener un mejor control en grupos. En términos de desempeño, el estudio pudo verse afectado debido a la inasistencia de algunos participantes, por lo que, en ocasiones, había más de dos días de diferencia entre una sesión y otra, sin embargo, se tomaron las medidas necesarias para que al final todos los participantes recibieran el mismo número de sesiones. En términos de detección, en algunas técnicas de captura de datos se usaron a las terapeutas como *representantes* de los niños con autismo, dado que es una población no verbal, por lo que los resultados pudieran estar sujetos a la interpretación del terapeuta y no necesariamente del niño. Además, dado que algunos datos cuantitativos fueron obtenidos con técnicas interpretativas, estos resultados tienen una variación en caso de ser replicado el experimento.

En términos de limitaciones que afecten la validez externa del estudio tenemos que esta investigación se llevó a cabo en una sola clínica-escuela de niños con autismos, en un solo país, por lo que no se puede generalizar este estudio a otras poblaciones. Otro aspecto fueron los criterios de inclusión, en los cuales se tomó en cuenta que todos los niños estuvieran diagnosticados con autismo severo y no hubieran tomados sesiones de musicoterapia. Este criterio nos llevó a tener sólo dos niñas participando en el estudio. Este no es un caso atípico en estudio de niños con autismo, dada que se diagnostican cuatro más veces niños con autismo que niñas (Chaste & Leboyer, 2012). Finalmente, en este estudio sólo se probó la eficacia de una técnica de Neuro-MT, es decir, se usó la interpretación de música instrumental terapéutica (TIMP por sus siglas en inglés *Therapeutic Instrumental Music Performance*), por lo que para generalizarse para otras técnicas es necesario re-diseñar los estímulos sensoriales y realizar estudios para validar la eficacia de las técnicas.

Dado que el objetivo del estudio era proporcionar evidencia sobre el uso potencial de MúsicaFlexible en un caso particular, sentimos que nuestros resultados son valiosos para los investigadores que exploran el espacio de diseño y evaluación de superficies elásticas para apoyar a individuos con discapacidad.

7.4 Trabajo futuro

Aunque aún existen muchos retos en el diseño, desarrollo y evaluación de superficies elásticas, los resultados de estos estudios muestran que existe mucho potencial para continuar trabajando en este

dominio. En las siguientes subsecciones se presentan algunas ideas de proyectos de investigación como trabajo futuro en esta área.

7.4.1 Sensado de Interacciones invariantes a la deformación

Durante nuestros estudios con niños con autismo severo, encontramos que las superficies elásticas de gran escala potencian gestos de interacción novedosos que van más allá de empujar la superficie con las manos (ver Capítulo 5, (Cibrian et al., 2017)). Sin embargo, estos gestos creando crestas y valles sobre la superficie haciendo difícil detectar cuando el usuario está tocando, que parte del cuerpo está usando para tocar la superficie, que gesto realizó y con qué fuerza. Por lo que se debe explorar cómo desarrollar algoritmos de reconocimientos de gestos más robustos y que sean capaces de reconocer deformaciones de manera eficiente.

Las soluciones actuales para superar estos retos podrían implicar el uso de una combinación de sensores heterogéneos. Por ejemplo, se pueden integrar varias cámaras Kinect con sensores de movimiento colocados delante, detrás y encima de la superficie elástica. Tener múltiples sensores puede superar los retos asociados con la oclusión y aumentar la resolución a nivel de los gestos finos que los usuarios realizan con los dedos. Sin embargo, estas soluciones no son escalables y aumentan el costo de la instalación.

También, en este trabajo se mostró evidencia preliminar de cómo con las superficies elásticas puede estimar de manera indirecta la fuerza que usan los usuarios una vez que se empuja la tela (ver Capítulo 4, (Cibrian, Beltran, et al., 2018)). Sin embargo, se está perdiendo información relevante al movimiento del niño que inicia antes de realizar la interacción de la superficie, por lo que se debe de explorar tecnologías vestibles o sensores que nos permitan estimar con mayor certeza la fuerza que usa el usuario al realizar movimientos.

Se propone, como trabajo a futuro, el desarrollo de nuevo hardware que requiera poco mantenimiento, y pueda pasar desapercibido para los usuarios. Así como también algoritmos que proporcionen una detección robusta y eficiente de los gestos de interacción que sean invariable a la deformación, y algoritmos que nos den de manera más precisa información sobre las cualidades de los gestos de interacción como tipo de gesto, velocidad, o fuerza. Esto nos ayudaría a tener un mejor entendimiento

del progreso de los usuarios al usar una tela elástica y tener una mejor personalización de acuerdo a los gestos que se realicen.

7.4.2 Sonificación de movimientos en superficies elásticas

Se debe de explorar el uso de otras técnicas musicales terapéuticas que usen de diferente manera los estímulos musicales para guiar el movimiento de los pacientes (Michael H. Thaut & Volker, 2014). Por ejemplo, la técnica de Mejora Sensorial usando Patrones de sonidos (PSE por sus siglas en inglés *Patterned Sensory Enhancement*) de Neuro-MT, utiliza estructuras musicales como retroalimentación auditiva mientras los pacientes realizan movimientos durante una terapia. A esta retroalimentación auditiva sobre la trayectoria de los movimientos que los usuarios realizan se le conoce como sonificación de movimientos.

La técnica de PSE de Neuro-MT durante terapias para niños con autismo pudiera ayudarlos a mejorar la dirección de sus movimientos, ya que los niños suelen realizar movimientos inapropiados, atípicos o imprecisos, es decir, la dirección de sus movimientos suele ser errónea o vaga debido a sus problemas en la planeación de movimientos (Robledo, Donnellan, & Strandt-Conroy, 2012).

Para llevar a cabo la técnica de PSE, un musicoterapeuta tiene que tocar música que le indique al paciente, por ejemplo, el inicio y fin del movimiento que realizará durante la terapia. Mientras el paciente realiza el movimiento, el musicoterapeuta tiene que sincronizar la música para poder guiar el movimiento del paciente, por ejemplo, si el paciente cambia la velocidad, el musicoterapeuta tiene que cambiar la velocidad de la música. Esta no es una tarea fácil, ya que la experiencia musical del paciente mientras realiza sus movimientos está asociada a la capacidad del musicoterapeuta en sincronizar la música con el movimiento.

Por lo que una alternativa para brindar retroalimentación en tiempo real es el uso de técnicas de sonificación interactiva para (*i.e.*, utilizan estructuras de sonidos, en una interfaz humano-computadora que vaya cambiando de acuerdo al movimiento de los pacientes). Por ejemplo, un estudio con pacientes con dolor crónico encontró que variando la estructura musical como retroalimentación auditiva de los movimientos laterales pudiera ayudar a los pacientes a mejorar su conciencia corporal (Singh et al., 2016), sin embargo, no existe evidencia de como el uso de sonificación interactiva pudiera apoyar intervenciones motrices terapéuticas para niños con autismo.

Como trabajo futuro se propone, primeramente, explorar si los niños con autismo, a pesar de sus problemas en términos de conciencia corporal (Bhat et al., 2011), son capaces de entender conceptos relacionados a sonificación interactiva, ya que es necesario que ellos asocien que sus movimientos son los que producen sonidos, si esto sucede, posteriormente se tienen que encontrar cuales son las mejores estructuras de sonidos que motiven a los niños con autismo a realizar movimientos con una dirección adecuada y que potencien la repetición de movimientos para poder ser usados en un contexto terapéutico. Finalmente, se debe explorar, como estas estructuras musicales deben ser integradas en superficies elásticas en conjunto con las características visuales y táctiles para mejorar la trayectoria de movimientos.

7.4.3 Mecanismo de colaboración para superficies elásticas

A pesar de que en el trabajo presentado en esta tesis MúsicaFlexible fue usado de manera individual por niños con autismo, los resultados de un estudio con infantes usando MúsicaFlexible muestran que las superficies elásticas de gran escala pueden utilizarse de manera colectiva (Cibrian, Weibel, & Tentori, 2016), por lo que es importante explorar como las superficies elásticas puede apoyar la cooperación entre niños neurotípicos y niños con autismo.

La práctica de juego cooperativo puede enseñar a los niños a ser más tolerantes y aprenden a trabajar en equipo (Bay-Hinitz, Peterson, & Quilitch, 1994). Estas habilidades forman parte de las buenas conductas de convivencia diaria. Fomentar la práctica de actividades cooperativas, desde una edad temprana, puede enseñar a los niños a ser más tolerantes, atentos y respetuosos con los demás, y a aumentar sus probabilidades de colaborar con otros individuos en su vida cotidiana (Bay-Hinitz et al., 1994; UNICEF, 2004). Sin embargo, los niños desde preescolar y los niños con autismo tienen dificultades para aprender a socializar.

Para fomentar el juego cooperativo, en muchas aulas, las maestras intentan explicar a los niños cómo pueden ayudarse entre sí y trabajar juntos agrupándolos en equipos durante sus clases (Slavin, 1987). Sin embargo, la mayoría de las veces los niños tienen dificultades para aprender a cooperar, ya que pudiera no gustarles o se frustran al esperar su turno. Por lo tanto, algunos conflictos pueden surgir fácilmente mientras los niños juegan en equipos. Al tratar de evitar estos problemas, los maestros proporcionan una guía paso a paso con instrucciones explícitas para guiar a los niños cuando cooperan con otros. Esto podría exigir mucho trabajo de los maestros que ya están abrumados con las actividades

escolares. Por lo que una alternativa para mantener la motivación de los preescolares mientras trabajan en equipo, es el uso de superficies interactivas (Cibrian, Tentori, & Martínez-García, 2016; Cibrian, Weibel, et al., 2016; Piper, Weibel, & Hollan, 2012)

Estas superficies interactivas implementan diferentes tipos de actividades, ya sea con objetivos lúdicos o para el desarrollo de habilidades cognitivas, físicas y sociales. Las superficies interactivas incluyen modalidades principalmente en solitario y en grupo; pero la mayoría de ellas no implementan actividades en las que se fomente directamente la práctica de juego cooperativo. Esto representa una oportunidad dentro del área de investigación, debido a la importancia que tiene el que los niños aprendan a trabajar en equipo y de forma cooperativa desde una edad temprana.

En este estudio se muestra que MúsicaFlexible es una herramienta que mantiene la atención de los niños con autismo (Cibrian et al., 2017), y apoyar el desarrollo social de preescolares (Cibrian, Weibel, et al., 2016), sin embargo, no cuenta con mecanismos que permitan, de manera implícita, fomentar el juego cooperativo. Por lo que esto representa una oportunidad para investigar y explorar la utilización de mecanismos para juego cooperativo en las actividades de una superficie elástica.

Como trabajo futuro se propone estudiar el espacio de diseño y uso potencial de MúsicaFlexible, con la finalidad de determinar si puede fomentar la práctica de juego cooperativo. Para lo cual se propone diseñar un conjunto de actividades cooperativas que se puedan integrar en MúsicaFlexible, e implementar mecanismos que permitan detectar múltiples usuarios a la vez en superficies elástica.

7.4.4 Análisis de gestos para la detección de marcadores de comportamiento

Los resultados de este estudio indican que los usuarios descubren nuevas formas de interactuar con las superficies elásticas (Cibrian et al., 2017; Cibrian, Weibel, et al., 2016), y las características que se calculan al interactuar con MúsicaFlexible pueden ayudar en la evaluación de fuerza y sincronización de movimientos de sus usuarios (Cibrian, Beltran, et al., 2018). Por lo que el análisis de las interacciones de los usuarios podría ayudarnos a inferir la identidad del usuario o las diferencias en sus patrones de interacción como otros han señalado (Anzulewicz, Sobota, & Delafield-Butt, 2016; Rivas et al., 2015). Por ejemplo, pudiéramos buscar patrones que nos ayuden a la detección temprana de niños con autismo.

La detección temprana es de suma importancia, para poder iniciar un tratamiento y mejorar la calidad de vida de las personas con autismo. Sin embargo diagnosticar a una persona con autismo es una tarea

compleja y tardada que requiere de un equipo multidisciplinario (Falkmer, Anderson, Falkmer, & Horlin, 2013). Además debido a la falta de marcadores propios del autismo, el diagnóstico puede ser subjetivo, ya que se limita a evaluar únicamente el comportamiento de las personas (Bernas, Aldenkamp, & Zinger, 2018). En los últimos años se han realizado diferentes investigaciones para apoyar el diagnóstico temprano de autismo, por ejemplo, se ha demostrado que los niños con autismo interactúan de manera diferente cuando usan pantallas rígidas a pequeña escala (tabletas) al usar más fuerza al presionar la superficie y golpearla de manera más rápida (Anzulewicz et al., 2016).

Entonces, dada la evidencia que existe de que los niños con autismo tienen problemas para controlar su fuerza (Staples & Reid, 2010), y que las superficies elásticas proporcionan mejores características para descubrir y discriminar más fácilmente estos comportamientos de empuje "atípicos" (Anzulewicz et al., 2016), se propone estudiar si las superficies elásticas, dada su retroalimentación táctil y su modelo de interacción intuitivo en relación al control de fuerza, permiten identificar patrones que nos permitan la detección temprana de los niños con autismo.

Por lo que como trabajo a futuro se propone desarrollar técnicas apropiadas de aprendizaje automático para identificar comportamientos "atípicos" usando superficies elásticas que podría permitir la identificación de marcadores de comportamiento que ayuden a la detección temprana del autismo y los trastornos relacionados.

7.5 Resumen

El cuidado de un niño con autismo puede resultar en problemas de salud adicionales y deudas médicas que pueden ser incosteables. El reducir los costos asociados al tratamiento del autismo y mejorar la calidad de vida de estos individuos es una meta que beneficia a nuestra comunidad, sociedad y a nuestro sistema de salud. El éxito de este proyecto permitirá realizar más estudios de tipo ensayo clínico y la comercialización de MúsicaFlexible que puede resultar en la incorporación de tecnología innovadora como mejores prácticas para el tratamiento y diagnóstico de autismo. La versión comercial de MúsicaFlexible facilitará su implementación en más clínicas, escuelas y hogares de niños con autismo, o explorar su impacto para otro sector de la población.

A corto plazo, los resultados que se reportan en esta tesis han beneficiado a los niños y a los cuidadores que participaron en este proyecto. Los principales beneficios que hemos encontrado incluyen la mejora

en: la iniciación voluntaria, atención sostenida, coordinación motora, autorregulación de fuerza y respuesta ante estímulos sensoriales.

A largo plazo, MúsicaFlexible puede cerrar la brecha entre accesibilidad y confiabilidad en el tratamiento de Neuro-MT para autismo. El diseño, desarrollo, y evaluación de superficies elásticas permitirá a otros investigadores, entidades comerciales y clínicas especializadas, crear, utilizar, y personalizar sus propias soluciones para facilitar los tratamientos no-farmacológicos de niños con autismo en cualquier parte y cualquier hora. Las lecciones aprendidas pueden ser útiles para otras poblaciones incluyendo estimulación temprana, personas con trastornos motrices o déficit de atención, y adultos mayores con deterioro cognitivo. Los resultados que se reportan en esta tesis representan el primer estudio en México que proporciona evidencia del uso de las superficies elásticas como alternativa para la Neuro-MT, y tiene el potencial de transformar estas terapias convirtiéndose en el nuevo estándar de oro usando una solución más accesible y que potencialmente puede llevar los últimos avances de la neuropsicología a la puerta de los hogares y a las clínicas de autismo.

Esta transformación generará nuevas agendas de conocimiento para impulsar la investigación en Computación y Neuropsicología, mediante la creación de nuevos tratamientos y procesos de diagnóstico médico empoderados con tecnología innovadora. Finalmente, muchos de los desafíos que se exploraron en esta tesis también podrían facilitar el desarrollo de superficies deformables en general.

Literatura citada

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub. (5th ed.). Washington, DC. London, England: American Psychiatric Association. <http://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.744053>
- Anzulewicz, A., Sobota, K., & Delafield-Butt, J. T. (2016). Toward the Autism Motor Signature: Gesture patterns during smart tablet gameplay identify children with autism. *Scientific Reports*, *6*(31107), 1–13. <http://doi.org/10.1038/srep31107>
- Baio, J., Wiggins, L., Christensen, D. L., Maenner, M. J., Daniels, J., Warren, Z., ... Dowling, N. F. (2018). Prevalence of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years — Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2014. *MMWR Surveill Summ*, *67*(6), 1–23. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.ss6706a1>
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *24*(6), 574–594. <http://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Baranek, G. T. (1999). Autism during infancy: A retrospective video analysis of sensory-motor and social behaviors at 9–12 months of age. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *29*(3), 213–224. <http://doi.org/10.1023/A:1023080005650>
- Baranek, G. T., David, F. J., Poe, M. D., Stone, W. L., & Watson, L. R. (2006). Sensory Experiences Questionnaire: Discriminating sensory features in young children with autism, developmental delays, and typical development. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *47*(6), 591–601. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01546.x>
- Barkeley, S. L., Zittel, L. V., & Nichols, S. E. (2001). Locomotors and object control skills of children diagnosed with autism. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *18*(4), 405–416.
- Bay-Hinitz, A. K., Peterson, R. F., & Quilitch, H. R. (1994). Cooperative games: a way to modify aggressive and cooperative behaviors in young children. *Journal of Applied Behavior Analysis*, *27*(3), 1297825. <http://doi.org/10.1901/jaba.1994.27-435>
- Bellan, V., Wallwork, S. B., Physio, B., Gallace, A., Spence, C., & Moseley, G. L. (2017). Integrating self-localization, proprioception, pain, and performance. *Journal of Dance Medicine & Science*, *21*(1), 24–35. <http://doi.org/10.12678/1089-313X.21.1.24>
- Benveniste, S., Jouvelot, P., Lecourt, E., & Michel, R. (2009). Designing Wiimprovisation for mediation in group music therapy with children suffering from behavioral disorders. In *Proceedings of the 8th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '09* (pp. 18–26). Como, Italy: ACM. <http://doi.org/10.1145/1551788.1551793>

- Berger, D. S. (2002). *Music therapy, sensory integration and autistic child*. London and New York: Jessica Kingsley Publishers. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bernas, A., Aldenkamp, A. P., & Zinger, S. (2018). Wavelet coherence-based classifier: A resting-state functional MRI study on neurodynamics in adolescents with high-functioning autism. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *154*, 143–151. <http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.11.017>
- Beyer, H., & Karen, H. (1999). Contextual design. *Interactions*, *6*(1), 32–42. <http://doi.org/10.1145/632716.632801>
- Bhat, A. N., Landa, R. J., Galloway, J. C. C., & Cole, J. C. (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>
- Bhattacharya, A., Gelsomini, M., Pérez-Fuster, P., Abowd, G. D., & Rozga, A. (2015). Designing motion-based activities to engage students with autism in classroom settings. In *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '15* (pp. 69–78). Medford, MA, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2771839.2771847>
- Bishop, M. R. (2015). Motor. In D. Granpeesheh, J. Tarbox, A. C. Najdowski, & J. Kornack (Eds.), *Evidence-Based Treatment for Children with Autism* (pp. 261–272). Elsevier Inc. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-411603-0.00014-8>
- Blackstock, E. G. (1978). Cerebral asymmetry and the development of early infantile autism. *Journal of Autism and Childhood Schizophrenia*, *8*(3), 339–353. <http://doi.org/10.1007/BF01539636>
- Boulay, M., Benveniste, S., Boespflug, S., Jouvelot, P., & Rigaud, A. S. (2011). A pilot usability study of MINWii, a music therapy game for demented patients. *Technology and Health Care*, *19*(4), 233–246. <http://doi.org/10.3233/THC-2011-0628>
- Brakke, K., Fragaszy, D. M., Simpson, K., Hoy, E., & Cummins-Sebree, S. (2007). The production of bimanual percussion in 12- to 24-month-old children. *Infant Behavior and Development*, *30*(1), 2–15. <http://doi.org/10.1016/j.infbeh.2005.08.001>
- Brooke, J. (2013). SUS: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, *8*(2), 29–40. <http://doi.org/10.1074/jbc.R115.675280>
- Büitefisch, C., Hummelsheim, H., Denzler, P., & Mauritz, K. H. (1995). Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *Journal of the Neurological Sciences*, *130*(1), 59–68. [http://doi.org/10.1016/0022-510X\(95\)00003-K](http://doi.org/10.1016/0022-510X(95)00003-K)
- Burland, K., & Magee, W. (2012). Developing identities using music technology in therapeutic settings. *Psychology of Music*, *42*(2), 177–189. <http://doi.org/10.1177/0305735612463773>
- Caro, K., Tentori, M., Martinez-Garcia, A. I., & Alvelais, M. (2017). Using the FroggyBobby exergame to

- support eye-body coordination development of children with severe autism. *International Journal of Human Computer Studies*, 105(1), 12–27. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.03.005>
- Caro, K., Tentori, M., Martinez-Garcia, A. I., & Zavala-Ibarra, I. (2017). FroggyBobby: An exergame to support children with motor problems practicing motor coordination exercises during therapeutic interventions. *Computers in Human Behavior*, 71(1), 479–498. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2015.05.055>
- Cassinelli, A., & Ishikawa, M. (2005). Khronos projector. In *ACM SIGGRAPH 2005 Emerging technologies on - SIGGRAPH '05* (p. 10). Los Angeles, California: ACM. <http://doi.org/10.1145/1187297.1187308>
- Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory: a practical guide to through qualitative analysis*. London: Sage Publications Ltd. <http://doi.org/https://doi.org/10.7748/nr.13.4.84.s4>
- Chaste, P., & Leboyer, M. (2012). Autism risk factors: Genes, environment, and gene-environment interactions. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 14(3), 281–292. <http://doi.org/10.2217/epi.11.19>
- Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2012). Simple linear regression. In *Regression Analysis by Example* (5th ed., pp. 21–51). Wiley Series. <http://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470316474.ch11>
- Chung, S. E., & Ryoo, H. Y. (2016). Relationships between Flexible Display's Form Factors and its User Experience Types. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(10), 245–252. <http://doi.org/10.14257/ijmue.2016.11.10.23>
- Cibrian, F. L., Beltran, J. A., & Tentori, M. (2018). Assessing the Force and Timing control of Children with Motor Problems using Elastic Displays. In *Poster in: 12th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 1–4). New York: ACM.
- Cibrian, F. L., Madrigal, M., Avelais, M., & Tentori, M. (2018). Evaluating the motor skills of Children with Autism using an Elastic Display. In *CHI'18 Workshop: Reshaping Touch Communication: An Interdisciplinary Research Agenda* (pp. 1–4). Montreal: ACM.
- Cibrian, F. L., Ortega, D. H., Escobedo, L., & Tentori, M. (2015). Reflections from a long-term deployment study to design novel interactive surfaces for children with autism. In *Ambient Intelligence for Health. AMIHEALTH 2015. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 9456, pp. 167–176). Springer, Cham. http://doi.org/10.1007/978-3-319-26508-7_17
- Cibrian, F. L., Peña, O., Ortega, D., & Tentori, M. (2017). BendableSound: An elastic multisensory surface using touch-based interactions to assist children with severe autism during music therapy. *International Journal of Human Computer Studies*, 107(1), 22–37. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.05.003>
- Cibrian, F. L., Pena, O., Vazquez, V., Cardenas, C., & Tentori, M. (2016). Designing a deformable musical surface for children with autism. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on*

- Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct - UbiComp '16* (pp. 977–982). Heidelberg, Germany: ACM. <http://doi.org/10.1145/2968219.2968262>
- Cibrian, F. L., Tentori, M., & Martínez-García, A. I. (2016). Hunting Relics: A Persuasive Exergame to Promote Collective Exercise in Young Children. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(3), 277–294. <http://doi.org/10.1080/10447318.2016.1136180>
- Cibrian, F. L., Weibel, N., & Tentori, M. (2016). Collective use of a fabric-based interactive surface to support early development in toddler classrooms. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '16* (pp. 328–339). Heidelberg, Germany: ACM. <http://doi.org/10.1145/2971648.2971695>
- Costa-Giomi, E. (2005). Does music instruction improve fine motor abilities? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(1), 262–264. <http://doi.org/10.1196/annals.1360.053>
- Darrow, A. A. (2009). Adapting for students with autism. *General Music Today*, 22(2), 24–26. <http://doi.org/10.1177/1048371308328384>
- Dawson, G., & Watling, R. (2000). Interventions to facilitate auditory, visual, and motor integration in autism: A review of the evidence. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. <http://doi.org/10.1023/A:1005547422749>
- Donnellan, A. M., Hill, D. A., & Leary, M. R. (2013). Rethinking autism: implications of sensory and movement differences for understanding and support. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 124. <http://doi.org/10.3389/fnint.2012.00124>
- Donnelly, C. F., Mueller, S., & Gallahue, D. (2016). *Developmental Physical education for all children* (5th ed.). Human Kinectics.
- Edwards, W. H. (2010). *Motor Learning and Control From Theory to Practice*. California: Cengage Learning.
- Ellis, P., & Leeuwen, L. Van. (2000). Living Sound : human interaction and children with autism. In *ISME commission on Music in Special Education, Music Therapy and Music Medicine* (pp. 1–23). Regina, Canada.
- Fagard, J., & Wolff, P. H. (1991). *The development of timing control and temporal organization in coordinated action: invariant relative timing, rhythms and coordination* (Vol. 81). Elsevier. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Falkmer, T., Anderson, K., Falkmer, M., & Horlin, C. (2013). Diagnostic procedures in autism spectrum disorders: a systematic literature review. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 22(6), 329–40. <http://doi.org/10.1007/s00787-013-0375-0>
- Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Cheng, N., & Ishii, H. (2012). Jamming user interfaces:

- programmable particle stiffness and sensing for malleable and shape-changing devices. In *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '12* (pp. 519–528). Cambridge, Massachusetts, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2380116.2380181>
- Fombonne, E., Marcin, C., Manero, A. C., Bruno, R., Diaz, C., Villalobos, M., ... Nealy, B. (2016). Prevalence of Autism Spectrum Disorders in Guanajuato, Mexico: The Leon survey. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(5), 1669–1685. <http://doi.org/10.1007/s10803-016-2696-6>
- Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). Motor coordination in autism spectrum disorders: A synthesis and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(10), 1227–1240. <http://doi.org/10.1007/s10803-010-0981-3>
- Fowler, M. (2003). *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*. Addison-Wesley (3rd ed.). Boston, MA, USA: Addison-Wesley.
- Gattino, G. S., Riesgo, R. D. S., Longo, D., Leite, J. C. L., & Faccini, L. S. (2011). Effects of relational music therapy on communication of children with autism: a randomized controlled study. *Nordic Journal of Music Therapy*, 20(2), 142–154. <http://doi.org/10.1080/08098131.2011.566933>
- Geretsegger, M., Holck, U., & Gold, C. (2012). Randomised controlled trial of improvisational music therapy's effectiveness for children with autism spectrum disorders (TIME-A): study protocol. *BMC Pediatrics*, 12, 2. <http://doi.org/10.1186/1471-2431-12-2>
- Gorman, M., Lahav, A., Saltzman, E., & Betke, M. (2007). A camera-based music-making tool for physical rehabilitation. *Computer Music Journal*, 31(2), 39–53. <http://doi.org/10.1162/comj.2007.31.2.39>
- Grabs, S. (2009). Hybrid interaction on interactive surfaces. In *Interactive Surfaces* (pp. 30–37). Munich: University of Munich.
- Green, D., & Wilson, B. N. (2008). The importance of parent and child opinion in detecting change in movement capabilities. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 75(4), 208–219. <http://doi.org/10.1177/000841740807500407>
- Greenspan, S. I., & Wieder, S. (2006). *Engaging Autism: Using the Floortime Approach to Help Children Relate, Communicate and Think*. Da Capo Lifelong Books. Da Capo Press. <http://doi.org/10.1097/01.chi0000270787.87916.0f>
- Grierson, M., & Kiefer, C. (2013). NoiseBear: a malleable wireless controller designed in participation with disabled children. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression - NIME'13* (pp. 413–416). NIME. <http://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.1178536>

- Grunder, T., Kammer, D., Brade, M., & Groh, R. (2013). Towards a design space for elastic displays. In *CM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - Workshop on Displays Take New Shape: An Agenda for Interactive Surfaces* (pp. 1–4). Paris, France: ACM.
- Hardy, M. W., & Lagasse, a B. (2013). Rhythm, movement, and autism: using rhythmic rehabilitation research as a model for autism. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7(19), 1–9. <http://doi.org/10.3389/fnint.2013.00019>
- Hayes, G. R., Hirano, S., Marcu, G., Monibi, M., Nguyen, D. H., & Yeganyan, M. (2010). Interactive visual supports for children with autism. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14(7), 663–680. <http://doi.org/10.1007/s00779-010-0294-8>
- Heaton, P. (2003). Pitch memory, labelling and disembedding in autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(4), 543–551. <http://doi.org/10.1111/1469-7610.00143>
- Hill, D. A., & Leary, M. R. (1993). *Movement disturbance: A clue to hidden competencies in persons diagnosed with autism and other developmental disabilities*. Madison, WI: DRI Press.
- Hillier, S. (2007). Intervention for children with developmental coordination disorder : a systematic review. *The Internet Journal of Allied Health Sciences and Practice*, 5(3), 1–11.
- Hobbs, D., & Worthington-Eyre, B. (2008). The efficacy of combining augmented reality and music therapy with traditional teaching: preliminary results. In *Proceedings of the 2Nd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology - iCREATE'18* (pp. 241–244). Bangkok, Thailand: Singapore Therapeutic, Assistive & Rehabilitative Technologies (START) Centre.
- Holtzblatt, K., & Beyer, H. (1993). Making customer-centered design work for teams. *Communications of the ACM*, 36(10), 92–103. <http://doi.org/10.1145/163430.164050>
- Holtzblatt, K., Wendell, J. B., & Wood, S. (2005). *Rapid Contextual Design: A How-to Guide to Key Techniques for User-Centered Design*. Elsevier. Elsevier Inc. <http://doi.org/10.1145/1066322.1066325>
- Hopkins, I. M., Gower, M. W., Perez, T. A., Smith, D. S., Amthor, F. R., Casey Wimsatt, F., & Biasini, F. J. (2011). Avatar assistant: Improving social skills in students with an asd through a computer-based intervention. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(11), 1543–1555. <http://doi.org/10.1007/s10803-011-1179-z>
- Hourcade, J. P., Bullock-Rest, N. E., & Hansen, T. E. (2012). Multitouch tablet applications and activities to enhance the social skills of children with autism spectrum disorders. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(2), 157–168. <http://doi.org/10.1007/s00779-011-0383-3>
- Ichino, J., Pon, A., Sharlin, E., Eagle, D., & Carpendale, S. (2014). Vuzik: the Effect of Large Gesture Interaction on Children’s Musical Expression. In *Proceedings of the 26th Australian Computer-*

- Human Interaction Conference on Designing Futures the Future of Design - OzCHI '14* (pp. 240–249). ACM. <http://doi.org/10.1145/2686612.2686649>
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). The reactTable: Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop Tangible Interfaces. In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '07* (p. 139). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1226969.1226998>
- Katagiri, J. (2009). The effect of background music and song texts on the emotional understanding of children with autism. *Journal of Music Therapy*, *46*(1), 15–31. <http://doi.org/10.1093/jmt/46.1.15>
- Keele, S. W., Ivry, R. I., & Pokorny, R. a. (1987). Force control and its relation to timing. *Journal of Motor Behavior*, *19*(1), 96–114. <http://doi.org/10.1080/00222895.1987.10735402>
- Kern, J. K., Geier, D. A., Adams, J. B., Troutman, M. R., Davis, G., King, P. G., ... Geier, M. R. (2011). Autism severity and muscle strength: A correlation analysis. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *5*(3), 1011–1015. <http://doi.org/10.1016/j.rasd.2010.11.002>
- Kern, P., Whipple, J., Wakeford, L., Guerrero, N., Walworth, D., Aldridge, D., ... Snell, A. M. (2013). *Early childhood music therapy and autism spectrum disorders: Developing potential in young children and their families. Music Therapy Perspectives*. Jessica kingsley publishers. <http://doi.org/10.1093/mtp/31.2.197>
- Kientz, J. A., Goodwin, M. S., Hayes, G. R., & Abowd, G. D. (2013). *Interactive Technologies for Autism. Synthesis Lectures on Assistive, Rehabilitative, and Health-Preserving Technologies* (Vol. 2). Morgan & Claypool Publishers. <http://doi.org/10.2200/S00533ED1V01Y201309ARH004>
- Kim, J., Wigram, T., & Gold, C. (2009). Emotional, motivational and interpersonal responsiveness of children with autism in improvisational music therapy. *Autism*, *13*(4), 389–409. <http://doi.org/10.1177/1362361309105660>
- Kořakowska, A., Landowska, A., Anzulewicz, A., & Sobota, K. (2017). Automatic recognition of therapy progress among children with autism. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–14. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-14209-y>
- Kurtz, L. A. (2008). *Understanding Controversial Therapies for Children with Autism, Attention Deficit Disorder, and Other Learning Disabilities*. London and Philadelphia: Jessica Kingsley Publishers.
- LaGasse, A. B., & Hardy, M. W. (2013). Considering rhythm for sensorimotor regulation in children with autism spectrum disorders. *Music Therapy Perspectives*, *31*(1), 67–77. <http://doi.org/10.1093/mtp/31.1.67>
- Lane, A. E., Young, R. L., Baker, A. E. Z., & Angley, M. T. (2010). Sensory processing subtypes in autism: Association with adaptive behavior. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *40*(1), 112–

122. <http://doi.org/10.1007/s10803-009-0840-2>
- Lang, R., O'Reilly, M., Healy, O., Rispoli, M., Lydon, H., Streusand, W., ... Giesbers, S. (2012). Sensory integration therapy for autism spectrum disorders: A systematic review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(3), 1004–1018. <http://doi.org/10.1016/j.rasd.2012.01.006>
- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In *HCI and Usability for Education and Work* (pp. 63–76). Berlin, Heidelberg: Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6
- Lazar, J., Feng, J. H., & Hochheiser, H. (2017). *Research Methods in Human-Computer Interaction. The Blackwell Companion to Science and Christianity* (2nd ed.). Morgan Kaufmann. <http://doi.org/10.1002/9781118241455.fmatter>
- Lim, H. a, Miller, K., & Fabian, C. (2011). The effects of therapeutic instrumental music performance on endurance level, self-perceived fatigue level, and self-perceived exertion of inpatients in physical rehabilitation. *Journal of Music Therapy*, 48(2), 124–48. <http://doi.org/10.1093/jmt/48.2.124>
- Lloyd, M., MacDonald, M., & Lord, C. (2013). Motor skills of toddlers with autism spectrum disorders. *Autism*, 17(2), 133–46. <http://doi.org/10.1177/1362361311402230>
- Longo, M. R., & Haggard, P. (2009). Sense of agency primes manual motor responses. *Perception*, 38(1), 69–78. <http://doi.org/10.1068/p6045>
- Lundy-Ekman, L., Ivry, R., Keele, S., & Woollacott, M. (1991). Timing and Force Control Deficits in Clumsy Children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(4), 367–376. <http://doi.org/10.1162/jocn.1991.3.4.367>
- MacNeil, L. K., & Mostofsky, S. H. (2012). Specificity of dyspraxia in children with autism. *Neuropsychology*, 26(2), 165–171. <http://doi.org/10.1037/a0026955>
- Madrigal, M., Cibrian, F. L., Avelais, M., & Tentori, M. (2018). Cambios en el desempeño motor a partir de sesiones con musicoterapia tradicional en niños escolares con Trastorno del Espectro Autista. In *Poster en: X Congreso Cerebro-Mente: La integración*. (p. 1). Guatemala.
- Magee, W. L. (2006). Electronic technologies in clinical music therapy: A survey of practice and attitudes. *Technology and Disability*, 18(3), 139–146.
- Malek, I. a, Machani, B., Mevcha, a M., & Hyder, N. H. (2006). Inter-observer reliability and intra-observer reproducibility of the Weber classification of ankle fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 88(9), 1204–1206. <http://doi.org/10.1302/0301-620X.88B9.17954>
- Malizia, A., & Bellucci, A. (2012). The artificiality of natural user interfaces. *Communications of the ACM*, 55(3), 36–38. <http://doi.org/10.1145/2093548.2093563>
- Mari, M., Castiello, U., Marks, D., Marraffa, C., & Prior, M. (2003). The reach-to-grasp movement in

- children with autism spectrum disorder. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1430), 393–403. <http://doi.org/10.1098/rstb.2002.1205>
- Markram, H., Rinaldi, T., & Markram, K. (2007). The intense world syndrome – an alternative hypothesis for autism. *Frontiers in Neuroscience*, 1(1), 77–96. <http://doi.org/10.3389/neuro.01.1.1.006.2007>
- McCracken, G. (1988). *The Long Interview*. United States of America: SAGE. <http://doi.org/doi:10.4135/9781412986229>
- McGowan, J., Leplâtre, G., & McGregor, I. (2017). CymaSense: A Novel Audio-Visual Therapeutic Tool for People on the Autism Spectrum. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '17* (pp. 62–71). <http://doi.org/10.1145/3132525.3132539>
- Meldrum, D., Glennon, A., Herdman, S., Murray, D., & McConn-Walsh, R. (2012). Virtual reality rehabilitation of balance: assessment of the usability of the Nintendo Wii(®) Fit Plus. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 7(3), 205–210. <http://doi.org/10.3109/17483107.2011.616922>
- Mertel, K. (2014). Therapeutical Instrumental Music Performance (TIMP). In M. H. Thaut & V. Hoemberg (Eds.), *Handbook of Neurologic Music Therapy* (pp. 116–139). UK: Oxford University Press.
- Mintzberg, H. (1970). Structured Observation as a Method to Study Managerial Work. *The Journal of Management Studies*, 7(1), 87–104. <http://doi.org/10.1111/j.1467-6486.1970.tb00484.x>
- Molnar-Szakacs, I., Wang, M. J., Laugeson, E. a, Overy, K., Wu, W.-L., & Piggot, J. (2009). Autism, emotion recognition and the mirror neuron system: the case of music. *McGill Journal of Medicine : MJM : An International Forum for the Advancement of Medical Sciences by Students*, 12(2), 87–98.
- Moore, J. W., & Fletcher, P. C. (2012). Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 59–68. <http://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010>
- Mosconi, M. W., Mohanty, S., Greene, R. K., Cook, E. H., Vaillancourt, D. E., & Sweeney, J. A. (2015). Feedforward and Feedback Motor Control Abnormalities Implicate Cerebellar Dysfunctions in Autism Spectrum Disorder. *Journal of Neuroscience*, 35(5), 2015–2025. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2731-14.2015>
- Mueller, F. “Floyd,” Edge, D., Vetere, F., Gibbs, M. R., Agamanolis, S., Bongers, B., & Sheridan, J. G. (2011). Designing sports: a framework for exertion games. In *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11* (pp. 2651–2660). <http://doi.org/10.1145/1978942.1979330>
- Müller, M., Gründer, T., & Groh, R. (2015). Data exploration on elastic displays using physical metaphors.

- In *xCoAx 2015: Proceedings of the Third Conferenc on Computation, Communication, Aesthetics and X* (pp. 111–124). Porto: Universidade do Porto, Porto.
- Nawaz, A., Helbostad, J. L., Chiari, L., Chesani, F., & Cattelani, L. (2015). User Experience (UX) of the fall risk assessment tool (FRAT-up). In *IEEE 28th International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (pp. 19–22). Sao Carlos, Brazil: IEEE. <http://doi.org/10.1109/CBMS.2015.63>
- Nielsen, J. (1994). Usability inspection methods. In *Conference companion on Human factors in computing systems - CHI '94* (pp. 413–414). Boston, Massachusetts, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/259963.260531>
- Nobre, K., & Kastner, S. (2003). *The Oxford Handbook of Attention* (Vol. 3). UK: Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199675111.001.0001>
- Ochs, E., Kremer-Sadlik, T., Sirota, K. G., & Solomon, O. (2004). Autism and the Social World: An Anthropological Perspective. *Discourse Studies*, 6(2), 147–183. <http://doi.org/10.1177/1461445604041766>
- Oliveros, P., Miller, L., Heyen, J., Siddall, G., & Hazard, S. (2011). A musical improvisation interface for people with severe physical disabilities. *Music and Medicine*, 3(3), 172–181. <http://doi.org/10.1177/1943862111411924>
- Ortega, D. H., Cibrian, F. L., & Tentori, M. (2015). BendableSound: a fabric-based interactive surface to promote free play in children with autism. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility - ASSETS '15* (pp. 315–316). Lisbon, Portugal: ACM. <http://doi.org/10.1145/2700648.2811355>
- Ospina, M. B., Seida, J. K., Clark, B., Karkhaneh, M., Hartling, L., Tjosvold, L., ... Smith, V. (2008). Behavioural and developmental interventions for autism spectrum disorder: A clinical systematic review. *PLoS ONE*, 3(11), 1–32. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0003755>
- 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. In *Proceeding of the 2005 conference on Interaction design and children - IDC '05* (pp. 110–116). Boulder, Colorado: ACM. <http://doi.org/10.1145/1109540.1109555>
- Piaget, J. (1991). *Seis Estudios De Psicología. Cuadernos Políticos*. Labor, S.A.
- Piek, J. P., & Skinner, R. A. (1999). Timing and force control during a sequential tapping task in children with and without motor coordination problems. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5(4), 320–329. <http://doi.org/10.1017/S1355617799544032>
- Piper, A. M., Weibel, N., & Hollan, J. (2012). TAP & PLAY: An End-User Toolkit for Authoring Interactive Pen and Paper Language Activities. In *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human*

- Factors in Computing Systems - CHI '12* (p. 149). ACM Press. <http://doi.org/10.1145/2207676.2207698>
- Politi, P., Emanuele, E., Grassi, M., & Invisible Orchestra Project. (2012). Development of the “Playing-in-Touch” (PiT) questionnaire: A measure of musical intouchness in people with low-functioning autism. *Neuro Endocrinology Letters*, 33(5), 552–558.
- Preece, J., Sharp, H., & Rogers, Y. (2015). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley (4th ed.). John Wiley & Sons. [http://doi.org/10.1016/S0010-4485\(86\)80021-5](http://doi.org/10.1016/S0010-4485(86)80021-5)
- Putnam, C., & Chong, L. (2008). Software and technologies designed for people with autism: what do users want? In *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ASSETS'08* (pp. 3–10). Nova Scotia, Canada: ACM. <http://doi.org/10.1145/1414471.1414475>
- Rauschenberger, M., Schrepp, M., Perez-Cota, M., Olschner, S., & Thomaschewski, J. (2013). Efficient measurement of the user experience of interactive products. How to use the user experience questionnaire (UEQ). Example: spanish language version. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2(1), 39–45. <http://doi.org/10.9781/ijimai.2013.215>
- Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 969–992. <http://doi.org/10.3758/BF03206433>
- Repp, B. H., & Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006-2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 403–452. <http://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>
- Ringland, K. E., Zalapa, R., Neal, M., Escobedo, L., Tentori, M., & Hayes, G. R. (2014). SensoryPaint: A Multimodal Sensory Intervention for Children with Neurodevelopmental Disorders. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '14* (pp. 873–884). Seattle, Washington: ACM. <http://doi.org/10.1145/2632048.2632065>
- Ritterfeld, U., Cody, M. J., & Vorderer, P. (2009). *Serious Games: Mechanisms and Effects*. Routledge.
- Rivas, J., Orihuela-Espina, F., Sucar, L., Palafox, L., Hernández-Franco, J., & Bianchi-Berthouze, N. (2015). Detecting affective states in virtual rehabilitation. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, 15(2), 287–292. <http://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2015.259250>
- Robledo, J., Donnellan, A. M., & Strandt-Conroy, K. (2012). An exploration of sensory and movement differences from the perspective of individuals with autism. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6(November), 107. <http://doi.org/10.3389/fnint.2012.00107>
- Rogers, K., Weber, M., Röhlig, A., Weing, M., Gugenheimer, J., Könings, B., ... Seufert, T. (2014). P.I.a.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection. In *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '14* (pp. 149–158). Dresden,

- Germany: ACM. <http://doi.org/10.1145/2669485.2669514>
- Rosenthal, R., & Rosnow, R. (2007). *Essentials of Behavioral Research: Methods and Data Analysis* (3rd ed.). Boston, MA, USA: McGraw-Hill.
- Salgado-Montejo, A., Marmolejo-Ramos, F., Alvarado, J. A., Arboleda, J. C., Suarez, D. R., & Spence, C. (2016). Drawing sounds: representing tones and chords spatially. *Experimental Brain Research*, 234(12), 3509–3522. <http://doi.org/10.1007/s00221-016-4747-9>
- Sanglakh, A., Atigh, G., Akbarfahimi, M., & Zarei, M. A. (2017). The Effect of Movement Activities in Synchronization With Music on Motor Proficiency of Children With Autism. *Journal of Advanced Medical Sciences and Applied Technologies*, 3(2), 61–68. <http://doi.org/10.18869/2Fnrip.jamsat.3.2.61>
- Santoso, H. B., Isal, R. Y. K., Basaruddin, T., Sadira, L., & Schrepp, M. (2014). Research-in-progress: User experience evaluation of student centered e-learning environment for computer science program. In *3rd International Conference on User Science and Engineering (i-USER)* (pp. 52–55). Shah Alam, Malaysia: IEEE. <http://doi.org/10.1109/IUSER.2014.7002676>
- Schaaf, R. C., Benevides, T., Mailloux, Z., Faller, P., Hunt, J., van Hooydonk, E., ... Kelly, D. (2014). An intervention for sensory difficulties in children with autism: a randomized trial. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(7), 1493–1506. <http://doi.org/10.1007/s10803-013-1983-8>
- Schaaf, R. C., & Miller, L. J. (2005). Occupational therapy using a sensory integrative approach for children with developmental disabilities. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 11(2), 143–148. <http://doi.org/10.1002/mrdd.20067>
- Schmidt, R. A. (1988). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (2nd ed.). Human kinetics.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach* (4th ed.). Human kinetics. [http://doi.org/10.1016/S0161-4754\(00\)90186-6](http://doi.org/10.1016/S0161-4754(00)90186-6)
- Schonauer, C., Pintaric, T., Kaufmann, H., Jansen-Kosterink, S., & Vollenbroek-Hutten, M. (2011). Chronic pain rehabilitation with a serious game using multimodal input. In *International Conference on Virtual Rehabilitation - ICVR 2011* (pp. 1–8). Zurich, Switzerland, Switzerland: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICVR.2011.5971855>
- Shams, L., & Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(11), 411–417. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Oxford University Press on Behalf of Biometrika Trust*, 52(3/4), 591–611. <http://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sinclair, J., Hingston, P., & Masek, M. (2007). Considerations for the design of exergames. In *Proceedings*

- of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia - GRAPHITE '07 (pp. 289–296). Perth, Australia: ACM.
<http://doi.org/10.1145/1321261.1321313>
- Singh, A., Piana, S., Pollarolo, D., Volpe, G., Varni, G., Tajadura-Jiménez, A., ... Bianchi-Berthouze, N. (2016). 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), 335–383.
<http://doi.org/10.1080/07370024.2015.1085310>
- Sitdhisanguan, K., Chotikakamthorn, N., Dechaboon, A., & Out, P. (2012). Using tangible user interfaces in computer-based training systems for low-functioning autistic children. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16(2), 143–155. <http://doi.org/10.1007/s00779-011-0382-4>
- Slavin, R. E. (1987). Developmental and Motivational Perspectives on Cooperative Learning: A Reconciliation. *Child Development*, 58(5), 1161–1167.
- Soh, Z., Migita, R., Takahashi, K., Shimatani, K., Hayashi, H., Kurita, Y., & Tsuji, T. (2016). A motor behavioral evaluation method for children with developmental disorders during music therapy sessions: A pilot study. *Current Pediatric Research*, 20(1–2), 103–117.
- Spearman, C., Con, C. S., & Page, N. (1904). The Proof and Measurement of Association between Two Things. *Source: The American Journal of Psychology*, 15(1), 72–101.
<http://doi.org/10.2307/1412159>
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 971–995. <http://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
- Spieth, P. M., Kubasch, A. S., Penzlin, A. I., Illigens, B. M. W., Barlinn, K., & Siepmann, T. (2016). Randomized controlled trials – A matter of design. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 12(1), 1341–1349. <http://doi.org/10.2147/NDT.S101938>
- Srinivasan, S. M., & Bhat, A. N. (2013). A review of “music and movement” therapies for children with autism: embodied interventions for multisystem development. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7(22), 1–15. <http://doi.org/10.3389/fnint.2013.00022>
- Staples, K. L., & 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., & 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>
- Strauss, A., Corbin, J. M., & Corbin, J. (2015). *Basics of qualitative research: techniques and procedures for developing grounded theory* (4th ed.). Los Angeles, California: SAGE.

<http://doi.org/10.4135/9781452230153>

- Tam, C., Schwellnus, H., Eaton, C., Hamdani, Y., Lamont, A., & Chau, T. (2007). Movement-to-music computer technology: a developmental play experience for children with severe physical disabilities. *Occupational Therapy International*, 14(2), 221–231. <http://doi.org/https://doi.org/10.1002/oti.227>
- Tang, S. T., & McCorkle, R. (2002). Use of family proxies in quality of life research for cancer patients at the end of life: a literature review. *Cancer Investigation*, 20(7–8), 1086–1104. <http://doi.org/10.1081/CNV-120005928>
- Tartaro, A., & Cassell, J. (2008). Playing with Virtual Peers : Bootstrapping Contingent Discourse in Children with Autism. In *Analysis* (Vol. 2, pp. 382–389). Utrecht, The Netherlands: International Society of the Learning Sciences.
- Thaut, M. H. (1988). Rhythmic intervention techniques in music therapy with gross motor dysfunction. *Arts in Psychotherapy*, 15(2), 127–137. [http://doi.org/10.1016/0197-4556\(88\)90020-2](http://doi.org/10.1016/0197-4556(88)90020-2)
- Thaut, M. H., & Abiru, M. (2010). Rhythmic Auditory Stimulation in Rehabilitation of Movement Disorders: A Review of Current Research. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 27(4), 263–269. <http://doi.org/10.1525/mp.2007.25.2.135>
- Thaut, M. H., Kenyon, G. P., Hurt, C. P., McIntosh, G. C., & Hoemberg, V. (2002). Kinematic optimization of spatiotemporal patterns in paretic arm training with stroke patients. *Neuropsychologia*, 40(7), 1073–1081. [http://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00141-5](http://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00141-5)
- Thaut, M. H., Kenyon, G. P., Schauer, M. L., & McIntosh, G. C. (1999). The connection between rhythmicity and brain function. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 18(2), 101–108. <http://doi.org/10.1109/51.752991>
- Thaut, M. H., & Volker, H. (2014). *Handbook of neurologic music therapy. Handbook of neurologic music therapy*. Oxford University Press.
- Tomchek, S. D., & Dunn, W. (2007). Sensory processing in children with and without autism: a comparative study using the short sensory profile. *American Journal of Occupational Therapy*, 61(2), 190–200. <http://doi.org/10.5014/ajot.61.2.190>
- Torres, E. B., & Donnellan, A. M. (2015). *Autism: the movement perspective*. Frontiers in Integrative Neuroscience. <http://doi.org/10.3389/978-2-88919-509-1>
- Troiano, G. M., Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2014). User-defined gestures for elastic, deformable displays. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '14* (pp. 1–8). Como, Italy: ACM. <http://doi.org/10.1145/2598153.2598184>
- Troiano, G. M., Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2015). Deformable Interfaces for Performing Music. In

- Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15* (pp. 377–386). Seoul, Republic of Korea: ACM. <http://doi.org/10.1145/2702123.2702492>
- UNICEF. (2004). *Desarrollo Psicosocial de los niños y las niñas*. Colombia: Colombia: UNICEF.
- Vandavelde, C., Conradie, P., Ville, J. De, & Saldien, J. (2014). Playful Interaction : Designing and Evaluating a Tangible Rhythmic Musical Interface. In *INTER-FACE : The Second International Conference on Live Interfaces* (pp. 1–7). Lisbon, Portugal: University Gent.
- Villafuerte, L., Markova, M., & Jorda, S. (2012). Acquisition of social abilities through musical tangible user interface. In *Proceedings of the 2012 ACM annual conference extended abstracts on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts - CHI EA '12* (pp. 745–760). Austin, Texas, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2212776.2212847>
- Visell, Y., Smith, S., & Cooperstock, J. R. (2013). Interacting with Augmented Floor Surfaces. In F. Steinicke, Y. Visell, J. Campos, & A. Lécuyer (Eds.), *In Human Walking in Virtual Environments* (Springer N, pp. 377–399). New York, NY: Springer New York. <http://doi.org/10.1007/978-1-4419-8432-6>
- Visi, F., Schramm, R., & Miranda, E. (2014). Gesture in performance with traditional musical instruments and electronics. In *Proceedings of the 2014 International Workshop on Movement and Computing - MOCO '14* (pp. 100–105). Paris, France.: ACM. <http://doi.org/10.1145/2617995.2618013>
- Volkmar, F. R. (1998). *Autism and pervasive developmental disorders*. Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00317.x>
- Volkmar, F. R., Lord, C., Bailey, A., Schultz, R. T., & Klin, A. (2004). *Autism and pervasive developmental disorders. Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines* (second, Vol. 45). Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00317.x>
- Wendell, J. B., Shelley, W., & Karen, H. (2004). *Rapid contextual design A How-To Guide to Key Techniques for User-Centered Design*. Elsevier. <http://doi.org/10.1145/1066322.1066325>
- Whipple, J. (2012). Music Therapy as an effective treatment with Autism Spectrum Disorders in early childhood: A meta-analysis. In Kern & M. Humpa (Eds.), *Early childhood music therapy and autism spectrum disorders: Developing potential in young children and their families* (pp. 59–76). Jessica Kingsley Publishers.
- Whyatt, C. P., & Craig, C. M. (2012). Motor skills in children aged 7-10 years, diagnosed with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(9), 1799–809. <http://doi.org/10.1007/s10803-011-1421-8>
- Wigram, T., Pedersen, I. N., & Bonde, L. O. (2002). *A Comprehensive Guide to Music Therapy - Theory, Clinical Practice, Research and Training*. London and Philadelphia: Jessica Kingsley Publishers.

- Wilcoxon, F. (1946). Individual Comparisons of Grouped Data by Ranking Methods. *Journal of Economic Entomology*, 39(2), 269–270. <http://doi.org/10.1093/jee/39.2.269>
- Wilson, C. (2009). THE DEVELOPMENTAL COORDINATION DISORDER QUESTIONNAIRE 2007 (DCDQ'07). *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 29(2), 182–202.
- Xiao, X., Puentes, P., Ackermann, E., & Ishii, H. (2016). Andantino. In *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '16* (pp. 37–45). Manchester, United Kingdom: ACM. <http://doi.org/10.1145/2930674.2930689>
- Yun, K., Song, J., Youn, K., Cho, S., & Bang, H. (2013). ElaScreen: Exploring Multi-dimensional Data using Elastic Screen. In *Proceedings of the extended abstracts of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '13)* (pp. 1311–1316). Paris, France: ACM. <http://doi.org/10.1145/2468356.2468590>

Anexos

Anexo 1: Descripción de los componentes de software de Música Flexible

Librería TSPS

MúsicaFlexible utiliza como tecnología un sensado óptico indirecto (Visell, Smith, & Cooperstock, 2013) –i.e., un sensor deduce la posición del usuario mediante un dispositivo de video que se coloca detrás de la tela.

La ubicación donde está tocando el usuario se infiere con el sensor Kinect, el cual se conecta a la computadora mediante USB. Para gestionar los datos del sensor Kinect, se utiliza el kit de herramientas para detectar personas en espacios TSPS v1.3.7⁴⁹ (TSPS por sus siglas en inglés *Toolkit for Sensing People in Spaces*). TSPS funciona de manera transparente para el usuario, es fácil de configurar y multiplataforma.

TSPS utiliza un modelo cliente servidor, donde TSPS es el servidor que se encarga de obtener el video que el sensor Kinect capta, ejecutar los algoritmos de visión por computadora y enviar los datos al cliente. El cliente es una aplicación en Processing v2.2.1⁵⁰ que se encarga de obtener los datos y actualizar la dinámica del juego, i.e., determinar los efectos visuales y de sonido que aparecerán en MúsicaFlexible dada la interacción del usuario. TSPS utiliza el protocolo de comunicación OSC (*Open Sound Control*).

Para la configuración de MúsicaFlexible, primero, se ajustan los valores de sensibilidad de TSPS de la cámara Kinect para poder detectar deformaciones en una tela. TSPS utiliza un “umbral” (valores entre 0 a 255) que determina la cantidad de luz que se detecta. El umbral se debe ajustar para distinguir los contornos de las formas, en nuestro caso, para detectar el contorno de las deformaciones producidas en la tela. Por lo general en MúsicaFlexible se utilizan valores entre cero y seis dado que entre menos luz se deje pasar se aprecia mejor la deformación. Posteriormente se debe ajustar la sección que está observando el sensor Kinect para que sólo se vea la tela interactiva (i.e., modificar el campo de visión en la opción cámara) (Figura 30-izquierda). Finalmente, se captura el fondo que está observando la cámara Kinect. Esta captura sirve para comparar el fondo con la imagen actual y detectar si hubo algún cambio en la imagen, en nuestro caso, detectar las deformaciones que se realicen en la tela.

Por cada deformación que se detecta, TSPS envía información al cliente (la aplicación en Processing) sobre la deformación. TSPS le asigna un identificador a la deformación, y obtiene información relevante, por ejemplo, el área que abarca la deformación, el centroide y la profundidad (Figura 30-derecha). El centroide está formado por una coordenada (x,y) que nos permite inferir donde está tocando el usuario. El área de la deformación y la profundidad son valores que nos permiten inferir que tan profundo está tocando el usuario la tela.

⁴⁹ <http://www.tspcs.cc/>

⁵⁰ **Processing:** es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo basado en Java diseñado para la producción de proyectos multimedia e interactivos. <https://processing.org/>

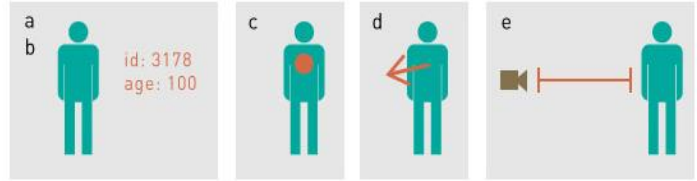
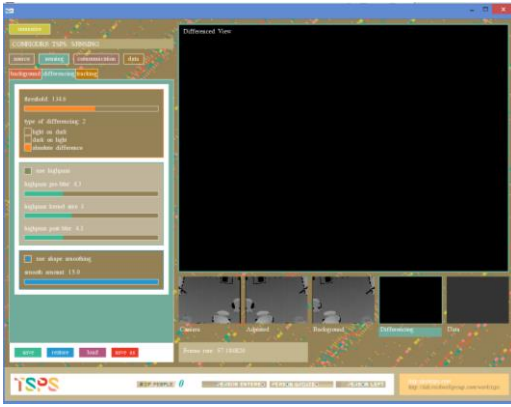


Figura 34. Interfaz gráfica de usuario del kit de herramientas TSPS (izquierda). Información obtenida de TSPS: a) identificador del usuario, b) duración, c) centroide, d) velocidad, e) profundidad (derecha).

Dinámica del juego

El componente “dinámica del juego” está compuesto por la interfaz de configuración, y la lógica de MúsicaFlexible.

Interfaz de configuración

En MúsicaFlexible, los terapeutas tienen una interfaz gráfica (GUI por sus siglas en inglés *Graphic User Interface*) dedicada para seleccionar la actividad, tipo de instrumento musical y canción con la que los niños van a interactuar durante la sesión de terapia (Figura 35). A continuación se describen los elementos que se pueden configurar utilizando la interfaz mostrada en la Figura 35:

- **Nombre del participante:** el nombre del participante sirve para llevar un registro de las interacciones con MúsicaFlexible.
- **Tamaño de la pantalla:** dado que MúsicaFlexible es una pantalla elástica de gran escala⁵¹, los terapeutas pueden seleccionar a que altura aparecerá el cohete que los participantes tienen que empujar. MúsicaFlexible tiene tres configuraciones, chico, el cohete aparecen solo en la parte inferior; mediano, el cohete aparece en la parte central e inferior de la tela; grande, el cohete aparece en la parte superior, central e inferior de la tela.
- **Canción infantil:** existe una biblioteca de canciones pre-definidas en formato MIDI (*Musical Instrument Digital Interfaces*)⁵², que el terapeuta puede seleccionar. También el terapeuta puede agregar canciones a esta biblioteca siempre y cuando tenga el formato MIDI.
- **Instrumento musical:** MúsicaFlexible tiene disponible 42 sonidos de instrumentos musicales, los cuales se agruparon en seis categorías siguiendo el estándar general MIDI⁵³. Las categorías son:

⁵¹ Se considera una superficie flexible de gran escala aquellas que son mayores a 122 cm de longitud (Chung & Ryoo, 2016).

⁵² Estándar tecnológico que describe el protocolo de comunicación, la interfaz, y los conectores que permiten conectar instrumentos musicales, computadoras, dispositivos de audio entre sí.

piano, percusiones, órganos, guitarra, bajos, y cuerdas. Cada categoría tiene siete instrumentos diferentes. El terapeuta puede seleccionar una categoría y de manera aleatoria se selecciona uno de los siete instrumentos pertenecientes a esa categoría.

- **Ejercicios:** MúsicaFlexible organiza sus actividades en cuatro tipos de ejercicios, *completo*, *empujar*, *fuerza* y *ritmo*. El ejercicio *completo* consiste en realizar las actividades en el siguiente orden: descubrir (actividad 1), empujar de manera libre (actividad 2), control de fuerza (actividad 3), ritmo (actividad 4), y descubrir (actividad 1). Las ejercicio de *empujar*, *fuerza* y *ritmo*, consisten en realizar una sola actividad iniciando y terminando con la actividad de descubrir. De esta manera las terapeutas pueden elegir si el niño necesita reforzar una sola actividad o es capaz de realizarlas todas.
- **Número de repeticiones:** la terapeuta puede ingresar la cantidad de repeticiones que el niño debe realizar por cada actividad. De manera predefinida se sugiere que los niños realicen al menos cinco repeticiones.

Se agregaron también atajos del teclado, *i.e.*, el terapeuta puede usar los botones <<1>>, <<2>>, <<3>>, o <<4>> para cambiar a la actividad 1, 2, 3 o 4, respectivamente, o ajustar la velocidad del ritmo de fondo usando las teclas de arriba <<↑>>, para aumentar la velocidad del ritmo o abajo <<↓>> para disminuirla.

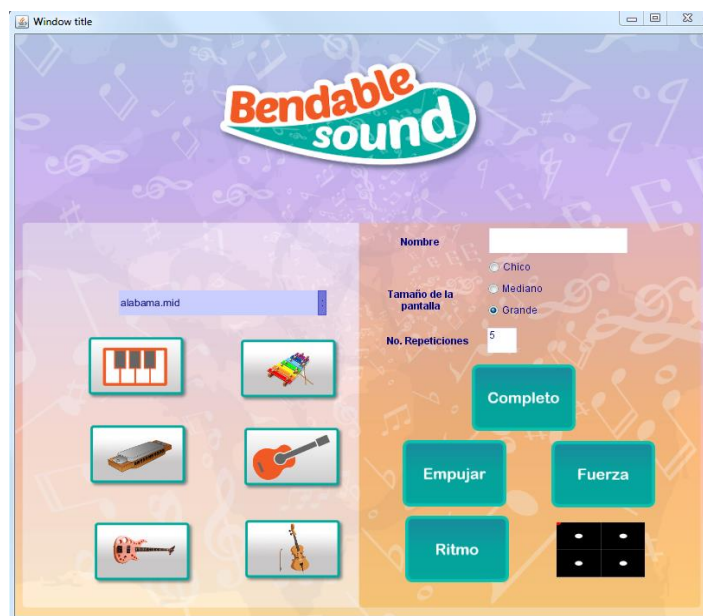


Figura 35. Interfaz gráfica para la configuración de MúsicaFlexible.

⁵³ De acuerdo con el estándar MIDI, existen 128 alternativas de sonidos divididas en 17 categorías. Cada categoría tiene 7 sonidos de instrumentos musicales diferentes. MúsicaFlexible usa los instrumentos provenientes de las familias de Piano, percusiones cromáticas, órganos, guitarras, bajos, cuerdas, dado que son los sonidos de instrumentos musicales que se usan comúnmente en sesiones de musicoterapia.

La interfaz gráfica se implementó en Processing 2.2.1⁵⁴ utilizando la librería GUI para Processing v3.4⁵⁵ (G4P por *GUI for Processing*; Figura 35). G4P provee una colección de controles para interfaces gráficas de usuario (*e.g.*, botones, cuadros de texto, etiquetas). Además, permite la creación de múltiples ventanas. Esta última característica es de vital importancia debido a que se necesitan dos ventanas para MúsicaFlexible, una para la configuración y otra para proyectar la dinámica del juego

Implementación de las actividades

La parte lógica de MúsicaFlexible se encarga de coordinar los elementos visuales y auditivos disponibles en MúsicaFlexible por cada actividad. Las actividades están formados por una canción, un instrumento, y un conjunto de repeticiones que la maestra selecciona mediante la interfaz de configuración ().

Independientemente del ejercicio que se seleccione, todas las sesiones terapéuticas inician y terminan con la actividad de descubrir. La actividad de descubrir tiene un fondo cubierto por una capa oscura de pixeles. Cada vez que el niño interactúa con la tela, se obtiene la coordenada donde el niño tocó (x, y, z) y se remueve de esa posición la capa oscura de pixeles “iluminándose” esa área en forma circular. Las coordenadas (x, y) determinan el centro del círculo, la coordenada en (z) determina el radio del círculo, y la coordenada en (y) determina la nota musical que se escuchará *-i.e.*, el niño descubrirá un área circular en donde toque la tela de un tamaño z mientras escucha la nota musical ubicada en la posición y .

La lógica de los niveles que siguen la rutina de ejercicio es la siguiente (Figura 36): aparece un elemento visual al lado izquierdo que el niño tiene que empujar. Una vez que el niño lo empuja, se valida si el niño empujó el elemento visual, fuerte o suave. Si el niño usó la fuerza adecuada entonces se contabiliza una repetición. El elemento visual toma en cuenta la fuerza ejercida como impulso para desplazarse y “cachar” las notas musicales que están distribuidas en la superficie de la tela (*canvas*). En caso de que el niño no utilice la fuerza adecuada el elemento visual permanece en la misma posición y el niño deberá repetir el movimiento. Una vez que el niño termina el número de repeticiones, el elemento visual cambia de posición, de izquierda a derecha o de forma alternada, hasta que el niño termine la rutina de ejercicios.

⁵⁴ **Processing**: es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo basado en Java diseñado para la producción de proyectos multimedia e interactivos. <https://processing.org/>

⁵⁵ <http://www.lagers.org.uk/g4p/>

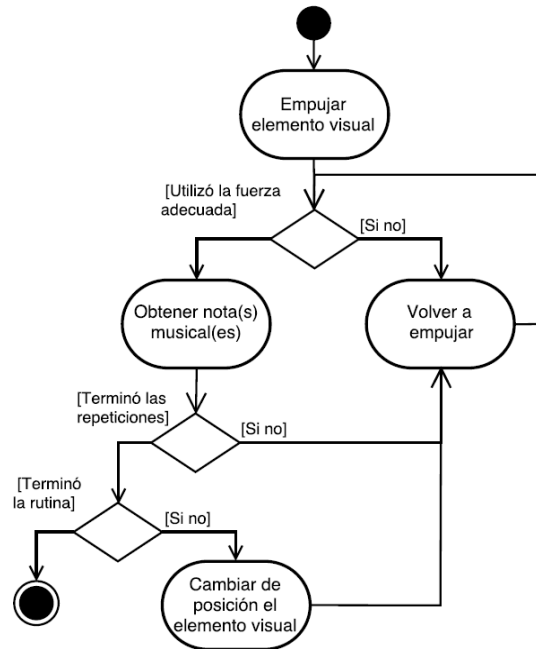


Figura 36. Diagrama de actividad de la rutina de ejercicio seguida en MúsicaFlexible.

Manejador de sonidos y visualizaciones

El manejador de sonidos de MúsicaFlexible utiliza la interfaz de programación de aplicaciones (API por sus siglas en inglés *Application Programming Interface*) JavaSounds⁵⁶. JavaSounds permite controlar los sonidos de audio y MIDI. Con JavaSounds, MúsicaFlexible recibe de entrada una canción en formato MIDI y una familia de sonidos de instrumentos musicales. La canción se procesa y se obtienen las notas musicales que la conforman. Posteriormente las notas musicales se organizan de graves a agudas y se les asigna una posición en la tela. De esta manera las notas más graves se encuentran en la parte inferior de la tela, colindando con las notas siguientes hasta llegar a la nota más aguda que se encuentra en la parte superior de la tela (Figura 37).

MúsicaFlexible también utiliza JavaSounds para obtener diferentes sonidos de instrumentos musicales. Dada la categoría de instrumento musical que el terapeuta selecciona, MúsicaFlexible asigna de manera aleatoria un sonido de un instrumento musical perteneciente a esta categoría a las notas musicales. Por ejemplo, el terapeuta puede seleccionar la categoría de percusiones y el sistema asignará la marimba seleccionando de manera aleatoria este instrumento de entre los disponibles (celesta, carillones, caja de música, vibráfono, marimba, xilófono, campanas tubulares).

⁵⁶ <http://www.oracle.com/technetwork/java/index-139508.html>

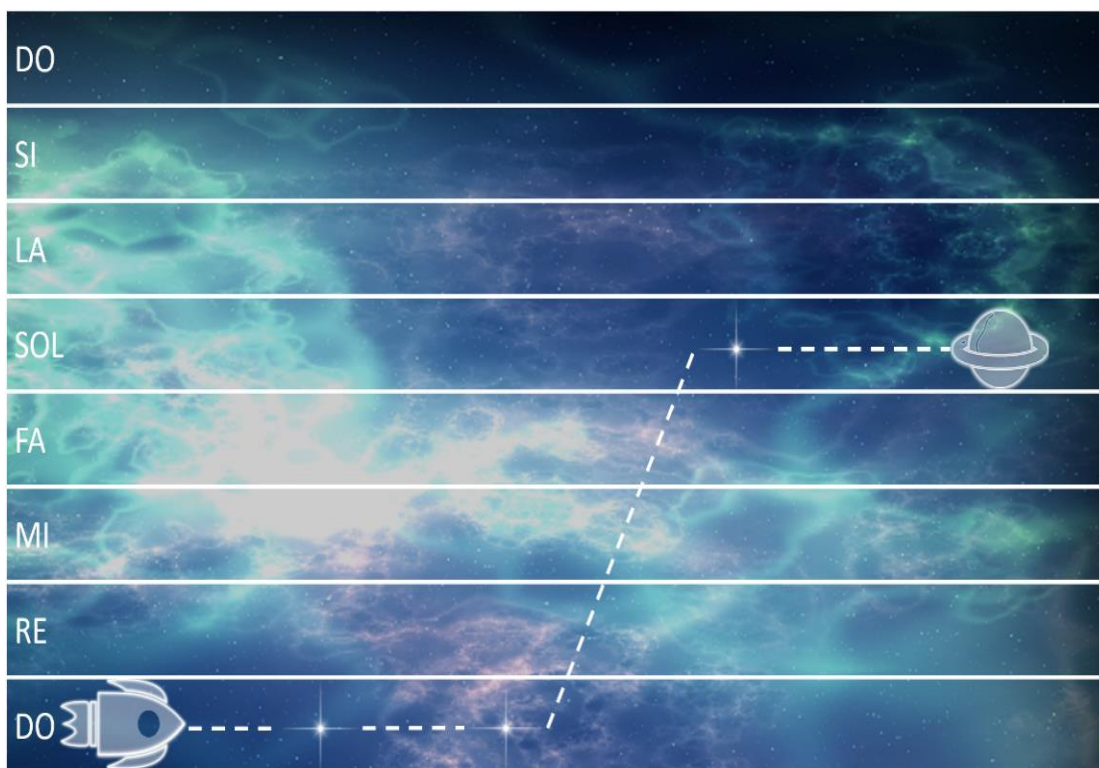


Figura 37. Visualización de la organización de los elementos visuales y auditivos en MúsicaFlexible. Las estrellas y planeas están colocadas para tocar las primeras cuatro notas musicales de la canción estrellita (Do-do-sol-sol).

El manejador de visualizaciones contiene principalmente el control de dos tipos de visualizaciones, el fondo y los elementos visuales. Para el fondo se utilizó un “sombreador” (*shader*)⁵⁷ de nebulosa⁵⁸ disponible de manera libre en el lenguaje de sombreado OpenGL (*GLSL OpenGL Shading Language*).

Los elementos visuales son de dos tipos: el elemento de empuje y los elementos objetivo. Los elementos objetivos son estrellas o planetas que se colocan de acuerdo a las notas de la canción que el niño tiene que “cachar” para ir integrando compases de la canción infantil (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El elemento de empuje se coloca al lado izquierdo o derecho dependiendo de la rutina de ejercicio, y a la altura de la nota musical inicial que el niño tiene que recolectar (Figura 37). El elemento de empuje corresponde a la primera nota musical que el cohete toca en su trayecto, mientras que los elementos objetivos son los elementos que el cohete “cacha” durante su trayecto. Por ejemplo, suponga que la terapeuta selecciona la canción de “estrellita” cuyas primeras cuatro notas musicales son: Do-Do-Sol-Sol. El cohete, que es el elemento de empuje, se posiciona inicialmente del lado izquierdo a la altura de la nota Do. Mientras que las estrellas y los planetas, los cuales son los elementos objetivo, se colocan de manera vertical de acuerdo a las notas de la canción de estrellita. La trayectoria que el cohete sigue dependerá de la posición de las notas de la canción. En este caso, Do-Do-Sol-Sol.

⁵⁷ El *shader* es un procedimiento de sombreado e iluminación personalizado que permite modificar o colorear píxeles para crear efectos especiales como iluminación, o movimientos.

⁵⁸ Disponible de manera libre en: <https://www.shadertoy.com>

Anexo 2: Ejemplo de formato de consentimiento.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA

CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR COMO SUJETO DE INVESTIGACIÓN

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 INVESTIGACIÓN

Investigadores:

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

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El propósito del estudio de investigación es evaluar el uso de superficies interactivas elásticas para el apoyo a sesiones de musicoterapia neurológica, con el objetivo de diseñar un sistema que apoye a mejorar el control motriz y la sincronización de movimientos.

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 una tela de licra que incorpora estímulos visuales y aditivos, así como también tambores.

PROCEDIMIENTOS

Como parte de este estudio, antes de introducir el uso de cualquier dispositivo computacional en la comunidad de niños con autismo es de suma importancia conocerla, entender sus problemas y estrategias utilizadas para desempeñar sus habilidades de interacción social con su entorno: padres, compañeros y maestros, y seleccionar la más adecuada que les brinde el apoyo que necesitan.

Durante la primera y última semana de la investigación, su hijo realizará pruebas psicométricas utilizando la tela interactiva, con el objetivo de que el equipo investigador analice y entienda sus habilidades y problemas motrices. Posteriormente su hijo tendrá sesiones de musicoterapia neurológica, dos veces por semana, de una duración de 15 minutos cada una. 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.

Todos los estudiantes 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. Nosotros le describiremos el estudio a su hijo y a sus maestros, permitiéndoles hacer las preguntas que crean necesarias.

Como parte de la investigación se capturarán fotos y videos. Los datos que se capturen se utilizarán de tal forma que su hijo no sea identificable. Utilizaremos también algunos cuestionarios y entrevistas a las maestras, donde pretendemos tener un mejor entendimiento del uso de la tecnología.

RIESGOS E INCOMODIDADES

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 una mejora en el control de sus movimientos.

Beneficios a Otros y a la Sociedad

Esperamos que lo que aprendamos aquí ayudará a los investigadores a crear tecnología especializada de apoyo a los niños con autismo para que mejoren sus habilidades motrices, y sensoriales. Esta tecnología tiene el potencial para mejorar la calidad de vida de esta comunidad autista y además a su familia y a sus maestros.

COMPENSACIÓN

Compensación por la Participación

El estudio no tendrá ningún costo y no proveerá de ninguna compensación económica.

TERMINACIÓN DEL ESTUDIO Y CONSECUENCIAS

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

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Durante la duración de la investigación se tomarán fotos y video de su hijo durante las sesiones de musicoterapia. Las grabaciones y fotografías serán de uso confidencial para la investigación, y únicamente con su autorización posiblemente en un futuro serán compartidas con otros investigadores para fortalecer el conocimiento e incrementar el apoyo a esta comunidad.

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar el equipo de investigación es el único que tiene la autorización de acceso a los datos, según los términos de confidencialidad mencionados. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre la identidad de usted o 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 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 PARTICIPACIÓN 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 3: Escala de usabilidad del sistema

Nombre: _____

Instrucciones: De acuerdo con el diseño de BendableSound que se les presentó, seleccione que tan de acuerdo está con las siguientes afirmaciones.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Muy de acuerdo
Pienso que me gustaría usar este sistema frecuentemente					
Encontré el sistema innecesariamente complejo					
Pienso que el sistema fue fácil de usar					
Pienso que necesitaría el apoyo de una persona técnica para usar el sistema					
Encontré las diferentes funciones del sistema bien integradas					
Pienso que hubo demasiada inconsistencia en el sistema					
Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar el sistema rápidamente					
Encontré el sistema muy incómodo de usar					
Me sentí muy confiado usando el sistema					
Necesito aprender muchas cosas antes de poder usar					

Anexo 5: Protocolo de entrevista a psicóloga durante la evaluación formativa

Protocolo de entrevista a psicóloga

Preámbulo: Buenos días mi nombre es _____, soy estudiante de _____ del CICESE en Ciencias de la Computación. El objetivo de esta investigación es el desarrollo de tecnología innovadora para apoyar a niños con autismo en el juego libre a través de la música. El equipo de investigación que encabeza este estudio, se especializa en temas referentes a computación y al desarrollo de tecnología de acuerdo al estudio de las necesidades de una comunidad. Su apoyo y retroalimentación es muy importante para nosotros ya que no nos especializamos en los temas referentes a autismo y música. La presente entrevista tiene intereses estrictos de investigación y la información recopilada de entrevistas y grabaciones serán de uso confidencial. Es importante mencionar que NO es objetivo de la entrevista evaluarlo a usted, simplemente quiero conocer la percepción que tiene en cuanto a algunas herramientas tecnológicas que hoy se proporcionan y el uso que puede dársele. La entrevista tendrá una duración aproximada de 15 minutos. La entrevista es sobre lo que observó durante las sesiones de intervención en el estudio de usuario.

Uso y adopción

1. ¿Qué semejanzas y diferencias encontró en el uso del sistema en comparación con el uso de instrumentos?
2. ¿Cuál piensa que le agradó más? Prueba: ejemplos
3. ¿Qué piensa que le agrada o desagrada al niño del sistema?
4. ¿Qué le gusta o desagrada del sistema?
5. ¿A qué problemas se enfrentó usted o el niño cuando utilizan el sistema? Prueba: ejemplos
6. ¿Cómo resolvió estos problemas? Prueba: ejemplos
7. ¿Qué le gustaría cambiar del sistema? Prueba: ejemplos

Eficacia

8. ¿Qué etapa del sistema considera que le gustó más al niño? ¿Por qué? Prueba: ejemplos
9. ¿Qué etapa del uso de instrumentos considera que le gustó más al niño? ¿Por qué? Prueba: ejemplos
10. ¿Considera que el sistema beneficia el juego libre en comparación con el uso de instrumentos?
11. ¿Qué área sensorial piensa que impactó el sistema? Prueba: ejemplos
12. ¿Qué área motor piensa que impactó el sistema? Prueba: ejemplos
13. ¿Qué área sensomotriz piensa que impactó el sistema? Prueba: ejemplos
14. ¿Qué otras áreas piensa que impactó el sistema? Prueba: ejemplos

Motivación, enganchamiento y proactividad

15. ¿Cuál es la actitud del niño durante las terapias utilizando el sistema en comparación con el uso de instrumentos musicales?
16. ¿Qué tanto difiere esta actitud?
17. ¿Qué tantas recompensas necesita darle al niño cuando utiliza el sistema en comparación con el uso de instrumentos musicales?

Anexo 6: Cuestionario del trastorno de desarrollo de la coordinación (DCDQ)

Nombre del niño (a): _____

Persona que responde el cuestionario: _____

Fecha: _____

Fecha de nacimiento del niño: _____

Instrucciones:

La mayoría de las habilidades motoras por las que se pregunta en este cuestionario se relacionan con las actividades que los niños(as) hacen con sus manos o cuando están en movimiento. Es necesario tener a la mano los materiales requeridos para cada actividad. Para cada pregunta, califique de 1 a 5, teniendo en cuenta que el 1 califica un bajo desempeño de la actividad y el 5 un alto desempeño de la actividad

Opciones de respuesta:

Ningún grado 1	Grado parcial, indicios de la habilidad 2	Grado moderado 3	Grado significativo, pero no completo 4	Grado completo, supera lo imprevisto 5
-------------------	--	---------------------	---	--

1. El niño(a) lanza una pelota de forma precisa y controlada.

1 2 3 4 5

2. El niño(a) *atrapa* una *pelota pequeña* (por ejemplo, una pelota de tenis) lanzada desde una distancia de 2 metros aproximadamente

1 2 3 4 5

3. El niño(a) *golpea* en forma precisa con un bate o una raqueta una *pelota o un objeto pequeño* que se aproxima.

1 2 3 4 5

4. El niño(a) *salta* fácilmente obstáculos encontrados en un jardín o una zona de juegos.

1 2 3 4 5

5. El niño(a) *corre* tan rápido y de manera *similar* a otros niños de su misma edad y sexo.

1 2 3 4 5

6. Si el niño(a) planea realizar una actividad motora, puede acomodar su cuerpo para realizarla y completarla de manera efectiva (por ejemplo, construir muros con cartón, almohadas o cojines, moverse entre los equipos y aparatos de una zona de juegos, construir una casa o una estructura con bloques, o utilizar materiales para manualidades)

1 2 3 4 5

7. El niño(a) *escribe* o dibuja en clase lo suficientemente *rápido* para ir a la par con los demás niños(as) de la clase

1 2 3 4 5

8. El niño(a) *escribe* letras, números y palabras en forma *legible*, precisa y correcta. Si el niño(a) aun no escribe, puede *colorear y dibujar* de manera coordinada y hacer dibujos que usted reconoce.

1 2 3 4 5

9. El niño(a) hace el *esfuerzo* o presión apropiada cuando escribe o dibuja (al utilizar el lápiz no escribe ni muy fuerte ni

1 2 3 4 5

10. El niño(a) *recorta* láminas y *formas* de manera precisa y fácil

1 2 3 4 5

11. Al niño(a) le interesa y le *gusta* participar en *deportes o juegos activos* que requieren buenas habilidades motoras.

1 2 3 4 5

12. El niño(a) aprende *nuevas habilidades motoras* (por ejemplo: nadar, patinar) fácilmente y no requiere más tiempo o más práctica para alcanzar el mismo nivel de habilidad de los otros niños(as).

1 2 3 4 5

13. El niño(a) es *rápido* y *hábil* para organizarse, vestirse, ponerse y amarrarse los zapatos, etc.

1 2 3 4 5

14. El niño(a) se mueve y se desplaza con *cuidado y agilidad* sin chocar ni tumbar objetos frágiles en un espacio pequeño.

1 2 3 4 5

15. El niño(a) *tolera estar sentado* por largos períodos de tiempo *sin fatigarse ni deslizarse* de la silla.

1 2 3 4 5

Anexo 7: Encuesta para medir la motivación con la música

Nombre del niño (a): _____

Persona que responde el cuestionario: _____

Fecha: _____

Instrucciones:

Marca la respuesta que consideres correcta de acuerdo al comportamiento que tuvo el niño durante la sesión de musicoterapia.

El niño escucha y responde ante diferente sonidos	SI	NO
El niño toca/juega de manera espontánea	SI	NO
El niño está distraído*	SI	NO
El niño se mueve en tiempo	SI	NO
El niño parece que No está emocionado*	SI	NO
El niño realiza patrones rítmicos	SI	NO
El niño juega de manera repetitiva o sin variación*	SI	NO
El niño sigue el ritmo	SI	NO
El niño está inmerso en la tarea	SI	NO
El niño realiza diferentes sonidos	SI	NO
El niño realiza sonidos de manera accidental*	SI	NO
El niño mira a otro tocar	SI	NO
El niño toca de manera estereotipada*	SI	NO
El niño toca sólo con ayuda*	SI	NO
El niño toca sin ningún ritmo*	SI	NO
El niño se mueve en tiempo	SI	NO