



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Robótica asistencial ciber-
física para terapia del habla-
lenguaje

*(Assistive Cyber-physical
Robotics for Speech-
Language Therapy)*

Eldon Glen Caldwell Marín



Tesis

Doctorales

Robótica Asistencial Ciber-física para Terapia de Habla-Lenguaje

*(Assistive Cyber-physical Robotics for
Speech-Language Therapy)*

Eldon Glen Caldwell Marín

**TESIS PRESENTADA PARA ASPIRAR AL GRADO DE DOCTOR POR
LA
UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN INFORMÁTICA
LINEA DE INVESTIGACIÓN EN
AUTOMÁTICA Y ROBÓTICA**

**Dirigida por:
Dr. Miguel Ángel Cazorla Quevedo
Dr. José María Cañas Plaza**

2020

Dedicatoria

A Dios por ser fuente de vida y fe; y porque sin su amor y poder no habría podido lograr nada y nada soy.

A toda mi familia, la que escogí y la que Dios me regaló como bendición desde el nacimiento; en particular, a mis hijos Tracy y Eldon que no dejan de ser mis porristas más efusivos.

A mi mamá, María Inés Marín Monge y mi papá, José Antonio Caldwell Barnarello (q.d.g.), quienes me han acompañado en cada etapa y reto de mi vida inculcándome los más altos valores y convicciones.

A la memoria de mi abuelito, José Adán Marín (q.d.g.) y a mi tita, María Cristina Monge Reyes (q.d.g.), porque sus detalles llenaron mi vida con una sonrisa encantadora y una voz de aliento y sabiduría en las adversidades.

A Miguel, José María y Mónica por el privilegio de sus enseñanzas, acompañamiento e inspiración para imaginar vueltas al sol.

Agradecimientos

Mi eterno agradecimiento a Carlos Andrés Morales por toda su colaboración y soporte en la ejecución de esta investigación. También agradezco de corazón a las terapeutas certificadas de habla y lenguaje, Emilia Solís Sánchez, Adriana Jones Morales y Silvia Soto Rojas por todo el apoyo brindado y su compromiso altruista y desinteresado.

A todos los chicos y chicas participantes en las validaciones experimentales: Mario Carranza Rojas, Tomás De la Fuente Medina, Xiany Rivas López, Johan Barrios Barrios, Brenda Camacho Pérez, Kevin Godínez Rodríguez, Josué Rodríguez Méndez, José Ignacio Reyes Delgado, Sebastián Chávez Campos, José Antonio Asarak Djaghinos, Víctor Montero Jones, Anthony Espinoza Chavarría, Adrián Zumbado Monge, Fiorella García Espinza, Santiago Nieto Flores y Adriana Gómez Díaz.

Además, a José García por su sincero apoyo; a Natalia Pacheco por su aporte en la sistematización de palabras y pictogramas; a David Alfaro por la recopilación de datos para el diseño de la plataforma y a todo el personal del Centro de Educación Especial de Heredia en Costa Rica por toda la colaboración brindada.

Pero de forma muy especial, agradezco profundamente a Miguel y a José María. Nada de lo que logramos hubiese sido posible sin su dirección, guía, conocimientos y experiencia en liderazgo de equipos internacionales de investigación.

Alicante,

14 de Febrero de 2020

Abstract

This doctoral research addresses assistive robotics as a general topic, called social robotics also; specifically the study of the interaction of the human-robot relationship.

Based on the literature review, this thesis was directed towards the following research problem: is it possible to improve the therapeutic effectiveness and in this way the quality of life of people with difficulties to communicate verbally due to speech-related singularities and language; through the development of socio-therapeutic strategies that use robots and virtual worlds with flexible exposure frequencies compared to the programmed exposure using only robots in the physical world?

The research problem provides innovative directionality from several scientific perspectives. On the one hand, the therapeutic integration of resources in the virtual world as well as in the physical world with assistance robotics in collaboration with the human being to meet a goal of personal growth. In addition, the possibility of breaking the barrier of controlled time of therapeutic exposure through technology. And, on the other hand, methodologically seek a scientific approach that demonstrates causality and not only association by qualitative means; since we want to know if therapeutic effectiveness can really increase as a response variable.

Therefore, and as an element of additional innovation, this research allowed the design of a technological prototype of robotic programming with animated emulation, which integrates the use of a virtual robotic avatar to facilitate the social interaction of people who have verbal communication difficulties related with speech and language.

The general objective of this thesis is stated as follows:

Contribute to scientific knowledge about human-robot interaction for therapeutic purposes of verbal communication in the Spanish language by comparing the use of robots in the physical world and also in the virtual one with flexibility of time versus the interaction limited to physical robots for periods of time fixed to know if it is possible to significantly increase the therapeutic effectiveness in terms of skills improvement and time spent on therapy.

This research contributes scientifically with the proposal of a methodological approach that seeks to obtain results based on experimental evidence and not only on the

hermeneutical analysis or the lexical analysis of qualitative data that constitutes the most frequent in scientific research in this field. In this sense, the exploratory method based on qualitative data and subjectivist epistemological approaches can be well complemented with positivist research experimentally oriented to evidence based on results linked to causality.

Another contribution of this research is in the technological development oriented towards the use of the virtual reality experience of people with speech disorders in combination with a physical robot. This is an innovative way to seek continuous and real-time exposure to speech therapy protocols without physical supervision of the therapist, taking into account that robotic applications in virtual worlds linked to the "physical world" are not frequent.

The research method corresponds to a positivist epistemology with a first phase where a cyber-physical robotic platform was developed that has been functionally validated by real patients and real therapists located at the Heredia Special Education Center, in the province of Heredia, Costa Rica, Central America.

The results of the first validation were classified into two analytical dimensions: the psychopedagogical dimension and the computer technical dimension. The platform was adjusted to promote greater confidence in the robot and to behave more playfully and with more process feedback interaction as well as the phoneme recognition threshold.

So, we concluded that the development of intelligent cyberphysical systems, when integrating robots and applications for mobile devices, should be based on critical variables for the evaluation of therapeutic impact and not only on technical functionalities related to hardware and software. The theoretical framework is essential and a multidisciplinary approach with health professionals specialized in the specific therapy is absolutely necessary.

From this first stage, the most important thing is that the practicality of the platform has been evidenced and when tested with therapists and patients there is greater confidence that it can become a useful tool in the treatment of different types of dyslalia.

Subsequently, as a second stage, a quantitative validation was carried out that was successfully executed through a 2k ANOVA Two Ways experiment with two factors: technological resources and time constraint. The response variable was the effectiveness of the platform in terms of results of speech therapy and calculated as the number of correctly pronounced words divided by the number of words exercised over a period of time.

The experiment carried out is a complete "factorial" type in terms of the number of variables that should be studied as causal factors. On this experimental method, according to the experimental findings over 10 weeks, it can be deduced that the more intensive use of this type of experiments applied to the use of assistive technologies for therapeutic purposes can provide more objective evidence for clinical use of robots and computer applications with greater robustness and reliability.

Through the experimental method executed (and with support in the multiple testimonies of professionals and users), with 95% statistical significance we concluded the following:

1. Assistive technologies, both robotic and cyberphysical systems, are causal experimental factors (statistically cause difference in the central tendency) of greater therapeutic effectiveness in dyslalia with a focus on speech skills.

2. Within 10 weeks, the use of the developed platform can improve therapeutic effectiveness in dyslalia up to 11.3%.

3. The longer the entire platform is used (or only the application for mobile devices), the greater the improvement in expected speech skills. The therapeutic effectiveness is significantly greater if the time of use is not restricted by the number of weekly sessions but the time can be flexible and at any time of the day, reaching an improvement of 10.4% in 10 weeks. In addition, there is an increasing trend in effectiveness for the group that used only the mobile device application without time restriction (from 59.83% to 69.06% for an improvement of 9.23 %) and the group with restricted time didn't show a growing trend.

4. These technologies did not cause a statistically significant change during the first 4 weeks of use but it is until 5 weeks that statistically significant changes can be expected.

5. In the case of groups with unrestricted time the finding is the use of the mobile devices app alone does not represent a factor that causes improvement if time is restricted but does represent a factor that influences the therapeutic improvement if time is not restricted and patients have the opportunity to practice more and with flexible hours.

Many testimonies of the participants show that people's motivation contributes to perseverance in the use of technology and it is clear that working with the robot can be very stimulating for users.

Also, after this research, it was found that a great opportunity in the future is to improve and clinically validate the use of this platform with virtual reality experience and in combination with a digital twin of the physical robot to improve the real life experience of the users.

Resumen

Esta investigación doctoral aborda la robótica asistencial (Assistive Robotics) como tema general, también llamada robótica social; específicamente el estudio de la interacción de la relación humano-robot.

Con base en el estudio del estado del arte realizado, esta tesis se orientó hacia el siguiente problema de investigación: ¿es posible mejorar la efectividad terapéutica y de esta forma la calidad de vida de las personas con dificultades para comunicarse verbalmente debido a singularidades relacionadas con el habla y lenguaje; por medio del desarrollo de estrategias socio-terapéuticas que utilicen robots y mundos virtuales con frecuencias de exposición flexibles en comparación con la exposición programada utilizando únicamente robots en el mundo físico?

El problema de investigación brinda una direccionalidad innovadora desde varias perspectivas científicas. Por un lado, la integración terapéutica de recursos en el mundo virtual así como en el mundo físico con robótica asistencial en colaboración con el ser humano para cumplir un objetivo de crecimiento personal.

Además, la posibilidad de romper la barrera del tiempo controlado de exposición terapéutica por medio de la tecnología. Y, por otro lado, metodológicamente buscar un abordaje científico que demuestre causalidad y no sólo asociación por medios cualitativos; dado que se quiere saber si la efectividad terapéutica realmente puede incrementar como variable de respuesta.

Por lo tanto, y como elemento de innovación adicional, esta investigación permitió el diseño de un prototipo tecnológico de programación robótica con emulación animada, que integra el uso de un avatar robótico virtual para facilitar la interacción social de personas que presentan dificultades de comunicación verbal relacionadas con el habla y lenguaje.

El objetivo general de esta tesis se plantea como sigue:

Aportar al conocimiento científico sobre la interacción humano-robot con fines terapéuticos de comunicación verbal en el idioma castellano comparando el uso de robots en el mundo físico y también en el virtual con flexibilidad de tiempos versus la interacción limitada a robots físicos por periodos de tiempo fijos para saber si es posible

incrementar de forma relevante la efectividad terapéutica en términos de mejora de habilidades y tiempo invertido en terapia.

Esta investigación contribuye científicamente con la propuesta de un enfoque metodológico que busca obtener resultados basados en la evidencia experimental y no sólo en el análisis hermenéutico o el análisis léxico de datos cualitativos que constituye lo más frecuente en la investigación científica en este campo. En este sentido, el método exploratorio basado en datos cualitativos y abordajes epistemológicos subjetivistas puede verse bien complementados con investigación positivista más orientada a la evidencia basada en resultados vinculados a la causalidad.

Otra aportación de esta investigación está en el desarrollo tecnológico orientado hacia el uso de la experiencia de realidad virtual de personas con condiciones de limitación en habla o lenguaje en combinación con un robot físico. Esta es una forma innovadora de buscar la exposición continua y en tiempo real a los protocolos de terapia de habla sin supervisión física del terapeuta, teniendo en cuenta que las aplicaciones robóticas en mundos virtuales vinculados con el "mundo físico" no son frecuentes.

El método de la investigación corresponde con una epistemología positivista con una primera parte en donde se desarrolló una plataforma robótica ciber-física que ha sido validada de forma funcional por pacientes reales y terapeutas reales ubicados en el Centro de Educación Especial de Heredia, en la provincia de Heredia, Costa Rica, Centro América.

Los resultados de la primera validación se clasificaron en dos dimensiones analíticas: la dimensión psicopedagógica y la dimensión técnica informática. La plataforma se ajustó para propiciar una confianza en el robot y que se comporte de forma más lúdica y con más interacción de realimentación de proceso así como el umbral de reconocimiento de fonemas.

Se concluye que el desarrollo de los sistemas inteligentes ciberfísicos, cuando se integran robots y aplicaciones para dispositivos móviles, debe basarse en variables críticas de evaluación del impacto terapéutico y no solo en funcionalidades técnicas relacionadas con el hardware y el software. El marco teórico es esencial y es absolutamente necesario un enfoque multidisciplinario con profesionales de la salud especializados en terapia específica.

De esta primera etapa, lo más importante es que ha quedado evidenciada la

practicidad de la plataforma ciber-física y al ser probada con terapeutas y pacientes existe mayor confianza en que pueda convertirse en una herramienta útil en el tratamiento de diferentes tipos de dislalia.

Como segunda etapa, se procedió a ejecutar una validación cuantitativa que se ejecutó exitosamente por medio de un experimento 2^k ANOVA Two Ways con dos factores: recursos tecnológicos y restricción de tiempo. La variable de respuesta fue la efectividad de la plataforma en términos de resultados de la terapia del habla y calculada como el número de palabras correctamente pronunciadas dividido entre el número de palabras ejercitadas en un periodo de tiempo.

El experimento ejecutado es de tipo "factorial" completo en términos del número de variables que deben estudiarse como factores causales. Sobre este método experimental, de acuerdo con los hallazgos experimentales a lo largo de 10 semanas, se puede deducir que el uso más intensivo de este tipo de experimentos aplicados al uso de tecnologías de apoyo con fines terapéuticos puede proporcionar evidencia más objetiva para el uso clínico de robots y aplicaciones informáticas con mayor robustez y fiabilidad.

Por medio del método experimental ejecutado (y con soporte en los múltiples testimonios de profesionales y usuarios) y con un 95% de confiabilidad estadística, se concluye lo siguiente:

1. Las tecnologías asistenciales, tanto robóticas como de desarrollo de sistemas ciberfísicos son factores experimentales causales (estadísticamente provocan diferencia en la tendencia central) de una mayor efectividad terapéutica en dislalia con enfoque en habilidades de habla.
2. En un plazo de 10 semanas, el uso de la plataforma desarrollada puede mejorar la efectividad terapéutica en dislalia hasta un 11.3%. Además, existe una tendencia creciente en la efectividad del grupo que usó únicamente la aplicación para dispositivos móviles sin restricción de tiempo (del 59.83% al 69.06% para una mejora del 9.23%) y el grupo con tiempo restringido no mostró una tendencia creciente.
3. Cuanto más tiempo se use tanto la plataforma completa o únicamente la aplicación para dispositivos móviles, mayor es la mejora en las habilidades de habla esperada. La efectividad terapéutica es significativamente mayor si el tiempo de uso no está restringido por el número de sesiones semanales sino que el tiempo pueda ser flexible y en cualquier momento del día, llegándose a una mejora de 10.4% en 10 semanas.

4. Estas tecnologías no provocaron un cambio estadísticamente significativo durante las primeras 4 semanas de uso sino que es hasta la 5 semana que se pueden esperar cambios estadísticamente significativos.
5. En el caso de los grupos con el tiempo sin restricción el hallazgo es el uso de la aplicación por sí solo no representa un factor que cause mejora si el tiempo es restringido pero sí representa un factor que influye en la mejora terapéutica si el tiempo no se restringe y se tiene oportunidad de practicar más y con flexibilidad horaria.

Muchos testimonios de los participantes evidencian que la motivación de las personas contribuye con la perseverancia en el uso de la tecnología y es evidente que el trabajo con el robot puede ser muy estimulante para los usuarios.

Asimismo, después de realizar esta investigación, se encontró que una gran oportunidad en el futuro es mejorar y validar clínicamente el uso de esta plataforma con experiencia de realidad virtual y en combinación con un gemelo digital del robot físico para mejorar la experiencia de la vida real de los usuarios.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	III
Abstract	V
Resumen	IX
Índice	13
Acrónimos	15
Figuras	17
Tablas	21
Capítulo 1 Introducción	23
1.1 Antecedentes y motivaciones	23
1.2 Tema y problema de investigación	23
1.3 Objeto de estudio y objetivos de la investigación	24
1.4 Pertinencia y relevancia de la investigación	26
1.5 Estructura del documento	28
Capítulo 2 Estado de arte y marco teórico de referencia	31
2.1 La investigación en Robótica Asistencial para aplicaciones terapéuticas	31
2.2 Aspectos metodológicos y teleológicos en las investigaciones revisadas	37
2.3 Reflexiones finales sobre la revisión de estado de arte	41
2.4 Marco teórico de referencia	43
Capítulo 3 Método de Investigación y Estrategia metodológica	51
3.1 Enfoque epistemológico y ontológico de la investigación	51
3.2 Método de investigación	52
3.3 Parametrización del diseño experimental 2k factorial completo	56

3.4 Definición de la muestra de usuarios para el experimento	58
3.5 Estrategia metodológica	62
Capítulo 4 Herramientas tecnológicas de la investigación	65
4.1 Arquetipo robótico para el sistema ciberfísico (RAS/SLTP)	65
4.2 Diseño e implementación de la plataforma robótica	70
4.3 Ingeniería de Requerimientos de la aplicación para dispositivos móviles	80
Capítulo 5 Experimentación y Análisis de Resultados	89
5.1 Ejecución de experimentos para validar funcionalmente la plataforma tecnológica	89
5.2 Ejecución experimental del diseño factorial	100
5.3 Análisis de resultados	101
5.4 Evolución de la efectividad terapéutica	114
5.5 Las voces de las personas más allá de los experimentos	125
Capítulo 6 Conclusiones, recomendaciones y publicaciones generadas	129
6.1 Conclusiones y recomendaciones	136
6.2 Publicaciones generadas	140
Apéndice	141

Acrónimos

ANOVA:	Analysis of variance
API:	Application Program Interface
APK:	Android Application Package
ASLHA:	American Speech-Language-Hearing Association
CHR:	Collaborative Humanoid Robot
DRAE:	Diccionario Real Academia Española
EBSCO:	Elton B. Stephens Company
HRI:	Human Robot Interaction
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
JCR:	Journal Citation Reports
PAHO:	Panamerican Health Organization
RAS/SLTP:	Robotic Archetype based System/Speech Language Therapy Platform
TEA:	Trastornos del Espectro Autista
TIC:	Tecnologías de Información y Comunicación
SCOPUS:	Elsevier bibliographic database
V-REP:	Virtual Robot Experimentation Platform
WHO:	World Health Organization

Figuras

Figura 1.

Kaspar Robot (desarrollado por el Grupo de Investigación de Sistemas Adaptativos de la Universidad de Hertfordshire), Pleo Robot (desarrollado por UGOBE) y NAO (desarrollado por Softbank Robotics)

Figura 2.

Proceso sistemático para la asignación muestral del diseño experimental 2^k completo

Figura 3

Modelo de Plataforma Robótica para un asistente de terapia de habla y lenguaje

Figura 4.

Funcionalidades básicas de los componentes de la plataforma robótica.

Figura 5.

Ejemplo de visualización en pantalla de dispositivo móvil.

Figura 6.

Código básico utilizado para la función de reconocimiento de voz.

Figura 7.

Avatar Virtual en plataforma Blender.

Figura 8.

Desarrollo de esqueleto para Avatar de robot NAO.

Figura 9.

Módulo de Cinemática Inversa.

Figura 10.

Diagrama de casos de uso de la aplicación para usuarios para dispositivos móviles.

Figura 11.

Diagrama de casos de uso de la aplicación para terapeutas para dispositivos móviles.

Figura 12.

Primera validación de la plataforma con la interacción de una persona profesional certificada en terapia de lenguaje y habla.

Figura 13.

Segunda validación de la plataforma con la interacción de dos personas profesionales certificadas en terapia de lenguaje y habla y tres de sus pacientes.

Figura 14.

Ejecución de sesión de inducción y entrenamiento previo a la ejecución del experimento.

Figura 15.

Salida de software para gráfica de interacción para el Factor 2: Tecnología.

Figura 16.

Salida de software para gráfica de caja y bigotes para la efectividad de los grupos del factor 1 en las semanas 1-10.

Figura 17.

Salida de software para gráfica de caja y bigotes para la efectividad de los grupos para el factor 2 en las semanas 1-10.

Figura 18.

Gráfico de efectividad global para factor 1: semanas 1-10.

Figura 19.

Gráfico de efectividad de los grupos para el factor 2 en las semanas 1-10.

Figura 20.

Gráfico de efectividad de los grupos que utilizaron robot/app en las semanas 1-10.

Figura 21.

Gráfico de efectividad de los grupos que utilizaron únicamente la aplicación para dispositivos móviles en las semanas 1-10.

Figura 22.

Gráficos de interacción para las semanas 1-2.

Figura 23.

Gráficos de interacción para las semanas 3-4.

Figura 24.

Gráfico de efectividad global para factor 1: semanas 1-4.

Figura 25.

Gráfico de efectividad global para factor 2: semanas 1-4.

Figura 26.

Salida de software para gráfica de interacción para los dos factores del experimento: Semana 5.

Figura 27.

Efectividad de los dos pacientes del grupo de control para 10 semanas.

Figura 28.

Participantes y sus tutores en una actividad de cierre de proceso experimental. Reproducido con autorización, 2019.

Tablas

Tabla 1.

Orientaciones teleológicas en las investigaciones revisadas.

Tabla 2.

Diseño metodológico de las investigaciones.

Tabla 3.

Número de réplicas necesario para un coeficiente de variación dado y probabilidad (1- β) de obtener una diferencia significativa de % γ entre dos medias de tratamiento, con una prueba bilateral a un nivel de significancia α

Tabla 4.

Réplicas recomendadas en diseños 2^k

Tabla 5.

KANSEI ROBOTIC aplicado al Sistema basado en Arquetipo Robótico para terapia de habla y lenguaje.

Tabla 6.

Principales resultados de realimentación de la validación cualitativa.

Tabla 7.

ANOVA Two Ways: resultados para la semana # 1.

Tabla 8.

Descriptores de la efectividad global para los grupos Factor 1 en las 10 semanas.

Tabla 9.

Descriptores de la efectividad global para los grupos Factor 2 en las 10 semanas.

Tabla 10.

Salida de software para prueba Mann-Whitney Factor 1 en 10 semanas.

Tabla 11.

Salida de software para prueba Mann-Whitney Factor 2 en 10 semanas.

Tabla 12.

ANOVA Two Ways: resultados para semanas # 1,2,3,4.

Tabla 13.

ANOVA Two Ways: resultados para semanas # 1 a 10.

Tabla 14.

Resumen de hallazgos y conclusiones de la investigación.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes y motivaciones

Esta investigación doctoral ha identificado la oportunidad de desarrollar arquitecturas tecnológicas que permitan la profundización en la comprensión de la interacción humano-robot para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas en un enfoque social, en especial, en un plano de aplicaciones socioeducativas en el ámbito cotidiano familiar y para el incremento de la empleabilidad de personas que de forma típica sufren exclusión laboral.

Es evidente que existen diversas investigaciones en el campo terapéutico utilizando robots pero no es frecuente que la robótica y la simulación 3D o la emulación virtual se utilicen tecnológicamente como recursos integrados en un solo proceso terapéutico-didáctico (Raul, F., Ahyea, A, 2017) y sobre esta idea se puede investigar con mayor profundidad para contribuir al conocimiento sobre la robótica y la interacción humano-robot.

En el capítulo 2 de este documento, se evidencia objetivamente que la mayoría de la investigación se enfoca en estrategias terapéuticas con robots que interactúan con pacientes en momentos programados y con tiempos también limitados en lugares controlados de forma presencial (Cabibihan (J.J. et al, 2013; Yun S.S. et al, 2016). Esto permite identificar la oportunidad de desarrollar plataformas multi-canal que vinculen un mundo virtual con las funciones del robot físico y que sea de uso más genérico y flexible, de forma que de acuerdo con la estrategia que designe quien ejerce la profesión clínica, se facilite el reforzamiento de la mencionada estrategia con el uso de robot que pueda ser usado de forma remota y en diferentes momentos del día y días no laborales (por ejemplo, días en los que una empresa o escuela no abren sus puertas). A continuación se explica más ese abordaje de la investigación.

1.2 Tema y problema de investigación

El tema general de esta investigación es la robótica asistencial (*Assistive Robotics*), también llamada robótica social; específicamente el estudio de la interacción de la

relación humano-robot (Warren Z. E. et al, 2015).

El problema de investigación se define de la siguiente manera: ¿es posible mejorar la efectividad terapéutica y de esta forma la calidad de vida de las personas con dificultades para comunicarse verbalmente debido a singularidades relacionadas con el habla y lenguaje; por medio del desarrollo de estrategias socio-terapéuticas que utilicen robots físicos y virtuales con frecuencias de exposición flexibles en comparación con la exposición programada con tiempos previamente definidos?

El problema de investigación establece un reto de innovación respecto a la integración terapéutica de recursos en el mundo virtual así como en el mundo físico con robótica asistencial en colaboración con el ser humano (en este caso profesionales terapeutas) para cumplir un objetivo de crecimiento personal. Además, se pretende la posibilidad de romper la barrera del tiempo controlado de exposición terapéutica por medio de la tecnología. Y, por otro lado, metodológicamente buscar un abordaje científico que estudie la causalidad y no sólo asociación (correlación) por medios cualitativos; dado que se quiere saber si la efectividad terapéutica realmente puede incrementar como variable de respuesta.

Esta investigación profundiza en la caracterización de un arquetipo robótico "*Kansei*" que opere en una plataforma ciber-física que, en este caso, permita establecer evidencias acerca de cómo la tecnología humanoide y el uso de la virtualización pueden integrarse y articularse con estrategias socio-educativas, con fines terapéuticos, que permita mejorar la comunicación e interacción entre humanos.

1.3 Objeto de estudio y objetivos de la investigación

El objeto de estudio de esta investigación, es decir, aquello sobre lo que se pretende contribuir en conocimiento, es la interacción humano-robot de forma física y virtual, con fines terapéuticos para mejorar la comunicación verbal. Esta investigación, por lo tanto, se fundamenta en el diseño de un prototipo tecnológico de programación robótica con la integración de un robot físico humanoide y su emulación virtual que facilite la interacción social de personas que presentan dificultades de comunicación verbal relacionadas con el habla y lenguaje.

El objetivo general se plantea como sigue.

Aportar al conocimiento científico sobre la interacción humano-robot con fines terapéuticos de comunicación verbal en el idioma castellano comparando el uso de robots en el mundo físico y también en el virtual con flexibilidad de tiempos versus la interacción limitada a robots físicos por periodos de tiempo fijos para saber si es posible incrementar de forma relevante la efectividad terapéutica en términos de mejora de habilidades y tiempo invertido en terapia.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Por medio del método de revisión documental, identificar aplicaciones científicamente reportadas donde la robótica o la simulación (o emulación) virtual muestran impactos positivos en las habilidades sociales de personas con dificultades para establecer procesos de comunicación e interrelación con otros debido a factores relacionados con el lenguaje y el habla.
2. Explicar teóricamente la forma en que la tecnología robótica humanoide y el uso de la simulación (emulación) pueden integrarse para desarrollar estrategias terapéuticas socio-educativas que mejoren procesos de interrelación social de personas con dificultades para relacionarse con otras personas debido a factores relacionados con el lenguaje y el habla.
3. Diseñar e implementar un arquetipo robótico que describa la forma en que la robótica humanoide y el uso de emuladores robóticos virtuales pueden articularse con estrategias terapéuticas relacionadas con el lenguaje y el habla.
4. Validar experimentalmente un prototipo de programación robótica, con la integración de un robot físico humanoide y su emulación virtual, que asista en la función terapéutica para mejorar la interacción social de personas que presentan dificultades de comunicación verbal por factores asociados al lenguaje y el habla.

1.4 Pertinencia y relevancia de la investigación

Esta investigación se ha centrado en la acción terapéutica de habilidades relacionadas con el lenguaje y el habla de los seres humanos. El lenguaje puede entenderse como codificación, es decir, un sistema de comunicación fundamentado en palabras, símbolos escritos, hablados (fonéticos) o gestuales. Y el habla, por otro lado, refiere específicamente al sonido asociado al lenguaje hablado. (Raul, F., Ahyea, A., 2017).

Para establecer una visión general acerca del impacto que tiene en el campo de la salud la terapia de habla o lenguaje, se pueden tomar en cuenta las siguientes estadísticas:

1. Según la Organización Mundial de la Salud, al 2015, más de 60 millones de personas sufren un incidente relacionado con enfermedades cardiovasculares, de las cuales aproximadamente 1 de cada 3 casos son letales. Pero de los sobrevivientes a estos incidentes, un 37% sufren algún tipo de discapacidad relacionada con lenguaje o habla (PAHO, 2014).
2. Relacionado con terapia de habla, se estima que más de 15 millones de personas en el mundo tartamudean (PAHO, 2014). La terapia de habla por esta causa crece año con año debido a que esta condición se adquiere principalmente a edades tempranas.
3. La prevalencia de condiciones que requieren terapia de habla o lenguaje en la niñez en el mundo se mantiene entre 8% y 9%, lo cual condiciona el aprendizaje y el acceso a oportunidades a lo largo de la vida (WHO, 2011).
4. La Organización Mundial de la Salud reporta que según los estudios epidemiológicos de los últimos 50 años, la prevalencia mundial de los trastornos relacionados con el espectro autista (TEA) tiende al crecimiento constante. Se reporta que 1 de cada 160 niños tiene una condición TEA, siendo esta estadística una media dado que la prevalencia es variable entre los resultados reportados en los estudios (WHO,2011).

De acuerdo con estas estadísticas, es claro que la investigación en el campo de la terapia de habla y lenguaje tiene repercusiones de alto impacto en la calidad de vida de muchas personas en el mundo; por lo que cualquier esfuerzo en procura de elevar la efectividad, reducir los costos y extender el acceso equitativo a las terapias implica una

alta relevancia socio-económica.

Desde un punto de vista científico, el trabajo de investigación generalmente se centra en métodos cualitativos centrados en la experiencia humana en términos de innovación tecnológica. Según Diehl J., Schmitt L. M., Villano M, Crowell C.R. (2012), Begum M., Serna R.W., Yanco H.A. (2016) y Cho Seong-Jin y Ahn Dong Hyun (2016), el propósito de muchas de las investigaciones está orientado hacia el estudio de respuestas a robots o características similares a robots, provocando comportamientos, modelos, enseñanzas o practicar habilidades y proporcionar retroalimentación o estímulo, es decir, se orientan hacia el uso de un robot como proveedor de contingencias de comportamiento o apoyo social durante una actividad programada (Diehl J., 2014).

Esta investigación se abre la posibilidad de una categoría teleológica adicional: el propósito de estimular la relación humano-humano con el robot como instrumento de enlace (Costa S. et al, 2015; Costescu CA et al, 2015; Yun S.S. et al, 2016). En esta categoría teleológica, se trabaja con el uso de tecnologías de virtualización y una mayor aplicación de conceptos provenientes de la ciber-física para adaptarse a un objetivo colaborativo robótico específico.

Adicionalmente, es común encontrar investigaciones que se centran en el diseño experimental con una acción de robot en momentos programados y controlados físicamente cuando las personas están expuestas.

Sin embargo, la evidencia de avances validados en términos clínicos o siquiera cuasi-experimentales todavía es incipiente, por lo que parece ser una limitación real para el aumento de la calidad de vida de las personas que requieren terapias de habla y lenguaje.

1.5 Estructura del documento

Este documento sigue la siguiente estructura que se describe sinópticamente a continuación.

En primer lugar, en el capítulo 2, se presenta una revisión del estado del arte de la investigación de asistencia robótica con fines terapéuticos. De esta forma, se describen los enfoques de investigación, los métodos y las herramientas analíticas de 55 artículos compilados y revisados permitiendo una categorización del enfoque teleológico y metodológico para identificar tendencias en los intereses científicos. Posteriormente, se describen las perspectivas epistemológicas más frecuentes y una discusión sobre el progreso informado y, además, se presenta un marco teórico de referencia de la investigación profundizando en tópicos como fonoaudiología, terapia de habla y lenguaje y tipos de dislalia.

En el capítulo 3, se describe la forma en que esta investigación se ha desarrollado abordando tanto el método científico aplicado como la estrategia metodológica para su ejecución, la cual sigue la tradición post-positivista que se desarrolla en dos etapas: el diseño, desarrollo y validación funcional de la plataforma robótica y, posteriormente, el diseño y ejecución de un experimento factorial completo.

Seguidamente, en el capítulo 4, se desarrollan los elementos esenciales que, desde un punto de vista tecnológico, han permitido el diseño y construcción del sistema ciberfísico y específicamente la plataforma de asistencia robótica para terapia de habla y lenguaje. Primero se describen las herramientas de definición lógica para determinar arquetipo robótico y seguidamente las herramientas tecnológicas para la construcción de la plataforma desde un punto de vista de funcionalidades, modelado arquitectónico y solución de rutinas y programas tanto para ser ejecutadas por el robot físico como por dispositivos móviles.

En el capítulo 5 se aborda la ejecución de los experimentos, la sistematización de la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos y el análisis deductivo e inductivo de los hallazgos de cada una de las fases así como de forma holística. Se profundiza en la validación cualitativa y cuantitativa y finalmente, se rescatan las voces de las personas participantes y sus vivencias así como los hechos relevantes de sus experiencias.

En el capítulo 6 y final, se desarrollan las conclusiones y recomendaciones generadas en esta investigación. A partir de los datos recopilados y los hallazgos en cada fase de la investigación, se profundiza en las deducciones y relaciones inferenciales que no solo contribuyen a generar nuevo conocimiento sino que abren nuevos intereses de investigación y también nuevos espacios de reflexión y desarrollo tecnológico.

Capítulo 2

Estado de arte y marco teórico de referencia

Las siguientes sub-secciones presentan una revisión del estado del arte de la investigación de asistencia robótica con fines terapéuticos.

Se han recopilado artículos científicos publicados en revistas bien indexadas internacionalmente (EBSCO, SCOPUS, IEEE) y se ha enfocado el análisis en la investigación reportada sobre robótica asistencial para mejorar las habilidades de comunicación y relaciones sociales.

La robótica asistencial o también llamada robótica social busca, con frecuencia, el desarrollo de robots colaborativos (Shamsuddin S. et al 2012; Scassellati, B., & Tsui, K., 2016) y gran parte de esta investigación se enfoca en mejorar los resultados terapéuticos que apuntan a la calidad de vida de las personas con diferentes tipos de trastornos (Caldwell E. et al, 2017).

No obstante, los enfoques y los tipos de investigación aún se analizan clínicamente porque se evidencian muchos esfuerzos científicos en medios dedicados a la tecnología y la robótica en lugar de hacerlo en la práctica clínica.

Este capítulo se divide en cuatro secciones, comenzando con la descripción de los enfoques de investigación, los métodos y las herramientas analíticas.

En la segunda sección se describen las perspectivas metodológicas y teleológicas más frecuentes y una discusión sobre los avances informados. Posteriormente, la tercera sección presenta reflexiones, conclusiones y oportunidades de investigación futuras para luego finalizar el capítulo con un marco teórico de referencia.

2.1 La investigación en Robótica Asistencial para aplicaciones terapéuticas

En el mundo se desarrollan gran cantidad de proyectos de investigación científica en el campo de la interacción humano-robot como un instrumento metodológico de aprendizaje, de asistencia terapéutica o de acompañamiento para el bienestar tanto para personas que viven en condiciones particulares y singulares como para aquellos que no

las tienen, y los primeros resultados exploratorios que se han ido obteniendo son frecuentemente positivos (Calderita, L. V. et al, 2014; Warren Z. E. et al, 2015).

Es evidente, de acuerdo con las investigaciones revisadas, que crece la investigación y desarrollo tecnológico para proveer herramientas de apoyo (basadas en robótica y simulación) que faciliten el aprendizaje de personas con necesidades educativas o terapéuticas particulares. Trastornos del espectro autista, por ejemplo, causan dificultad con las interacciones sociales y la comunicación para las personas que presentan estas singularidades (McKinnon D., McLeod S. & Surt Ch., 2007; Scassellati B., Admoni H. y Mataric M., 2012). Otro ejemplo muy común es el que viven las personas con trastornos de habla y lenguaje ya sea por condiciones psico-somáticas como por factores como la edad o pérdida de habilidades por accidentes (Ibarra-L Villalobos J. et al, 2016).

Si bien algunas personas con particularidades y singularidades psicológicas y somáticas (personas ciegas, sordas o personas con dificultades para relacionarse por trastornos de habla y lenguaje) sobresalen en la escuela y hacen amigos con facilidad, otras luchan académicamente o en espacios laborales y pueden ser completamente segregados por sus singularidades a la hora de comunicarse y relacionarse con otros (Raul, F., Ahyea, A., 2017; Cadwell E. et al, 2017).

Cho Seong-Jin y Ahn Dong Hyun encontraron en su investigación del año 2016 que un gran porcentaje de la investigación en robótica social terapéutica en el mundo se enfocan en personas autistas y otros trastornos que afectan la comunicación y el relacionamiento. Definen que "el trastorno del espectro autista (TEA) es un trastorno del desarrollo neurológico caracterizado por déficits persistentes en la capacidad de comunicarse e interactuar socialmente en múltiples contextos, junto con patrones identificables de conductas restringidas y repetitivas, intereses y actividades. La causa fundamental del TEA es un deterioro neurobiológico que obstruye la función normal del cerebro y sus efectos no se encuentran en ningún área específica; más bien se manifiesta con diversos síntomas que abarcan toda la gama de desarrolloé " (Cho Seong-Jin y Ahn Dong Hyun, 2016).

Las personas con autismo tienen problemas para socializar y comunicarse como lo hacen las personas que no tienen este trastorno debido a la dificultad que tienen para entender el entorno que las rodea. Cruz y Salazar en 2015 establecen que en una gran

cantidad de investigaciones hasta el año 2014, se ha obtenido como resultado que las personas autistas manifiestan mejores habilidades de comunicación verbal y relaciones sociales con la ayuda de "robots terapeutas", sintiendo una cierta afinidad con este tipo de recurso tecnológico. (Cruz Ardila JC, Salazar YA, 2015).

También informaron en su investigación la utilización de tres robots dedicados y diferentes en donde el primero tenía la función de atravesar un laberinto que anima a infantes a reconocer su entorno y seguir al robot sin saltar ningún obstáculo. El segundo robot dispensó y clasificó bolas de diferentes colores con el objetivo de que la persona usuaria pueda repetir la misma clasificación que el robot hizo anteriormente. Y el último robot dibujó una figura geométrica en un cartón para que los pacientes puedan colocar las figuras geométricas correspondientes donde el robot las marcó, es decir, si el robot dibujó un círculo, se le da un círculo al paciente para que pueda colocarlo en el dibujo. Las actividades fueron diseñadas para que los participantes repitan lo que el robot realiza para evaluar las acciones de imitación del aprendizaje que facilitan la socialización en su entorno (Cruz Ardila J. C., Salazar Y. A., 2015).

Este estudio del año 2014 es un ejemplo típico de investigación que se realiza con robots de asistencia en terapias, ya que se observa una interacción cuasi-experimental en la que los comportamientos se registran en ejercicios controlados y se establecen evaluaciones cualitativas en compañía de terapeutas. Además, los espacios de interacción son cara a cara y por períodos cortos (Cabibihan JJ et al, 2013; Chaminade T. et al, 2012; Costescu CA et al, 2015; Huijnen CAG et al, 2016; Kim ES et al, 2013).

Sin embargo, otros trabajos reportan la búsqueda de más interactividad (Liu L. et al, 2014; Pulido J.C. et al, 2017). Por ejemplo, la investigación de Liu, L., Li, B., Chen, I.-M., Jui Goh, T., y Sung, M., publicada en 2014, en la que plantean la hipótesis de que las personas con dificultades de comunicación e interacción social tienen una necesidad intrínseca: el interés en la tecnología; por lo tanto, los robots pueden ser utilizados para desarrollar comportamientos pro-sociales. Utilizaron un robot de apariencia amigable para enseñar una habilidad que el paciente pueda aprender e imitar; y luego utilizarlas en interacciones con humanos. Las sesiones de interacción están orientadas a inducir habilidades sociales como saludos y juegos, brindando comodidad y empatía.

La terapia implementada proporciona un ambiente de aprendizaje menos invasivo y descubrieron que los robots pueden contribuir a cumplir los objetivos del terapeuta

para cursos de acción específicos para la auto-introspección y la auto-mejora; además de que la terapia con robots no genera dependencia del terapeuta y el robot despierta el interés y puede ser atractivo y gratificante en un entorno lúdico. Sin embargo, los resultados también fueron exploratorios y clínicamente no concluyentes (Liu L. et al, 2014).

Otro tipo de trabajo se enfoca en técnicas de recolección de datos para comprender los requisitos de aprendizaje automático para reconocer patrones de comportamiento que pueden ser más efectivos para generar bienestar en las interacciones sociales (Pierno A., Mari M., Lusher D., Castiello U., 2008; Robins B. & Dautenhahn K., 2014; Tapus A. et al, 2012). Esto se debe a que es bien conocido el grado de variabilidad que a veces se percibe en los estados mentales y las formas de expresar emociones día a día e incluso hora por hora (Srinivasan S., Lynch KA & Bubela DJ, 2013; Tapus, A. et al, 2007).

Calderita L.V. et al (2015) afirman que los robots pueden proporcionar una asistencia social integrada. En su investigación, la construcción de un robot se realiza como asistente de un terapeuta para sesiones de rehabilitación física. En este tipo de proceso, los recursos suelen ser limitados y la efectividad de la rehabilitación se correlaciona con la medida en que las personas se adhieren y avanzan en la terapia indicada (Pulido J.C. et al, 2017). Por lo tanto, si las sesiones de terapia pueden aumentarse, la evidencia muestra que la mejora en las competencias será en un tiempo más corto.

Esto es difícil para algunas personas porque el especialista no tiene tiempo ilimitado, por lo que se solicita la asistencia de un robot que se pueda programar para que el paciente pueda seguir las indicaciones sin la presencia del terapeuta (Pulido J.C. et al, 2017). Esto permitiría tener más sesiones de rehabilitación, reduciendo el tiempo de recuperación, mientras ahorra recursos al centro médico al no tener que aumentar su nómina (Calderita L. V. et al, 2014; Calderita L.V. et al. 2015; Diehl J. et al., 2014).

Además, se informa que la efectividad del tratamiento depende de la perseverancia del paciente y, por otro lado, la efectividad de la interacción humano-robot depende del grado de aceptación del paciente hacia el robot, que se correlaciona con su aspecto humano, es decir, si el asistente de robot tiene una forma amigable, es más factible que las personas lo acepten como tutor o asistente de terapia de seguimiento

(Calderita LV et al, 2015).

Este tipo de investigación también se ha encontrado en campos alternativos en los que se desarrolla la robótica social; por ejemplo, en el cuidado de ancianos, en la rehabilitación física y el cuidado de personas con discapacidades cognitivas (Pennington R. et al, 2014; Wolbring Gregor, 2016). Por ejemplo, Pulido J. C. et al (2017) presentan una aplicación de rehabilitación de miembros superiores sin contacto y con autonomía robótica y teleoperación para niños con discapacidad física (NAOTherapist) que ha sido evaluada con resultados positivos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la investigación sobre robótica social a menudo se ha centrado en personas dentro del espectro autista (Tapus A. et al, 2007) y por eso permanece una gran oportunidad para aplicarla en otros campos terapéuticos.

Otro aspecto relevante en este tipo de investigación es que el robot suele estar subordinado, es decir, debe ser capaz de adaptar su comportamiento a la personalidad y el perfil de la persona (con mayor relevancia en el caso de personas autistas) para que pueda ofrecer una terapia atractiva y motivadora. Diferentes estudios evidencian resultados positivos de las terapias con robots en personas que están menos dispuestas a trabajar con terapeutas humanos (Warren Z. E. et al, 2015).

Para lograr la adaptabilidad a los temperamentos y la experimentación con lenguaje facial y con movimientos suaves o no mecanizados, se utilizan diferentes tecnologías mediante robots avanzados, muchos de ellos humanoides (como se muestra en la Figura 1); tales como KASPAR (Wainer J. et al, 2014), FACE (Cho Seong-Jin y Ahn Dong Hyun, 2016) o NAO (Shamsuddin S. et al, 2012; Pulido J.C. et al, 2017). Pero también utilizan robots diseñados a partir de estructuras similares a animales como Keepon (Begum M., Serna R.W. y Yanco H.A., 2016) o Pleo (Cho Seong-Jin y Ahn Dong Hyun, 2016). En todos los casos, los métodos reportados son cuasi-experimentales y buscan evaluar las capacidades de comunicación o aprendizaje bajo condiciones controladas.



Figura 1. Kaspar Robot (desarrollado por el Grupo de Investigación de Sistemas Adaptativos de la Universidad de Hertfordshire), Pleo Robot (desarrollado por UGOBE) y NAO (desarrollado por Softbank Robotics). Cortesía de desarrolladores y Universidad de Costa Rica.

Un recurso de uso reciente es la tecnología de realidad virtual interconectada con robots (Sánchez Martin C., Lan Yu Ju y Lin Tsung-Ju, 2014). Según lo informado por García-Vergara S. et al (2014), la terapia utilizada en su investigación incorporó realidad virtual a los juegos y fue diseñada con el fin de proporcionar compromiso y motivación para mejorar la participación en diferentes situaciones de colaboración.

El sistema se caracterizó por la capacidad de individualizar el protocolo de rehabilitación a través de la adaptación de una configuración de juego y poder registrar las medidas y evaluar los resultados de la rehabilitación para proporcionar retroalimentación autónoma al terapeuta en tiempo real. La integración de la opción multi-jugador demostró el logro de una mayor motivación en la ejecución de los juegos. También se identificaron cambios positivos en la percepción y los sentimientos observados en los participantes que interactuaron con el robot, por lo que también hubo un aumento en la experiencia social (García-Vergara S. et al, 2014).

Sánchez Martin C., Lan Yu Ju y Lin Tsung-Ju (2014), sobre este tipo de investigación, presentaron en 2014 un metanálisis de 56 artículos y su punto de partida fue encontrar actividades exitosas para aprender idiomas y el propósito de actividades diseñadas.

La actividad más frecuente fue el juego de roles y el conocimiento cultural. Identificaron plataformas como "*Second Life*", "*World of Warcraft*" y "*Active Worlds*"; e reportaron que el mundo virtual se ha usado típicamente de dos maneras principales: primero, para establecer el vínculo con otras personas para aprender el idioma; y segundo, realizar la exploración cultural de manera crítica. En su estudio, el juego de roles se presenta como una actividad desarrollada para promover la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la colaboración significativa, el aprendizaje auténtico y la autonomía de los participantes.

2.2 Aspectos metodológicos y teleológicos en las investigaciones revisadas

Se compilaron y analizaron un total de 55 artículos en esta investigación y se realizó una categorización del enfoque teleológico y metodológico para identificar tendencias en los intereses científicos. Como se muestra en la Tabla 1 y la Tabla 2, nos centramos en los enfoques típicos de la orientación teleológica y el diseño metodológico de la investigación. En el caso de la orientación teleológica, basamos nuestro análisis en los resultados de Diehl J. et al (2012) debido a su validez y practicidad.

Nuestra atención se centró en la dimensión teleológica porque, en la epistemológica, es más evidente encontrar las orientaciones clásicas, a saber, el positivismo o el post-positivismo o, por otra parte, el interpretativismo vinculado a métodos basados en datos cualitativos. Además, las perspectivas ontológicas son diversas pero a menudo coherentes, ya sea el objetivismo o el subjetivismo que se ha utilizado.

La Tabla 1 muestra las orientaciones teleológicas encontradas. El mayor porcentaje de propuestas de investigación muestra el interés por explorar las respuestas humanas a robots o las características robóticas. Además, el propósito de enseñar o practicar habilidades y proporcionar comentarios o estímulos es muy frecuente.

Por otro lado, el propósito de buscar beneficios de la robótica como instrumento para mejorar la situación laboral de las personas con discapacidad parece ser pobre o de baja prioridad en los intereses científicos.

Tabla 1. Orientaciones teleológicas en las investigaciones revisadas

Abordaje	2005-2010 (%)	2011 to date (%)	Total (%)
Respuestas a robots o características del robot.	56.00	53.33	54.55
Comportamiento provocador	12.00	16.67	14.55
Modelado	4.00	6.67	5.45
Educación o practicar habilidades y proporcionar retroalimentación o estímulo	24.00	15.67	20.00
Estimular la relación humano-humano con el robot como instrumento de enlace.	4.00	6.67	5.45
Robótica como un instrumento para mejorar la situación laboral de las personas con discapacidad.	0.00	1.00	0.00
TOTAL	100	100	100

Los diseños de investigación típicos que encontramos se muestran en la Tabla 2. Algunas de las propuestas de investigación se basan en el diseño experimental, pero el estudio clínico de la causalidad en términos de beneficios de la robótica sigue siendo deficiente. Sin embargo, al mismo tiempo, la falta de estudios clínicos abre una gran oportunidad.

Por un lado, el aumento de opciones en la aplicación de robótica en espacios virtuales y con la interconexión en tiempo real con robots físicos rompe la barrera de la exposición robótica solo en períodos limitados. Por otro lado, los algoritmos de cognición artificial abren posibilidades de aprendizaje más personalizadas en la relación humano-robot. Todas estas posibilidades aumentan la probabilidad de éxito de una investigación clínica rigurosa.

Pero es evidente que un alto porcentaje de investigaciones son exploratorias y cuasi-experimentales y esto podría ser un efecto del nivel actual de las aplicaciones robóticas.

Tabla 2. Diseño metodológico de las investigaciones

DISEÑO	2005-2010 (%)	2011 to date (%)	Total (%)
Diseño exploratorio-experimental	4.00	6.67	5.45
Estudio clínico de causalidad - Diseño experimental.	0.00	0.00	0.00
Diseño exploratorio-cuasi-experimental	84.00	80.00	81.83
Diseño basado en encuesta	8.00	6.67	7.27
Análisis Hermenéutico	4.00	6.67	5.45
TOTAL	100	100	100

La investigación exploratoria es muy útil cuando se necesita una comprensión profunda del problema. Se encontró un alto porcentaje de investigación centrada en los robots y sus características en lugar de las personas y el impacto en los resultados clínicos de las terapias; y generalmente se reportaron la variabilidad en la reacción humana y la necesidad de capacidades de autonomía de aprendizaje automático.

Hasta ahora, nuestro análisis de literatura científica en el tema señala que la brecha principal son los resultados poco generalizables reportados en las investigaciones revisadas (Begum M., Serna RW, Yanco HA, 2016), porque en el diseño metodológico, la investigación aún está orientada hacia la exploración y los objetivos cuasi-experimentales.

La gran variabilidad en las condiciones en las que un robot puede interactuar en un contexto terapéutico hace que sea muy difícil realizar estudios clínicos concluyentes. En ninguna de las dimensiones teleológicas mencionadas anteriormente se han obtenido resultados clínicos que muestran evidencia de causalidad, pero solo correlación o mejora percibida. La comprensión teórica o el diagnóstico clínico todavía no están claramente influenciados por la robótica asistencial con aplicación terapéutica. (Begum M., Serna R.W., Yanco H.A., 2016; Diehl J. et al 2012).

El desafío de la robótica social aplicada con fines de asistencia sigue en busca de pruebas claras acerca de cómo mejoran los objetivos de los procesos terapéuticos

personalizados, de modo que el robot pueda adaptarse a las diversas necesidades de las personas y, además, el robot pueda aprender cursos de acción sobre patrones de frustración o temperamento que están asociados con decisiones de adaptabilidad (Costescu CA, Vanderborght B., David DO, 2015; Scassellati, B., y Tsui, K., 2016).

Los estudios basados en el meta-análisis muestran poco progreso en la verificación de que la robótica asistida tiene una influencia real en la efectividad de los procesos de diagnóstico, terapia y evaluación para el cumplimiento de los objetivos de rehabilitación o mejora de habilidades (Begum M., Serna RW, Yanco HA, 2016; Diehl J. et al, 2012; Wolbring G., 2016).

Por ejemplo, con respecto a la necesidad de abrir espacios para la empleabilidad, en términos prácticos, la posibilidad de que la investigación con robots asistentes utilizados con fines terapéuticos impacte positivamente en la probabilidad de que las personas puedan acceder a trabajos dignos en condiciones de igualdad todavía parece estar muy lejos (Wolbring Gregor., 2016).

Las razones son múltiples, pero la ineficacia encontrada en términos del hecho de que los robots realmente hacen una diferencia terapéutica para aumentar las habilidades de relaciones sociales y otras competencias altamente valoradas en contextos laborales parece ser decisiva.

Por ejemplo, Wolbring Gregor descubrió en 2016 que la investigación en Canadá no estaba fuertemente vinculada a propósitos de empleabilidad con resultados plausibles. Su conclusión se expresa de la siguiente manera:

"El estudio descubrió que los robots rara vez se mencionaban en relación con la situación laboral de las personas con discapacidad. Si se mencionaron, el enfoque se centró en los robots que mejoran la empleabilidad de las personas con discapacidad o que ayudan a las personas con discapacidad que trabajan con clientes discapacitados. No se pudo encontrar ningún artículo que tematizara el impacto negativo potencial de los robots en la situación de empleabilidad de las personas con discapacidad o la relación de las personas con discapacidad y los robots como compañeros de trabajo. El hallazgo del estudio es problemático debido a la situación de empleo ya negativa que enfrentan las personas con discapacidad" (Wolbring G., 2016).

Esto es similar a la conclusión principal de Begum M., Serna R.W. y Yanco H.A. en 2016, hablando sobre la investigación de la interacción entre robots humanos (HRI):

"La investigación robótica realizada durante la última década ha demostrado que muchos niños con trastornos del espectro autista (TEA) tienen un gran interés en los robots y los juguetes de robots y pueden conectarse con un robot significativamente mejor que con un humano" (Begum M. et al, 2016).

A pesar de mostrar una gran promesa, la investigación en esta dirección ha hecho un progreso mínimo en el avance de los robots como clínicamente útil para la intervención de TEA. Además, los clínicos generalmente no están convencidos del potencial de los robots. Una razón importante detrás de esto es que la gran mayoría de los estudios HRI en intervención mediada por robot (RMI) no siguen ningún diseño de investigación estándar y, en consecuencia, los datos producidos por estos estudios son mínimamente atractivos para la comunidad clínica (Begum M. et al, 2016).

Está claro que la investigación con métodos rigurosos destinados a obtener resultados clínicos basados en la evidencia es una gran oportunidad, especialmente si se establece un vínculo sólido para aumentar la empleabilidad de las personas autistas. En este sentido, el método exploratorio cuasi-experimental comúnmente utilizado debe evolucionar hacia propuestas más orientadas a la evidencia basada en resultados clínicos con estudio de causalidad.

Además, la mayoría de las propuestas se centran en un trabajo cara a cara de robots en interacción con personas autistas y las aplicaciones en mundos virtuales interconectados que permiten extender las interacciones robóticas sin la presencia del terapeuta no son frecuentes.

2.3 Reflexiones finales sobre la revisión de estado de arte

Con el avance tecnológico de los últimos años, es posible plantear la hipótesis de que el uso de tecnologías robóticas y de simulación virtual (2D y 3D), podría facilitar el desarrollo de ciertos patrones de comportamiento y también de comunicación en diferentes tonos de voz y esto, por ejemplo, puede impactar de forma muy positiva el proceso de aprendizaje y rehabilitación de muchas personas que presentan dificultades de habla, lenguaje y relacionamiento con otros.

Según Diehl J., 2012, Diehl J. et al (2014) y Cho Seong-Jin y Ahn Dong Hyun (2016), se encontró que el propósito de muchas de las investigaciones está orientado hacia el estudio de "respuestas a robots o a características específicas de robots,

provocando comportamientos, modelos, enseñanzas o para practicar habilidades y proporcionar retroalimentación o estímulo", es decir, el uso de un robot como proveedor de contingencias de comportamiento o apoyo social durante una actividad.

Sin embargo, en este análisis también encontramos una quinta categoría teleológica: el propósito de estimular la relación humano-humano con el robot como instrumento de enlace (Costa S. et al, 2015; Costescu CA, Vanderborght B. & David DO, 2015; Robins B. y Dautenhahn K., 2014; Yun S.S. et al 2016). En esta quinta categoría teleológica, existe el uso intensivo de tecnologías de virtualización y una mayor aplicación del aprendizaje automático para adaptarse a un objetivo lúdico específico.

También concluimos que es común encontrar investigaciones que se centren en el diseño experimental con una acción de robot en momentos programados, controlados físicamente cuando las personas están expuestas. Sin embargo, la evidencia de avances validados en términos clínicos todavía es incipiente, por lo que parece ser una limitación real para el aumento de la empleabilidad.

Además, es muy frecuente encontrar investigaciones en robótica social terapéutica que se delimitan en ámbitos del espectro autista lo que abre una gran oportunidad de impactar en otros sectores poblacionales también necesitados. En el futuro, la investigación con métodos rigurosos destinados a obtener resultados clínicos basados en la evidencia es una gran oportunidad, especialmente si se establece un vínculo sólido para aumentar la vida cotidiana y la empleabilidad. En este sentido, el método exploratorio cuasi-experimental comúnmente utilizado debe evolucionar hacia propuestas más orientadas a la evidencia basada en resultados clínicos con estudio de causalidad.

Otra gran oportunidad para la investigación en el futuro es el uso de la experiencia de realidad virtual en combinación con un avatar de un robot físico. Esta es una forma innovadora de buscar la exposición continua y en tiempo real a los protocolos de terapia sin supervisión física del terapeuta, pero virtual, teniendo en cuenta que los experimentos con aplicaciones robóticas en mundos virtuales interconectados con el "mundo físico" bajo un concepto ciber-físico no son frecuentemente considerados.

2.4 Marco teórico de referencia

En esta investigación doctoral, el enfoque estará en las terapias de habla que se ubican en las actividades intervención del lenguaje. Específicamente se pretende estudiar la efectividad en el uso de un robot humanoide articulado tecnológicamente con una aplicación informática para dispositivos móviles para apoyar el trabajo de la persona que realiza la estrategia terapéutica con el fin de fortalecer el habla y los mecanismos del lenguaje de personas adultas.

En esta sección se describen los principales conceptos y otros aspectos teóricos que dan un marco de referencia a esta investigación doctoral, especialmente para la base analítica que permite el análisis de los hallazgos y datos recopilados así como la generación de conclusiones.

En esta tesis doctoral, el campo esencial de aplicación de tecnologías robóticas y tecnologías de información y comunicación es la terapia del habla y del lenguaje, la que puede ser definida como cualquier intervención científicamente validada para lograr el desarrollo de habilidades o la rehabilitación para superar dificultades de nivel comprensivo o expresivo del lenguaje y el proceso de comunicación (Yin Shou-Chun et al, 2009).

Pero, en realidad, un buen inicio para hablar de terapias de habla y lenguaje es el concepto de "fonoaudiología", es decir, la ciencia que estudia la comunicación humana y sus desórdenes y típicamente engloba dos campos de acción, la logopedia o terapia de lenguaje y la audiología (McKinnon D. et al, 2007).

La fonoaudiología puede recibir diversos nombres alrededor del mundo. En España e Italia, se le conoce como "logopedia"; en Francia se le conoce como "ortofonía" mientras que en países de habla inglesa se usan los términos "terapia de lenguaje y habla" o "patología de lenguaje". En todos los países de Latinoamérica es donde más se habla de "fonoaudiología" como tal (ASLHA, 2018).

Las terapias de lenguaje y habla facilitan el mejoramiento de la comunicación de las personas a la hora de utilizar, articular y dar sentido al lenguaje. Adicionalmente, se orientan a la solución de problemas con la producción de sonidos, o bien, problemas de aprendizaje del lenguaje relacionados con las dificultades al utilizar las palabras para expresar ideas (Ibarra-L VJ et al, 2016).

Los trastornos del lenguaje pueden ser receptivos o expresivos. Los primeros se refieren a las dificultades al entender o procesar el lenguaje. Los trastornos expresivos incluyen dificultades para combinar palabras, vocabulario limitado o inhabilidad de usar el lenguaje en forma socialmente apropiada (Vaquero C., Saz O., Rodríguez W.R., 2008).

Diversas condiciones pueden llevar a las personas a la necesidad de algún tipo de terapia de habla o lenguaje tales como los problemas de audición, retrasos cognitivos (intelectuales, del raciocinio) u otros retrasos del desarrollo; o bien, debilidad en la musculatura oral, defectos de nacimiento tales como el labio leporino, espectro autista, problemas motores o respiratorios, trastornos al tragar o lesiones cerebrales traumáticas (ASLHA, 2018).

En el caso específico de adultos (lenguaje neurogénico) es frecuente encontrar necesidades relacionadas con afasias, apraxias de todo tipo y grado (del habla, oral, fonética, etc.), disartrias de todo tipo y grado, demencias, traumatismo encéfalo-craneano, deterioros cognitivos, y envejecimiento típico. Específicamente en el área de voz, las terapias se orientan hacia las disfonías, educación vocal y discapacidades relacionadas con procedimientos médicos tales como la laringectomización. Con relación con la deglución y habla, se encuentran las dislalias, disfagias, deglución atípica, la deglución adaptada y respiración bucal (Ibarra-L VJ et al, 2016).

Los síntomas relacionados con las terapias de lenguaje o habla frecuentemente incluyen (Smith C., Williams E. & Bryan Karen, 2017):

1. Tener dificultad para juntar las palabras en oraciones o sus oraciones pueden ser simples y cortas y el orden de las palabras puede estar errado.
2. Tener dificultad para encontrar las palabras correctas al hablar y con frecuencia usar muletillas como "esteeeh" ("Umm").
3. Tener un vocabulario limitado o en el caso de niños y niñas, vocabulario que está por debajo del nivel de otras personas de la misma edad.
4. Dejar palabras por fuera de las oraciones al hablar.
5. Usar ciertas frases una y otra vez, y repetir (eco) partes o todas las preguntas.
6. Emplear tiempos (pasado, presente, futuro) inadecuadamente.

La Asociación Americana del Habla, Lenguaje y Audición (*American Speech-Language-Hearing Association, ASHA*) clasifica los trastornos del habla como sigue (ASHA, 2018):

1. Los trastornos de articulación: dificultad para producir sonidos en las sílabas y al emitir palabras de forma incorrecta de modo que otras personas no pueden entender lo que la persona está diciendo.
2. Trastornos con la fluidez del habla: problemas que incluyen la tartamudez (una condición donde el habla se interrumpe debido a pausas anormales, repeticiones o sonidos prolongados y sílabas) entre otros.
3. Resonancia o trastornos de la voz: incluye problemas con el tono, el volumen o la calidad de la voz. Estos problemas o trastornos frecuentemente distraen a los oyentes de lo que se está diciendo y también pueden causar dolor a las personas (especialmente a los niños) o hacerles sentir incómodos cuando están hablando.
4. Disfagia oral/trastornos de la alimentación: incluye a las dificultades al comer o al tragar.

Para finalizar esta sección, es crítico mencionar que las estrategias que de forma frecuente se utilizan para facilitar el desarrollo de habilidades de las personas con respecto a los problemas o trastornos de habla y lenguaje incluyen (Flagge M. N., 2013):

1. Actividades de intervención del lenguaje: en estos ejercicios se interactúa con la persona hablando o jugando (frecuentemente en el caso de niños). Se utilizan materiales de apoyo como fotos, libros, objetos o eventos actuales para estimular el desarrollo del lenguaje. Las personas profesionales especializadas en estas terapias típicamente pronuncian correctamente las palabras como ejemplo y utilizan ejercicios de repetición para fortalecer el habla y los mecanismos del lenguaje.
2. Terapias de la articulación: en este caso los ejercicios incluyen siempre el entrenamiento acerca de la pronunciación correcta de sonidos y sílabas por parte de quien realiza la terapia y generalmente durante actividades de juego, demostrando físicamente a la persona cómo emitir ciertos

sonidos particulares, tales como el sonido de la "r" y cómo mover la lengua para producir ciertos sonidos.

3. Terapia oral y motora de la alimentación: en estos casos, se recurre a una variedad de ejercicios, incluyendo el masaje facial, y movimientos para ejercitar la lengua, labios y mandíbula que fortalecen los músculos de la boca. Se trabaja también con diferentes texturas y temperaturas de alimentos para incrementar la atención oral de las personas (particularmente niños) mientras comen o tragan.

En los últimos 20 años, las aplicaciones de las tecnologías de la información y comunicación, así como la robótica, han crecido buscando el logro de objetivos terapéuticos en el campo de las habilidades del habla y el lenguaje haciendo uso de las estrategias anteriores. Al principio, los esfuerzos de los desarrolladores de tecnología de soporte se centraron en el diseño de aplicaciones informáticas para sistemas dedicados y luego proliferaron las opciones basadas en la computación en la nube y los entornos web.

Algunos de estos desarrollos de software son (Edwards, J. and Dukhovny, E., 2017):

1. ArtikPix¹: es una aplicación con fines educativos que incorpora actividades recreativas para niños con retrasos en el sonido del habla. ArtikPix utiliza juegos de puntuación grupales para recopilar puntajes de cartas para hasta 4 niños a la vez y recopila información para los terapeutas mientras practica sonidos de palabras y oraciones. Según sus desarrolladores, permite la grabación de video y el subrayado de las palabras objetivo a nivel de oración. No incorpora ninguna aplicación robótica.
2. Terapia constante²: facilita la ejecución de ejercicios continuos personalizados para pacientes con lesiones cerebrales traumáticas, derrames cerebrales, afasia y discapacidades de aprendizaje. Estos ejercicios se basan en investigaciones sobre plasticidad cerebral de la Universidad de Boston y tienen una biblioteca cada vez mayor de más de 75 categorías de tareas para usar en clínicas y en el hogar. No incorpora ninguna aplicación robótica.

¹Información adicional en: <http://expressive-solutions.com/artikpix/>

² Información adicional en: <https://constanttherapy.com/>

3. Pictello³: esta aplicación permite crear álbumes de fotos y libros que hablan. En una historia, se combinan imágenes, texto, sonido grabado o texto a voz y otros usuarios pueden compartir historias. Esta aplicación ha sido desarrollada para todas las edades y niveles de habilidad y no requiere habilidades de lectura para localizar y leer historias. No utiliza ninguna aplicación robótica.
4. Proloquo2Go⁴: ha sido diseñado para proporcionar comunicación aumentativa y alternativa (AAC) para dispositivos iPad, iPhone y iPod touch que proporciona una "voz" para personas con dificultades de habla o quien no puede hablar en absoluto. Está dirigido a personas que necesitan soporte de símbolos para comunicarse. No utiliza ninguna aplicación robótica.
5. Quizlet⁵: ha sido diseñado para facilitar el estudio a través de métodos e instrumentos para practicar y desarrollar habilidades sobre cualquier tema de aprendizaje. Cree tarjetas personalizadas o comparta las realizadas por otros usuarios. Utiliza juegos con tarjetas para acelerar el dominio del contenido y se usa para practicar fonemas y palabras en 18 idiomas. No utiliza ninguna aplicación robótica.
6. Creador de oraciones⁶: ha sido diseñado para ayudar a los niños a aprender sobre la estructura de las oraciones, la puntuación y la gramática a través de imágenes y ejercicios para reorganizar y formar oraciones. La aplicación funciona con varios niveles y tiene una progresión dentro de ellos, comenzando con oraciones simples antes de pasar a oraciones más complicadas con palabras innecesarias para desafiar a los usuarios. No utiliza ninguna aplicación robótica.
7. Serie de aplicaciones Small Talk⁷: es un desarrollo de varias aplicaciones articuladas que incluyen varios usos, como los hablados con símbolos básicos, que deben dominarse después de un accidente cerebrovascular y que facilitan la vida cotidiana con respecto a la salud, emergencias, comidas

³ Información adicional en: <http://www.assistiveware.com/product/pictello>

⁴ Información adicional en: <http://www.assistiveware.com/product/proloquo2go>

⁵ Información adicional en: <https://quizlet.com/mobile>

⁶ Información adicional en:
<http://mobile-educationstore.com/apps/sentence-structure-apps/>

⁷ Información adicional en:
<https://www.aphasia.com/products/communication-practice-apps/>

o respuestas. También contiene videos de ejercicios del habla para frases básicas y ejercicios para practicar sonidos del habla con la ayuda de grabaciones de voz. No utiliza ninguna aplicación robótica.

8. Serie de aplicaciones Smarty Ears⁸: es un grupo de aplicaciones orientadas a la terapia del habla para dispositivos móviles. Proporcionan desde el modelado de consonantes y vocales, objetivos de palabras por estructura de sílabas (CV, VC y CVC), personalización de objetivos y monitoreo del progreso con videos, pictogramas y grabaciones. También le permite construir historias y construir oraciones a partir de palabras con fonemas específicos. No utiliza aplicaciones robóticas.
9. Speech Tutor⁹: ha sido diseñado para hacer que la cara sea visualmente transparente a medida que se hacen los sonidos. Utilice una animación que se pueda ver a tres velocidades y que se pueda pausar, lo que ayuda a los usuarios a ver dónde han tenido éxito y dónde es necesaria una práctica adicional de terapia del habla. Tiene la capacidad de grabar y practicar, diseñado para hablar con padres en casa y terapeutas. No utiliza aplicaciones robóticas.
10. Serie de aplicaciones Speech with Milo¹⁰: se desarrolló como una herramienta de terapia del habla versátil y entretenida para niños. Milo es un ratón y tiene otros personajes amigables como Melvin y Maggie que mantienen a los niños interesados en mejorar las habilidades de comunicación y narrativa. Permite la opción de leer y escuchar palabras mientras juega con sonidos e imágenes. No utiliza ninguna aplicación robótica.
11. Speech4Good¹¹: Speech4Good ha sido diseñado para desarrollar ejercicios para personas con trastornos del habla, permitiendo el monitoreo y las prácticas de grabación, así como la grabación de datos para los logopedas basados en métodos destinados a tratar la tartamudez, la fluidez, la articulación, afasia, autismo y otros trastornos. Use tableros visuales y gráficos de voz (osciloscopio) en tiempo real. No utiliza ninguna aplicación

⁸ Información adicional en : <http://smartyearsapps.com/apps/>

⁹ Información adicional en: <http://www.pocketslp.com/#speechtutor>

¹⁰ Información adicional en: <http://www.speechwithmilo.com/>

¹¹ Información adicional en: <http://speech4good.com/>

de inteligencia robótica o artificial.

12. COMUNICA¹²: se ha desarrollado para crear un conjunto de aplicaciones para la terapia del habla y el lenguaje orientadas a ayudar a los terapeutas en España y América Latina y centradas en el español idioma. Se ha construido en tres módulos llamados PreLingua, Vocaliza y Cuentame. El primero trabaja la etapa previa al lenguaje e incluye detección de actividad de voz, control de intensidad, respiración y entonación, y vocalización; luego el módulo "Vocaliza", trabaja en los niveles fonológicos, semánticos y sintácticos del lenguaje, y finalmente "Cuentame" trabaja en el nivel pragmático del lenguaje. Estas aplicaciones buscan la automatización de muchas de las actividades que los usuarios realizan todos los días. COMUNICA no utiliza ninguna aplicación robótica.

Todas estas aplicaciones están orientadas a diferentes necesidades terapéuticas, pero pueden clasificarse en 5 categorías de desarrollo: software de soporte de instrucción, software de instrucción explícita, herramientas para aprender mediante exploración / simulación, juegos y herramientas de autoría. Muchas de ellas presentan una mezcla de estas categorías y a pesar de la gran cantidad de soluciones informáticas, existen pocos estudios clínicos que confirmen la efectividad de las herramientas. Sin embargo, diversos testimonios de terapeutas y pacientes señalan grandes beneficios.

¹² Información adicional en: http://www.arasaac.org/software.php?id_software=6

Capítulo 3

Método de Investigación y Estrategia metodológica

En este capítulo se describe la forma en que esta investigación se ha desarrollado abordando tanto el método científico aplicado como la estrategia metodológica para su ejecución. Cabe destacar que el método corresponde a la tradición positivista y post-positivista y nos referimos a la estrategia metodológica como proceso lógico de ejecución del método.

La primera sección aborda la científicidad del proceso investigativo desde un punto de vista epistemológico y ontológico y las siguientes tres secciones desarrollan en detalle el método científico aplicado que se fundamenta en dos etapas: el diseño, desarrollo y validación funcional de la plataforma robótica y, posteriormente, el diseño y ejecución de un experimento factorial completo.

Finalmente, en la última sección, se describe la estrategia metodológica o proceso dividido en actividades que fue ejecutado.

3.1 Enfoque epistemológico y ontológico de la investigación

La epistemología más frecuente de la investigación científica en el campo de la robótica asistencial terapéutica y educativa en el mundo, según lo encontrado en el estudio de estado del arte, es la que está ligada a la tradición cualitativa, es decir, el subjetivismo y los abordajes analíticos interpretativistas basados en métodos tales como el estudio de casos, la teoría fundamentada o el estudio fenomenológico (Creswell J.A. & Creswell J.D., 2018).

Desde un punto de vista ontológico, estas investigaciones contextualizan al investigador como un observador participante o bien como un nativo en el entorno social que interactúa, permea e influencia a las personas participantes o sujetos de investigación y, por lo tanto, también cambia conforme es influenciado como un "sistema abierto y social" por la misma interacción con el entorno.

El abordaje epistemológico de esta investigación es primero "subjetivista" dado que el desarrollo tecnológico de la plataforma robótica ha sido validada inicialmente de forma cualitativa con pacientes reales y terapeutas profesionales certificados que permitirán una evaluación funcional y la definición de aspectos psico-emocionales que deben tomarse en cuenta para un mejor aprovechamiento por parte de los usuarios.

Posteriormente, en una segunda etapa, la epistemología de esta investigación es esencialmente post-positivista y la perspectiva ontológica está ligada a la tradición objetivista, por lo que el investigador procura en todo momento mantener una postura de observación no participante de frente al objeto de estudio.

El abordaje analítico principal está situado en el diseño de experimentos, basado en evidencias y datos recopilados con pacientes y terapeutas de habla y lenguaje reales, así como en instrumentos inferenciales estadísticos que brinden validez experimental y ecológica (Creswell J.A. & Creswell J.D., 2018).

3.2 Método de investigación

El método de la investigación corresponde con una epistemología positivista con una primera parte en donde se desarrolló una plataforma robótica ciber-física que ha sido validada de forma funcional por pacientes reales y terapeutas reales ubicados en el Centro de Educación Especial de Heredia, en la provincia de Heredia, Costa Rica, Centro América.

Luego de esta validación, se realizaron ajustes para poder iniciar la validación cuantitativa como segunda etapa, cuyo método es experimental utilizando un "diseño multi-factorial con interacción", en este caso con dos factores y dos niveles o tratamientos (también conocido como diseño 2^k completo o ANOVA Two Ways).

Los experimentos de este tipo pueden ser unifactoriales o multi-factoriales (bifactoriales o más de dos factores) y en investigación con personas, suelen mencionarse los diseños "intrasujetos" en donde participan los mismos sujetos en todas las condiciones de las variables; o bien, los diseños "intersujetos" en donde los sujetos son distintos. Asimismo, pueden definirse diseños mixtos con procedimientos intra e intersujetos.

Estos experimentos también pueden clasificarse de acuerdo con:

1. Las inferencias estadísticas: conocidas como "efectos fijos" (únicamente supeditadas a los niveles o tratamientos seleccionados por quien investiga), "efectos aleatorios" (inferencias sobre niveles seleccionados aleatoriamente dentro de la población o también sobre la población total) y "efectos mixtos".
2. Las unidades de estudio: totalmente aleatorizados, aleatorizados por bloques, no aleatorizados, mixtos, fraccionales y confundidos. Se refieren a diseños con aleatorización total, por bloques, diseños cuadrado-latinos y diseños greco-latinos.

El diseño 2^k responde a una tradición científica en donde es bien conocida su utilización con diferentes variantes en investigación positivista en campos tales como la biología, química, agronomía e ingeniería (Gutiérrez Pulido H. & De La Vara Salazar R., 2017). Asimismo, estos diseños experimentales son muy conocidos y utilizados en Ciencias Sociales y en investigación clínica con seres humanos, especialmente desde la publicación de Harley & Harley. en los años 60 (Harley W. & Harley W. Sr., 1968).

Los diseños factoriales son poco comunes en la literatura sobre investigaciones en terapia de habla o terapia de lenguaje con aplicaciones robóticas, lo cual supone una contribución e innovación para futuros trabajos científicos (Montgomery, A.A., J., P.T., Paul, L., 2003). No obstante, son diseños efectivos y muy aceptados a la hora de realizar estudios comparativos y estudios exploratorios en el campo de la terapia de habla y de lenguaje, cuando los requerimientos que exige pueden ser cumplidos (Medina Varela P. & López Reyes A., 2011; Collins L.M., Dziak J.J., Li R., 2009; Jackson M. & Cox D. R., 2013; Kirk R. E., 2014; Glogowska M., 2011; Sedgwick P., 2012).

Como todos los métodos de investigación científica, sin importar la epistemología que lo soporte, el método experimental y particularmente el diseño factorial completo posee ventajas y desventajas que han sido bien documentadas en diversas investigaciones en terapia de habla y de lenguaje (Lewison G.& Carding P.,2003; Saltuklaroglu T. et al,2009; Skeat J. and Perry A., 2008; Smith C., et al, 2017).

Los diseños multifactoriales son los más utilizados debido a que tienen la ventaja de que permiten estudiar fenómenos más complejos e interactivos como los

que frecuentemente involucran al ser humano. Es por esta razón que suelen ser seleccionados para estudios que involucran el comportamiento humano y en especial cuando se desea evaluar los efectos de los factores de forma simultánea.

De acuerdo a lo que reportan Medina Varela P. & López Reyes A., 2011, el diseño factorial "permite valorar el efecto de interacción (el efecto combinado de ambas variables), es decir, permite saber el efecto principal de A, el de B y el efecto combinado de ambos". Otra ventaja reportada es que son diseños experimentales que permiten un mayor aprovechamiento de recursos (Williams E. and Bryan Karen, 2017).

Además, el diseño factorial es ventajoso porque cuenta con validez experimental de acuerdo con las siguientes definiciones (Medina Varela P. & López Reyes A., 2011):

1. **Validez interna:** "es el grado en que los cambios observados se pueden atribuir a la manipulación experimental. Estudia hasta qué punto una causa puede ser atribuida a un efecto. Sin embargo, hay que resaltar que cuantas más variables entran en un diseño se va restando validez interna".
2. **Validez externa:** "es el grado en que los resultados de un estudio pueden ser generalizados a muestras o condiciones espacio-temporales diferentes. Por ejemplo: "A" causa "B", pero seguiría causando "B" con otros sujetos o contexto (validez ecológica) u otros momentos".
3. **Validez ecológica:** "es la que se puede aplicar en distintos contextos".

Para efectos de esta investigación, la validez ecológica queda fuera de los límites de espacio y tiempo experimentales del método, por lo que sería en trabajos futuros que podría replicarse el método seguido tantas veces sea necesario para obtener validez ecológica.

Dentro de las desventajas reportadas está la necesidad de seleccionar un mayor número de sujetos que en ocasiones resta factibilidad al proyecto de investigación. Además, cuando se estudia interacción entre variables, cuanto más variables se consideren y la interacción es significativa, más compleja es la interpretación. Por otro lado, estos experimentos pueden tardar más tiempo y son menos eficientes cuanto mayor es el número de participantes (Williams E. and Bryan Karen, 2017).

De acuerdo con Douglas Montgomery (2002), el diseño 2^k completo y totalmente aleatorizado:

"é es de particular utilidad en las etapas iniciales del trabajo experimental, cuando probablemente se llegue a investigar el efecto de muchos factores. Este diseño proporciona el menor número de corridas con las que pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo. Por consiguiente, estos diseños se usan ampliamente en los experimentos de tamizado o selección de factores. Puesto que sólo hay dos niveles para cada factor, se supone que la respuesta es aproximadamente lineal en el rango elegido para los niveles de los factores. En muchos experimentos de tamizado de factores, cuando se acaba de iniciar el estudio del proceso o sistema, este supuesto suele ser razonable..." (Montgomery D., 2002).

Montgomery D. (2002) también explica que en un diseño factorial con dos niveles, los niveles de los factores se llaman por convención "bajo" y "alto"; adicionalmente también por convención, los efectos se denotan con las letras mayúsculas A, B y AB. Además se usa **3** para denotar que dos factores estén en el nivel bajo y, por otro lado, "**3**, **Ũ**, **6** y **Ũ6**" representan el total de las " n " réplicas hechas con la combinación de los tratamientos.

El efecto promedio de un factor puede calcularse por medio del cambio en la variable de respuesta producido por un cambio en el nivel de ese factor promediado para los niveles del otro factor. El efecto A en el nivel bajo de B es $[\bar{Ũ} - \bar{3}]/n$ y el efecto de A con el nivel alto de B es $[\bar{Ũ6} - \bar{6}]/n$.

Al promediarse estas dos cantidades se obtiene el efecto principal de A: El efecto principal promedio de B se encuentra a partir del efecto de B con el nivel bajo de A y el efecto de la interacción AB se define como la diferencia promedio entre el efecto de A con el nivel alto de B y el efecto de A con el nivel bajo de B.

Las combinaciones para este diseño factorial quedan establecidas y se identifican como sigue, convirtiéndose en las respuestas para n réplicas:

(0,0) : 3

(1,0) : Ũ

(0,1) : 6

(1,1) : Ũ6

Por lo tanto, los efectos medios de A y B son:

$$A = \frac{1}{2n}(\alpha\beta + \alpha - \beta - v)$$

$$B = \frac{1}{2n}(\alpha\beta + \beta - \alpha - v)$$

Adicionalmente, el efecto medio AB (diferencia media entre el efecto de A al nivel 1 de B y el efecto de A al nivel 2 de B) se calcula como sigue:

$$AB = \frac{1}{2n}(\alpha\beta + v - \alpha - \beta)$$

donde, "3, Ũ, 6 y Ũ6" representan el total de las **n** réplicas hechas con la combinación de los tratamientos.

3.3 Parametrización del diseño experimental 2k factorial completo

Específicamente para esta tesis doctoral, los factores y niveles son los siguientes:

Factor 1 (A): Tecnología

Nivel 1: Robot humanoide colaborativo (CHR) y su avatar virtual por medio de una aplicación para dispositivos móviles (0)

Nivel 2: Avatar virtual del Robot humanoide colaborativo por medio de una aplicación para dispositivos móviles. (1)

Factor 2 (B): Tiempo de exposición a la terapia por omisión

Nivel 1: Tiempo fijo de 15 minutos para la sesión; 2 sesiones semanales en horario previamente establecido (0)

Nivel 2. Tiempo fijo de 15 minutos para la sesión con terapeuta y dos o más sesiones por semana en el horario que desee el usuario. (1)

En este caso, las combinaciones para el diseño experimental se describen como sigue:

(0,0): Grupo que utiliza el Robot Humanoide Colaborativo (CHR) y su avatar virtual con tiempo fijo de 15 minutos para la sesión y 1 sesión semanal con el dispositivo móvil en horario previamente establecido. Una de las sesiones (utilizando el robot físico) siempre será presencial con la supervisión de la persona profesional en terapia de habla y lenguaje.

(1,0): Grupo que utiliza el avatar virtual del Robot Humanoide Colaborativo (CHR) con tiempo fijo de 15 minutos para la sesión y una sesión semanal en horario previamente establecido. Las sesiones serán supervisadas por la persona profesional en terapia de habla y lenguaje.

(0,1): Grupo que utiliza el Robot Humanoide Colaborativo (CHR) y su avatar virtual con tiempo fijo de 15 minutos para la sesión presencial y dos o más sesiones por semana en el horario que el usuario determine. Una de las sesiones (con el uso del robot físico) siempre será presencial con la supervisión de la persona profesional en terapia de habla y lenguaje.

(1,1): Grupo que utiliza avatar virtual del Robot Humanoide Colaborativo (CHR) con tiempo fijo de 15 minutos para la sesión presencial y dos o más sesiones por semana en el horario que el usuario determine. Las sesiones serán supervisadas por la persona profesional en terapia de habla y lenguaje.

La variable de respuesta ($\bar{L}_p$) es la efectividad del habla en periodos semanales a partir de un nivel inicial previamente establecido por un especialista certificado en terapia de habla y de acuerdo con un estándar internacional aceptado. Esta efectividad se calcula como el número total de palabras pronunciadas correctamente en períodos semanales dividido por el número total de palabras revisadas por el usuario. Además, se va a analizar la proporción de palabras pronunciadas correctamente por minuto de terapia (J_t).

Además, otros datos estadísticos se recopilarán para el análisis clínico, tales como las palabras que se pronunciaron incorrectamente y su frecuencia de fallo por período de tiempo (semana, día, minuto). Por otro lado, indicadores como el número de sesiones, el lapso de tiempo de la terapia activa por sesión, el lapso de tiempo total de la terapia activa por período de tiempo (día, semana, mes, etc.), el número de palabras diferentes utilizadas y número de sesiones por período (día, semana, mes) también serán recopilados y analizados.

3.4 Número de réplicas: definición de la muestra de usuarios para el experimento

Con respecto al número de réplicas del experimento, es típico que se defina con base en la prueba de las diferencias entre las medias de tratamiento y el estadístico Fisher (F_0).

El número de réplicas necesario está influenciado primordialmente por cuatro variables que se requieren para los cálculos (Kuehl R. O., 2001) y que se presentan a continuación:

1. La varianza (σ^2)
2. El tamaño de la diferencia (que tiene significado físico) entre las dos medias.
3. El nivel de significancia de la prueba o la probabilidad del error tipo I.
4. La potencia de la prueba o la probabilidad de detectar la diferencia entre medias (1-probabilidad del error tipo II).

De acuerdo con estos parámetros de cálculo, se reporta que el número de réplicas se estima como sigue:

$$r \geq 2 [Z_{\alpha/2} + Z_\beta]^2 (\sigma/\delta)^2$$

donde,

r : número de réplicas

δ : el tamaño de la diferencia (que tiene un significado físico) entre las dos medias

σ : desviación poblacional

α : nivel de significancia estadística o probabilidad error tipo I

β : probabilidad error tipo II

$Z_{\alpha/2}$: estadístico para una distribución normal estándar a un nivel de significancia α

Z_β : estadístico para una distribución normal estándar a un nivel de probabilidad β

Es posible estimar el número de réplicas si se conoce el coeficiente de variación (%CV) por medio de la división de la desviación poblacional (σ) entre la media poblacional multiplicado todo por 100. El %CV entonces se sustituye por σ en la ecuación anterior (Kuehl R. O., 2001).

El número de réplicas necesario generalmente aumenta si (Kuehl R. O., 2001):

1. la varianza, %CV, o σ^2 aumenta
2. el tamaño de la diferencia entre dos medias, $\mu_1 - \mu_2$, disminuye
3. el nivel de significancia de la prueba, α , disminuye
4. la potencia de la prueba, $1 - \beta$, aumenta

En la Tabla 3 se muestra el número de réplicas estimado de acuerdo con los criterios y parámetros anteriores (Kuehl R. O., 2001).

Como se puede observar con un número de réplicas entre 8 y 16 se obtienen inferencias muy significativas (95%) con diferencias porcentuales entre medias de 10% y 20% y cubriendo excelentes valores de probabilidad ($1 - \beta$) para coeficientes de variación de 5% y 10% (considerando parámetros en diseños experimentales con seres humanos).

Tabla 3. Número de réplicas necesario para un coeficiente de variación dado y probabilidad ($1-\beta$) de obtener una diferencia significativa de % δ entre dos medias de tratamiento, con una prueba bilateral a un nivel de significancia α

		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
		% δ		% δ	
%CV	$1-\beta$	10	20	10	20
5	0.80	4	1	6	2
	0.95	7	2	9	3
10	0.80	16	4	24	6
	0.95	26	7	36	9

Fuente: Kuehl R. O., 2001.

Aunque existen aplicaciones informáticas que permiten calcular el número de réplicas de forma más ágil, la posible complejidad de establecer los parámetros es siempre un aspecto a considerar. Por lo tanto, el recurrir a tablas normalizadas de recomendación de número de réplicas para diferentes tipos de diseño de experimento es siempre un recurso muy útil.

En esta investigación doctoral se sigue la recomendación técnica para establecer el número de réplicas que se presenta en la Tabla 4 la cual es de uso común debido a que está construida con base en la Tabla 3 (Kuehl R. O., 2001) y el estudio estadístico de confiabilidad y validez interna de múltiples experimentos de diseño 2^k reportados en la literatura sobre diseño factoriales de experimentos (Gutiérrez Pulido H. & De la Vara Salazar R., 2017; Montgomery, A.A., J., P.T., Paul, L, 2003).

En esta tesis doctoral, tratándose de un diseño 2^2 factorial completo y totalmente aleatorizado, se trabajará con 3 usuarios (réplicas) lo que significa trabajar con 16 corridas para este experimento. Este número de corridas es el máximo de corridas recomendadas para diseños 2^2 según se presenta en la recomendación técnica presentada en la Tabla 4 para este tipo de experimento multifactorial dando a la propuesta robustez y un excelente nivel de significancia estadística para este tipo de diseños.

Tabla 4. Réplicas recomendadas en diseños 2^k

Diseño	Réplicas recomendadas	Número de corridas
2^2	3 o 4	12,16
2^3	2	16
2^4	1 o 2	16,32
2^5	Fracción 2^{5-1} o 1	16,32
2^6	Fracción 2^{6-2} o fracción 2^{6-1}	16,32
2^7	Fracción 2^{7-3} o fracción 2^{7-2}	16,32

Fuente: Gutiérrez Pulido H. & De la Vara Salazar R., 2017

La muestra de 16 usuarios proviene de diferentes terapeutas, hombres y mujeres aleatoriamente seleccionados. Estas personas tienen edades que van desde los 10 años hasta los 21 años y el proceso sistemático para realizar la selección y asignación de usuarios a cada grupo se muestra en la Figura 2. Como se observa, una aleatorización doble se ejecuta para la asignación de usuarios a cada grupo de forma tal que el supuesto de independencia de las observaciones se cumpla y la parsimonia metodológica sea tal que no se distorsione la evidencia de homocedasticidad en el análisis de variabilidad (ANOVA) que debe ser probada en el experimento.

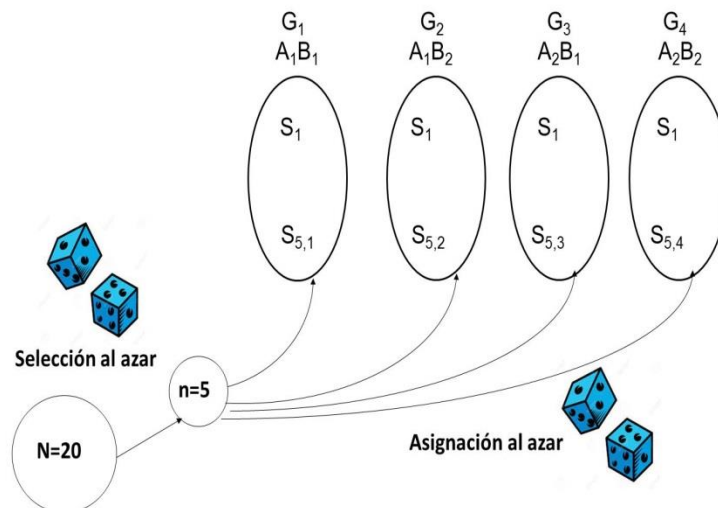


Figura 2. Proceso sistemático para la asignación muestral del diseño experimental 2^k completo.

Es relevante mencionar que cada usuario no tendrá interacción alguna con los demás usuarios así como ningún terapeuta tendrá interacciones con los demás para evitar que se introduzcan variables extrañas en la ejecución del experimento.

Por recomendación profesional, la terapia debe ser repetida cíclicamente por al menos 10 semanas de forma que se puedan ver resultados de avance en las habilidades de habla; por esta razón el experimento se realizará durante este periodo de tiempo. Esto permite el análisis de variabilidad (ANOVA) con observaciones semanales así como el análisis con resultados obtenidos en la variable de respuesta para el total de 10 semanas.

Esta propuesta para un experimento comparativo es flexible en términos del número de variables que pueden ser estudiadas como variables causales. La ventaja de este tipo de diseños experimentales es que es posible aportar evidencia objetiva acerca del uso clínico de este tipo de tecnologías con gran robustez y confiabilidad estadística.

3.5 Estrategia metodológica

La estrategia metodológica para el diseño factorial definido de esta investigación doctoral se describe a continuación:

1. Determinación de aplicaciones científicamente reportadas con respecto a impactos positivos de la robótica o Simulación y virtualización en procesos socio-educativos de terapia de lenguaje o terapia de habla que permitan el mejoramiento de habilidades de interrelación social.
2. Selección de marcos tecnológicos de desarrollo compatibles con robots humanoides NAO.
3. Diseño del arquetipo tecnológico para una terapia de lenguaje o habla clínicamente validada.
4. Diseño de prototipo de programación robótica que opere también en una aplicación para dispositivos móviles que permita obtener un simulador/emulador del Robot humanoide.
5. Programación de robot humanoide y diseño y programación de la aplicación para dispositivos móviles.
6. Ejecución de experimentos en interfaces desarrolladas para validación funcional.
7. Ejecución de validación funcional con pacientes y terapeutas reales.

8. Ejecución de validación cuantitativa con pacientes y terapeutas reales por medio de un experimento 2^k factorial completo y aleatorizado.
9. Sistematización de resultados experimentales.
10. Análisis de resultados experimentales.
11. Desarrollo de conclusiones, recomendaciones y líneas futuras de investigación.
12. Escritura de artículos y documento de tesis.

Capítulo 4

Herramientas tecnológicas de la investigación

Este capítulo desarrolla los elementos esenciales que, desde un punto de vista tecnológico, han permitido el diseño y construcción del sistema ciberfísico y específicamente la plataforma de asistencia robótica para terapia de habla y lenguaje.

Las herramientas tecnológicas de esta investigación se refieren a tres dimensiones: lógica, física o de equipo y programas o rutinas programadas (*software*). La primera sección se enfoca en herramientas de definición lógica para determinar el arquetipo robótico y son la base para el desarrollo de la plataforma robótica.

En la siguiente sección se describen las herramientas tecnológicas para la construcción de la plataforma desde un punto de vista de funcionalidades, modelado arquitectónico y roles y solución de rutinas y programas tanto para ser ejecutadas por el robot físico como por dispositivos móviles.

En la última sección de este capítulo, se desarrollan los requerimientos lógicos del sistema (ingeniería de requerimientos) así como el modelado de relaciones de casos de uso que sustentan la programación.

4.1 Arquetipo robótico para el sistema ciberfísico (RAS/SLTP)

La palabra arquetipo, según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE), tiene una raíz etimológica que proviene del griego "ἄρχειν" (arjetipon) formado a partir de "ἄρχη" (arjé), "elemento fundamental, principio", "origen" y "τύπος" (tipos), "impresión", "modelo", o "modelo principal". En esta investigación, los arquetipos robóticos se entienden como cianotipos típicos de los rasgos de los personajes que se pueden encontrar en historias de diferentes culturas y, por lo tanto, son fácilmente identificables.

Según menciona Ishaan L. Pkrasi (2018), para un psicólogo, los arquetipos son huellas mentales que revelan los detalles de la personalidad de un paciente. Para un escritor, los arquetipos son los planos de diseño detallado para construir personajes bien definidos, ya sean héroes, villanos o personajes secundarios.

En el diseño de robots y plataformas robóticas, la caracterización de la personalidad y el comportamiento son elementos arquitectónicos que considerarse, ya que pueden servir para establecer y mantener relaciones sociales y, por otro lado, proporcionar modelos claros de comportamiento y procesos de toma de decisiones, en este caso, para el terapeuta. (Pakrasi IL, LaViers A., y Chakraborty N., 2018).

Para determinar características de comportamiento que deben ser emuladas en un robot o plataforma robótica en un arquetipo seleccionado es común usar el método *Kansei Engineering*, que se introdujo por primera vez como una metodología de diseño en Japón en la década de 1980 (Rowe J.P., Ha E.Y., Lester J.C., 2008; Pakrasi, I., 2018).

La palabra japonesa "*kansei*" se refiere a un "sentimiento psicológico del consumidor hacia un nuevo producto" y *Kansei Engineering* presenta un enfoque iterativo hacia el diseño de productos de consumo, con dos puntos clave: cómo captar el sentimiento del consumidor (*Kansei*) sobre el diseño en términos de estimación psicológica y cómo definir las características de diseño basadas en el consumidor *Kansei* (Pkrasi IL, 2018; Wainer J. et al, 2014).

Kansei Robotic es un enfoque derivado de *Kansei Engineering* que ha sido utilizado con efectividad para el desarrollo de robots y plataformas robóticas (Rowe J.P., Ha E.Y., Lester J.C., 2008). No cabe duda que "el valor de la emoción tiene una parte crucial que le da influencia en artefactos como robóticos. La sensibilidad, el sentimiento, la estética, la emoción, el afecto y la intuición son atrincheramientos en la comunicación humano-robot determinantes para involucrar al mundo" (Hj Bidin S. A. et al, 2017).

Para desarrollar la plataforma basada en arquetipo robótico, se utilizó *Kansei Robotic Flow* como un enfoque sistemático para definir los rasgos de personalidad del comportamiento del robot y la aplicación de dispositivos móviles que emula al robot. En la Tabla 5 se muestra el análisis de flujo robótico "*Kansei*".

En este caso, se establece como punto de partida el "Arquetipo Cero" descrito como "interacción humano-robot basada en rasgos de confianza / amistad" (HRI / TF) con dos "*kansei*" emocionales: felicidad y sentimiento perseverante. Esto se construyó de forma multidisciplinaria con el asesoramiento de tres profesionales en terapia de habla y lenguaje.

Tabla 5. *KANSEI ROBOTIC* aplicado al Sistema basado en Arquetipo Robótico para terapia de habla y lenguaje.

KANSEI		Requerimientos			
		Arquitectura	Ingeniería de Software	Información clave	
ARQUETIPO CERO	EMOCIONES				
HRI/TF (Interacción Humano-Robot basada en rasgos de confianza /amistad)	FELICIDAD	1-Robot no amenazante 2-Aplicación para dispositivos móviles que sea fácil de acceder e instalar 3-Plataforma <i>no open source</i> 4-Diseño basado en Cómputo en la nube (<i>Cloud Computing based Design</i>)	-Reconocimiento de habla flexible -Respuesta rápida -Salida de habla ajustable con una voz amigable -Movimientos no amenazantes -Voz y movimientos que emulen motivación y mejora continua -Tres roles: usuario, terapeuta y administrador	Terapia lúdica con realimentación positiva	
	SENTIMIENTO DE PERSEVERANCIA			Datos de realimentación con actualización rápida enfatizando la mejora	
					La interfaz de usuario debe ser de rápida respuesta, limpia (no saturada) con colores que inspiren alegría y esfuerzo
					Acceso libre por día o por hora a lo largo de la semana
					Las palabras aparecen aleatoriamente y por temas

Se seleccionó el idioma español debido a que la investigación científica reportada para este idioma es bastante menor comparada con la investigación relacionada con otros idiomas tales como el idioma inglés o alemán. Como estrategia terapéutica, se decidió trabajar en la implementación de una terapia de sustitución, de omisión y de cambio de fonema debido a su alta frecuencia de uso (Liu, L., Li, B., Chen, I.-M., Jui Goh, T., & Sung, M., 2014).

En esta terapia el usuario frecuentemente sustituye un fonema por otro cuando habla, o por otro lado, realiza un cambio en el fonema. Por ejemplo, en lugar de decir "cuchara", puede decir algo similar, por ejemplo, "cutara"; y cuando la terapia es de omisión, se busca corregir en el usuario la práctica de eliminar frecuentemente un fonema en una palabra; por ejemplo, en lugar de decir "jarra" que pronuncie algo como "arra". Y, finalmente, si el problema es de cambio de fonema, la persona puede decir algo parecido a "cavuuo" en lugar de decir "carro".

La técnica para este tipo de terapias del habla, consiste primero en identificar la dificultad y sus causas, para lo cual existen ejercicios muy comunes en la literatura y diagnósticos típicos (Smith C. et al, 2017).

Con frecuencia, se utilizan terapias de "juego" en las que un robot humanoide (por ejemplo, como NAO, Pepper o ASIMO) detecta una palabra pronunciada incorrectamente, alerta, hace una pregunta que facilita la corrección o retroalimenta una "calificación" y palabras de motivación (Pennington R., Saadatzi MN, Welch KC, Scott R., 2014; García-Vergara S. et al, 2014).

El avance terapéutico se asocia con una curva de rendimiento y el robot humanoide puede motivar acciones que ayudan a las personas a mejorar cualquiera de las tendencias en su habla, es decir, la sustitución, la omisión o el cambio fonético. Por esto es muy positivo que cualquier tecnología de apoyo se diseñe con elementos estéticos que estimulen la interacción social y sentimientos de comodidad, confianza y tranquilidad en contraposición al miedo, el estigma o el sentirse amenazado.

4.2 Diseño e implementación de la plataforma robótica

En esta investigación, tal y como se muestra en la Figura 3 y la Figura 4, el diseño del modelo de Plataforma Robótica se basa en un robot humanoide NAO de quinta generación debido a su flexibilidad y diseño amigable acorde con el arquetipo *Kansei*.

La Figura 3 muestra los componentes sistémicos de la plataforma y la Figura 4 muestra específicamente las funcionalidades principales de cada componente de la plataforma.

Los usuarios de la plataforma pueden interactuar directamente con el robot físico así como con el robot virtual utilizando una aplicación para dispositivos móviles. Cuando el usuario habla, el robot NAO reconoce la voz y encuentra errores de habla para luego brindar realimentación acerca de las palabras que han sido organizadas por temas y metas terapéuticas.

Además, tal y como se muestra en las Figuras 3 y 4, los terapeutas también pueden interactuar con la plataforma, en este caso para dar seguimiento al proceso de terapia de los usuarios y definir parámetros clínicos tales como el tiempo por sesión, especificar palabras y fonemas que deben ser abordados, etc. Esta interacción se realiza por medio de una aplicación informática vinculada a las bases de datos en la nube en cualquier momento que se necesite.

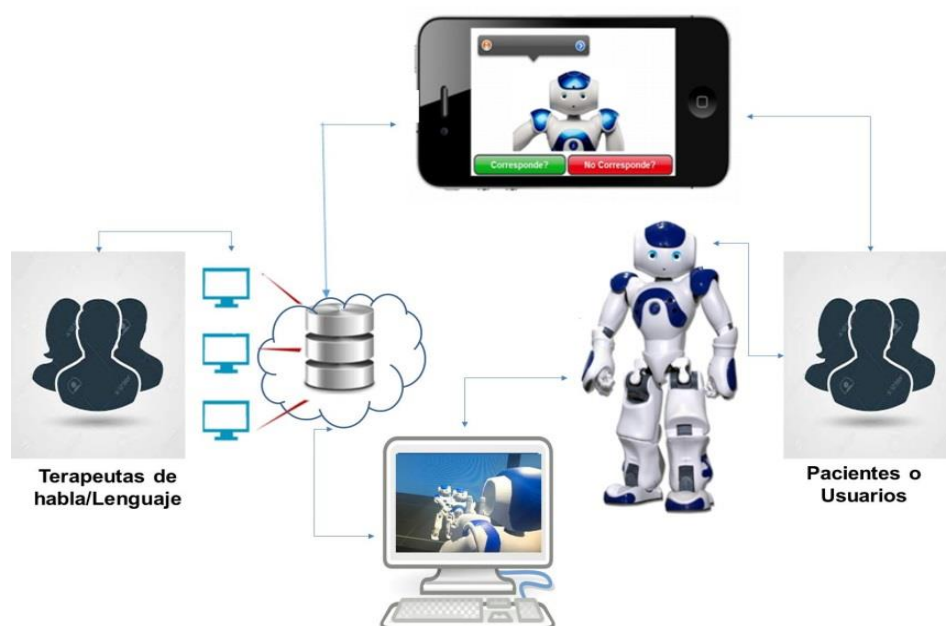


Figura 3. Modelo de Plataforma Robótica para un asistente de terapia de habla y lenguaje.

Tal y como se muestra en la Figura 4, el robot humanoide NAO puede ser controlado por medio del computador vinculado a una plataforma en la "nube" con bases de datos que contienen palabras, pictogramas, indicadores de desempeño e información asociada a usuarios y terapeutas.

Cuando el usuario interactúa con la aplicación para dispositivos móviles un proceso similar se ejecuta utilizando un robot humanoide NAO virtual que debe ser diseñado de acuerdo con los parámetros del arquetipo Kansei.

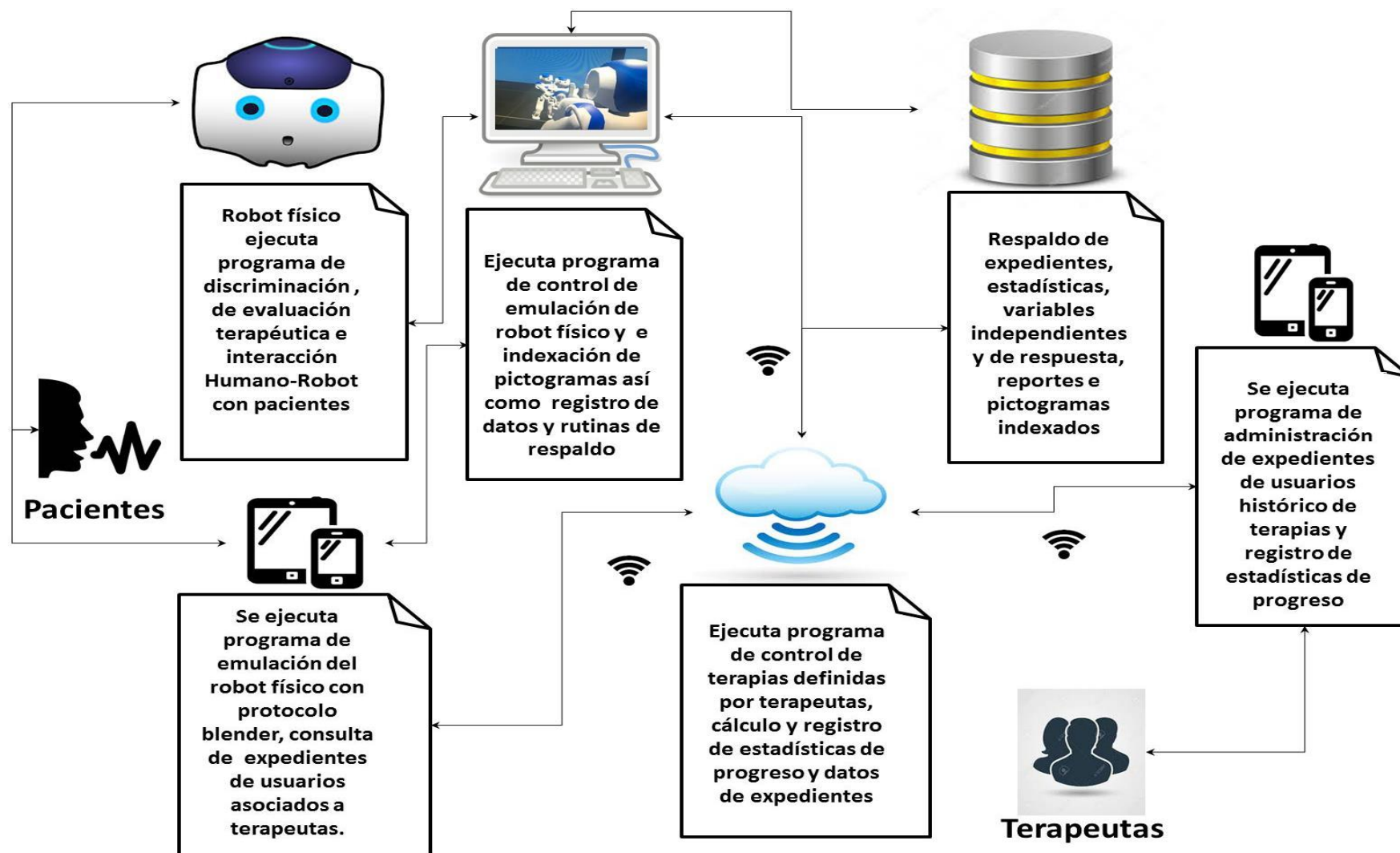


Figura 4. Funcionalidades básicas de los componentes de la plataforma robótica.

En esta investigación, se utiliza la aplicación CMU¹³ *Sphinx* (Carnegie Mellon University) integrada a Apache CORDOVA¹⁴, que funciona con conexión a Internet y es compatible con Python; que a su vez es utilizado en el programa Blender¹⁵ (desarrollado por Fundación Blender) y la plataforma del robot NAO. Apache-CORDOVA, que pertenece a la empresa Adobe Systems, es una plataforma que se construye en JavaScript y HTML5 entre otras herramientas, lo que es ventajoso cuando son requeridas arquitecturas híbridas.

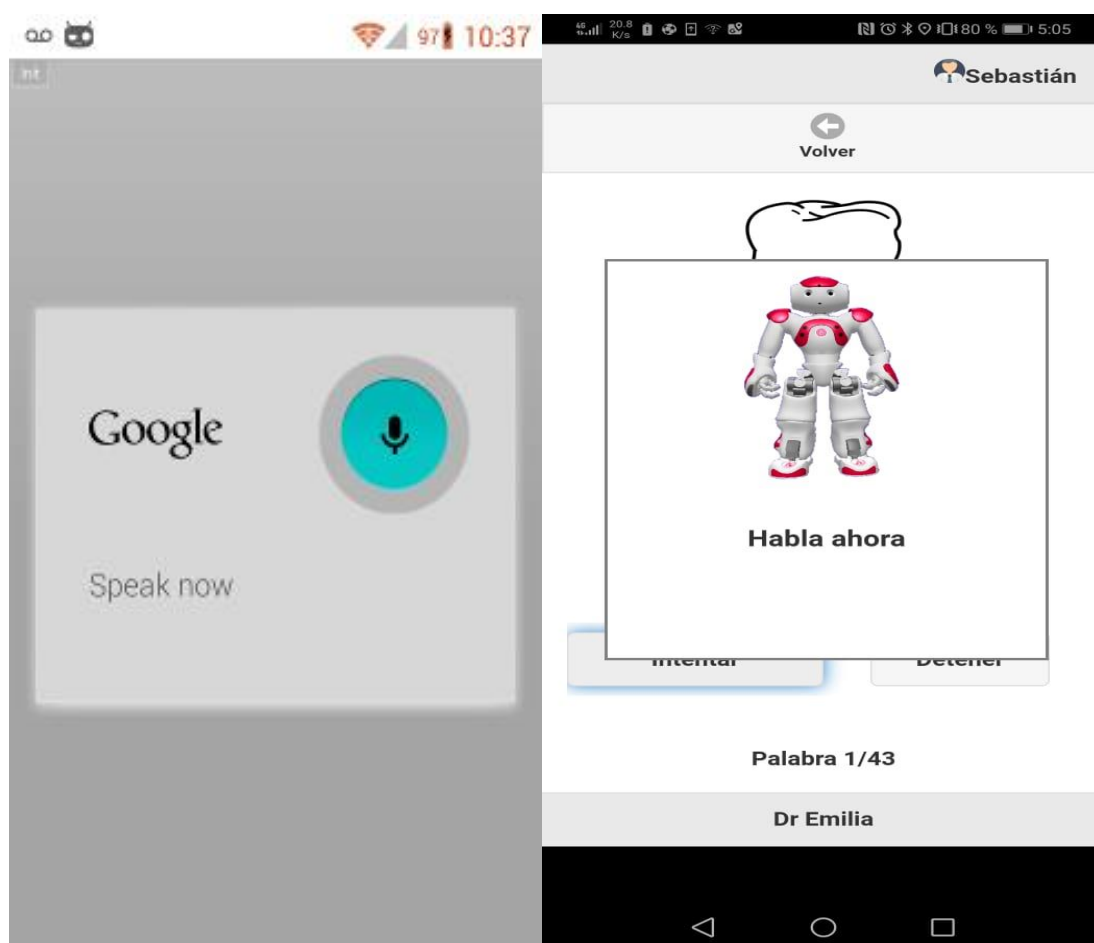


Figura 5. Ejemplo de visualización en pantalla de dispositivo móvil.

Fuente: PhoneGap & Cordova Plugging List; recuperado de <https://raw.githubusercontent.com/domaemon/org.apache.cordova.plugin.speechrecognizer/master/screenshots/speaknow.png>

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de la visualización en pantalla de cualquier dispositivo móvil sobre la cual se trabaja para ejecutar la aplicación. Como se puede observar, la funcionalidad de reconocimiento de voz debe integrarse en la aplicación y la interfaz de usuario requiere de un diseño atractivo y amigable haciendo uso de la

¹³ Información adicional en: <https://cmusphinx.github.io/wiki/download/>

¹⁴ Información adicional en: <https://cordova.apache.org/>

¹⁵ Información adicional en: <https://www.blender.org/>

virtualización del robot humanoide.

La programación del algoritmo de reconocimiento de voz y habla se resuelve utilizando una interfaz de programación de aplicación (*Application Programming Interface-API*) de *Python* y Apache CORDOVA que permite la función de reconocimiento de voz de la gente. Este algoritmo debe registrar errores específicos y así como opera el robot humanoide en el mundo físico, esta API trabaja con un umbral asignado para realizar el reconocimiento de forma que si la palabra que la persona pronuncia está por debajo de ese umbral, la palabra no puede ser capturada por el programa, por otro lado, si la palabra pronunciada está por encima del umbral, el programa podrá reconocer la palabra.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Speech Recognition plugin demo</title>
    <script type="text/javascript" src="cordova-2.8.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="SpeechRecognizer.js"></script>
  </head>
  <body>
    <script type="text/javascript">
      function onDeviceReady(){
        console.log("Device is ready");
      }
      function recognizeSpeech() {
        var maxMatches = 5;
        var promptString = "Speak now"; // optional
        var language = "en-US"; // optional
        navigator.SpeechRecognizer.startRecognize(function(result){
          alert(result);
        }, function(errorMessage){
          console.log("Error message: " + errorMessage);
        }, maxMatches, promptString, language);
      }
      // Show the list of the supported languages
      function getSupportedLanguages() {
        navigator.SpeechRecognizer.getSupportedLanguages(function(languages){
          // display the json array
          alert(languages);
        }, function(error){
          alert("Could not retrieve the supported languages : " + error);
        });
      }
      document.addEventListener("deviceready", onDeviceReady, true);
    </script>
    <button onclick="recognizeSpeech();">Start recognition</button>
    <button onclick="getSupportedLanguages();">Get Supported Languages</button>
  </body>
</html>
```

Figura 6. Código básico para la función de reconocimiento de voz. Fuente: PhoneGap & Cordova Plugging List; recuperado de <http://phonegap-plugins.com/plugins/domaemon/org.apache.cordova.plugin.speechrecognizer>

Asimismo, en la Figura 6 se muestra el código básico para generar la aplicación de reconocimiento de voz. El robot NAO (tanto físico como virtual) es modelado y animado por medio del programa Blender. Este programa funciona "multi-plataforma" y se usa específicamente para realizar modelado, animación, "renderizado" y creación de figuras tridimensionales; así como composición digital.

Para poder realizar la animación del avatar es necesario crear un "esqueleto" dentro del mismo modelo; como se puede notar en la Figura 7, señalando las pequeñas pirámides que se ubican en las piernas y torso del robot humanoide. Este esqueleto es el que se utiliza para animar los respectivos movimientos del robot.

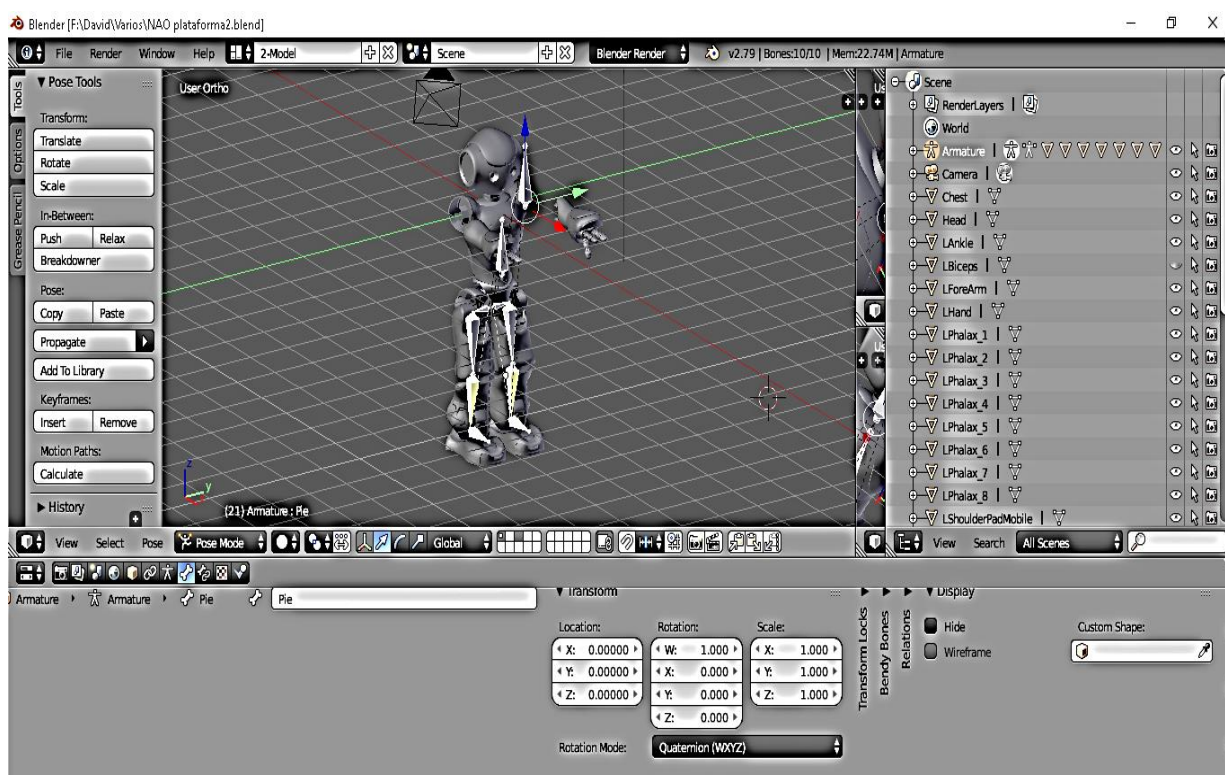


Figura 7. Avatar Virtual en plataforma Blender.

Para configurar estos movimientos, el primer paso es definir los parámetros de la cinemática de este esqueleto, donde cada enlace recibe el nombre de "hueso" y se ilustran en la Figura 8.

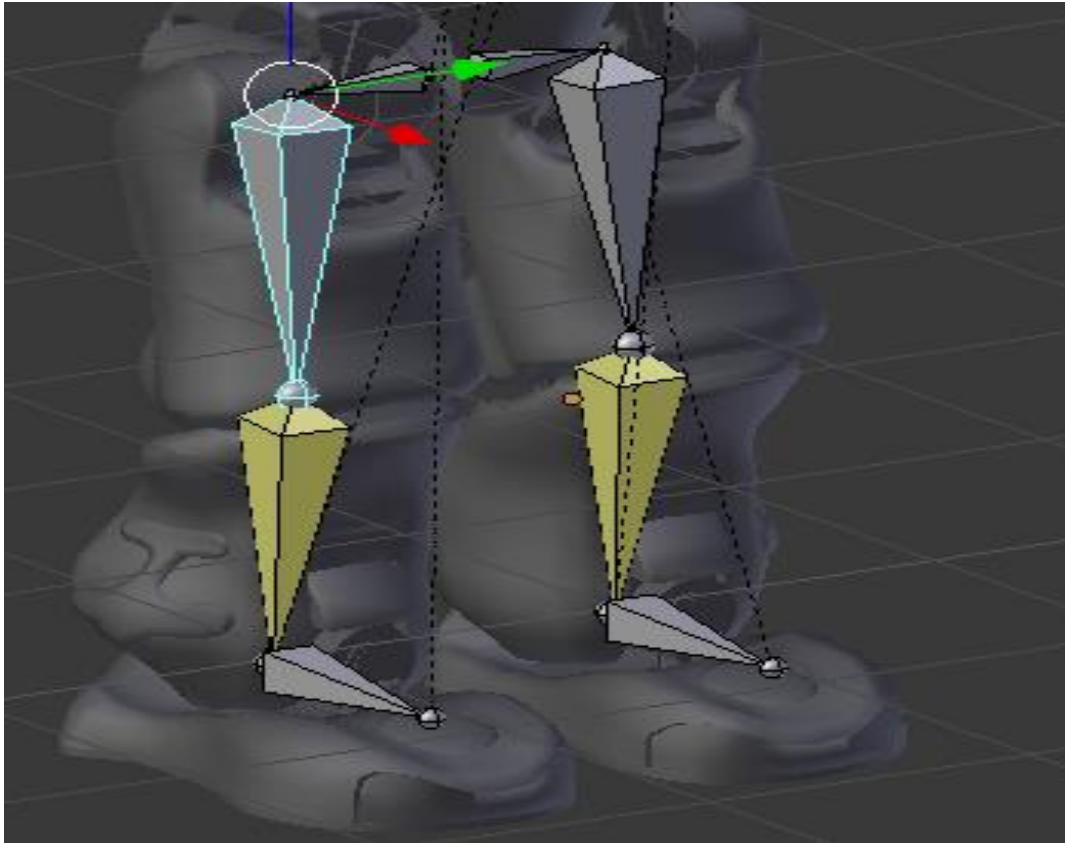


Figura 8. Desarrollo de esqueleto para Avatar de robot NAO.

Para cada uno de estos eslabones, se debe configurar el movimiento correcto que se debe ejecutar y, para ello, el programa Blender dispone de una función de cinemática inversa, la cual permite definir la forma en que se va a mover un objeto.

Como se puede notar, el esqueleto de cada pierna está compuesto por 3 huesos; de estos, el principal es el del pie y los demás huesos siguen el movimiento que este realice.

De esta forma, lo que se debe realizar es la configuración con el módulo de cinemática inversa, para que este movimiento sea lo más parecido al robot humanoide del mundo físico.

En la Figura 9 se puede observar un ejemplo de cómo se parametriza el módulo de cinemática inversa, que funciona seleccionando uno de los eslabones que conforman el esqueleto y luego se restringe su movimiento en los sentidos en los que este eslabón no debería moverse. En particular, por ejemplo, el eslabón solamente tiene permitido su movimiento alrededor del eje Y. Esto se realiza de la misma manera para todos los eslabones analizando la forma en la que debe ejecutar el movimiento.

Para lograr la animación de los movimientos deseados, es necesario almacenarlos en una línea de tiempo, es decir, capturar cada movimiento en lapsos de tiempo guardando cada

posición, de manera que cuando se ejecute la secuencia se recorra cuadro por cuadro de acuerdo con las posiciones del avatar en cada lapso de la línea de tiempo.

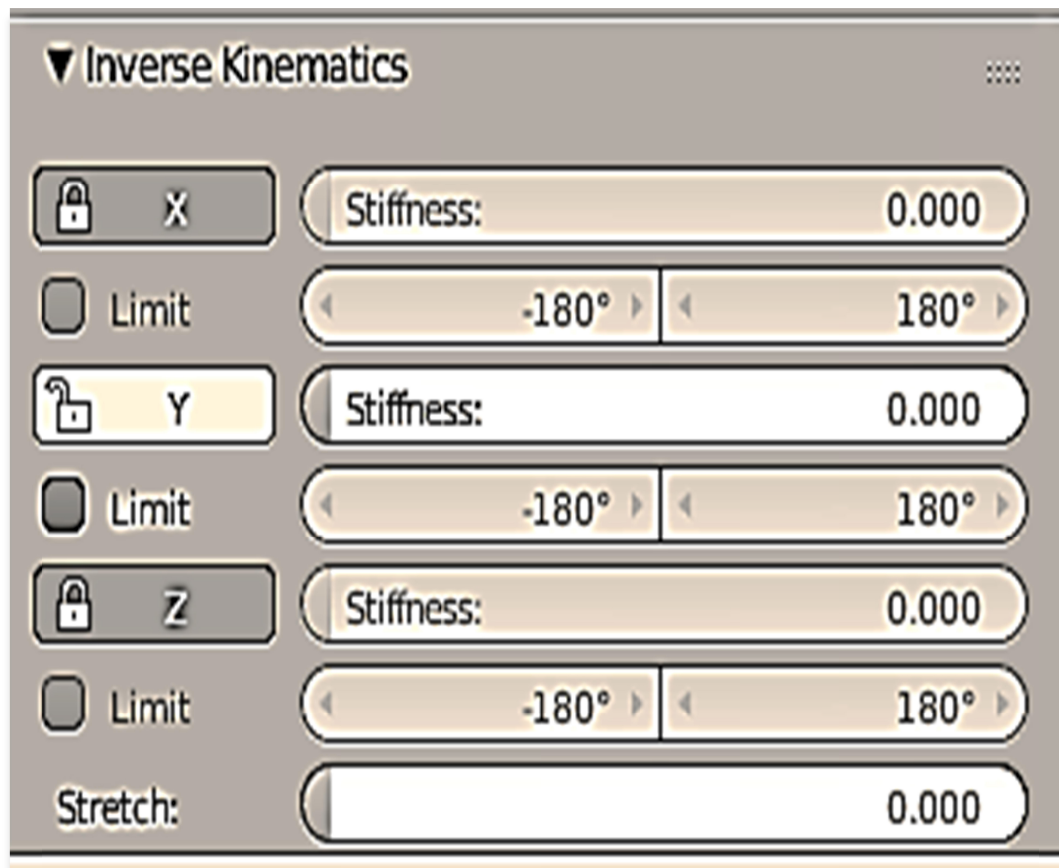


Figura 9. Módulo de Cinemática Inversa.

Finalmente, con estos recursos tecnológicos, es posible desarrollar la plataforma programando diferentes niveles de dificultad, en donde se construirán diferentes funcionalidades de forma similar a un videojuego para que cuando se supere un nivel, el usuario de la terapia sepa que va evolucionando positivamente y el avatar entonces se moverá de un escenario a otro.

4.3 Ingeniería de Requerimientos de la aplicación para dispositivos móviles

Sobre la base del análisis del "flujo robótico kansei" presentado en la Tabla 5, se han definido los requerimientos críticos para el desarrollo de software y que se presentan en esta sección.

Desde la perspectiva del "usuario", los requerimientos se han definido de la siguiente forma:

1. El usuario puede acceder a la aplicación desde un dispositivo móvil con una palabra clave y una ID de usuario.
2. El usuario puede seleccionar un tema o clasificación de palabras. Por ejemplo, "Deportes", "Música" o "Mecánica automotriz", "Construcción", "Ventas", "Cocina".
3. El usuario puede detener el ejercicio terapéutico en cualquier momento.
4. El usuario puede ejecutar la "aplicación" en cualquier momento, pero con una restricción de tiempo establecida por el terapeuta, por ejemplo, 20 o 30 minutos.
5. En la pantalla, se muestra un "webot" del humanoide cuando se realiza una interacción.
6. Al mostrarse el robot humanoide un audio se reproduce con la siguiente frase: "¿quieres comenzar a practicar?". A continuación se muestran dos íconos para que el usuario señale si comienza o si cancela.
7. Si el usuario comienza la terapia, un audio se reproduce con la siguiente frase: "Vamos a comenzar!!". Inmediatamente se muestran los temas en la pantalla.
8. El robot humanoide muestra la primera palabra en la pantalla, grande en el centro.
9. Al mostrarse en la pantalla una palabra, la figura del robot se despliega en una esquina.
10. Al desplegarse la figura del robot humanoide en la esquina de la pantalla, con la palabra también se muestra un pictograma que refuerza su significado.

11. Al mostrarse el pictograma en la pantalla, inmediatamente se reproduce un audio que pronuncia correctamente la palabra asociada.
12. Después de que la aplicación reproduce la palabra correctamente, otro audio se reproduce con la siguiente frase: "ahora pronuncia la palabra".
13. La aplicación captura los sonidos y determina si la pronunciación del usuario es correcta.
14. El robot simula que habla con el usuario y reproduce el siguiente audio: "Excelente" si la pronunciación es correcta. Si ocurre lo contrario, y la pronunciación es incorrecta, se reproduce el siguiente audio: "Buen intento, pero puedes hacerlo mejor".
15. Antes de repetir el ciclo la aplicación vuelve a reproducir la palabra correctamente.
16. La aplicación puede repetir el ciclo con un tiempo restringido previamente.
17. El usuario puede consultar su puntaje de la sesión así como los puntajes de las sesiones pasadas.
18. El usuario puede interrumpir en cualquier momento el ciclo de terapia y cancelar la sesión.

Desde la perspectiva del terapeuta del habla y lenguaje, los requerimientos críticos son:

1. El terapeuta puede restringir el tiempo por sesión.
2. El terapeuta puede restringir el número de sesiones seguidas que puede hacer el usuario.
3. El terapeuta puede consultar cuáles son las palabras falladas por el usuario y su frecuencia.
4. El terapeuta puede consultar el archivo de usuario en cualquier momento.
5. El terapeuta puede consultar las estadísticas de progreso del usuario por sesión, sumadas por periodo de tiempo. Entre estas variables de consulta están factores experimentales y variables de respuesta tales como:

- a) Factores: número de sesiones, lapso de tiempo de terapia activa por sesión, lapso de tiempo total de terapia activa por periodo de tiempo (día, semana, mes, etc.) número de palabras diferentes utilizadas, número de sesiones por periodo de tiempo (día, semana, mes).
 - b) Variables de respuesta: número de fallos, palabras falladas y su frecuencia de fallo por periodo de tiempo, % de palabras correctamente pronunciadas, % de discriminación (también conocido como umbral).
6. El terapeuta puede elegir los sonidos básicos que desea mejorar con respecto a las palabras en el idioma español. Por ejemplo, el terapeuta puede elegir sonidos como "R", "L", "S", "Z", "RR".

Otros requisitos de la aplicación son:

1. Las bases de datos deben funcionar en "web".
2. La aplicación despliega todas las estadísticas que registra por sesión y por sesiones en un lapso de tiempo.
3. La aplicación clasifica los resultados de las sesiones por código de usuario y código de terapeuta.
4. La aplicación puede registrar las palabras específicas que se pronuncian correctamente o incorrectamente así como su frecuencia.
5. La aplicación debe configurarse de modo que discrimine a un cierto porcentaje la identificación de los sonidos capturados (umbral).
6. Las palabras no deben seguir el mismo patrón de aleatoriedad para lograr que en 3 o 5 sesiones se cubran todas las palabras indexadas.
7. La aplicación se cierra cuando el robot se despide del usuario y lo alienta a seguir mejorando.
8. La aplicación puede desplegar un gráfico de carrera donde sea visual el avance del usuario.
9. Entorno virtual y webot del robot con movimientos básicos.

Las palabras clasificadas por tipo de sonido crítico y tema permiten al terapeuta identificar condiciones colaterales, de manera que cuando el usuario dice una palabra de

forma incorrecta y el programa es capaz de detectarla, se pueda trabajar complementariamente con otras terapias que faciliten al usuario la manera correcta de corregir su habla o proceso de uso del lenguaje.

Para el desarrollo de los requerimientos anteriormente definidos, se deben crear algunas bases de datos relacionadas:

1. Base de datos con palabras asociadas a sonidos y a temas.
2. Base de datos con pictogramas ARAWORD asociadas a palabras y temas (utilizando ARAWORD Framework, que es un marco reconocido internacionalmente desarrollado en España por el Gobierno de Aragón y que facilita la adaptación de documentos para personas que necesitan terapia del habla y del lenguaje¹⁶).
3. Base de datos de expediente de usuario con nombre completo, identificación, dirección, dirección postal, correo electrónico, teléfonos, fecha de inicio de terapia, observaciones por sesión con anotaciones del o la terapeuta.
4. Base de datos con estadísticas de progreso que pueden visualizar el usuario y el o la terapeuta. Estas estadísticas no necesariamente son la misma visualización.
5. Base de datos para expediente de terapeuta con nombre completo, identificación, dirección, dirección postal, correo electrónico, teléfonos, biografía.

En las Figura 10 y la Figura 11 se muestran diagramas de modelado de la aplicación informática para dispositivos móviles. El diagrama de casos de uso se ha construido desde la interacción del usuario y también desde la interacción de la persona terapeuta. Sin embargo, el diagrama de clases se ha construido de forma unificada para mayor claridad.

El diseño del ambiente de emulación se programa por medio de *Blender* y *V-REP* (*Virtual Robot Experimentation Platform*). En estas plataformas se desarrollan todos los ambientes en los cuales el avatar del Nao se desenvuelve, sin embargo, no permiten reproducir audio ni capturarlo, por lo que se debe realizar una integración con *Python*.

¹⁶ Más información en el enlace: http://www.arasaac.org/software.php?id_software= 2

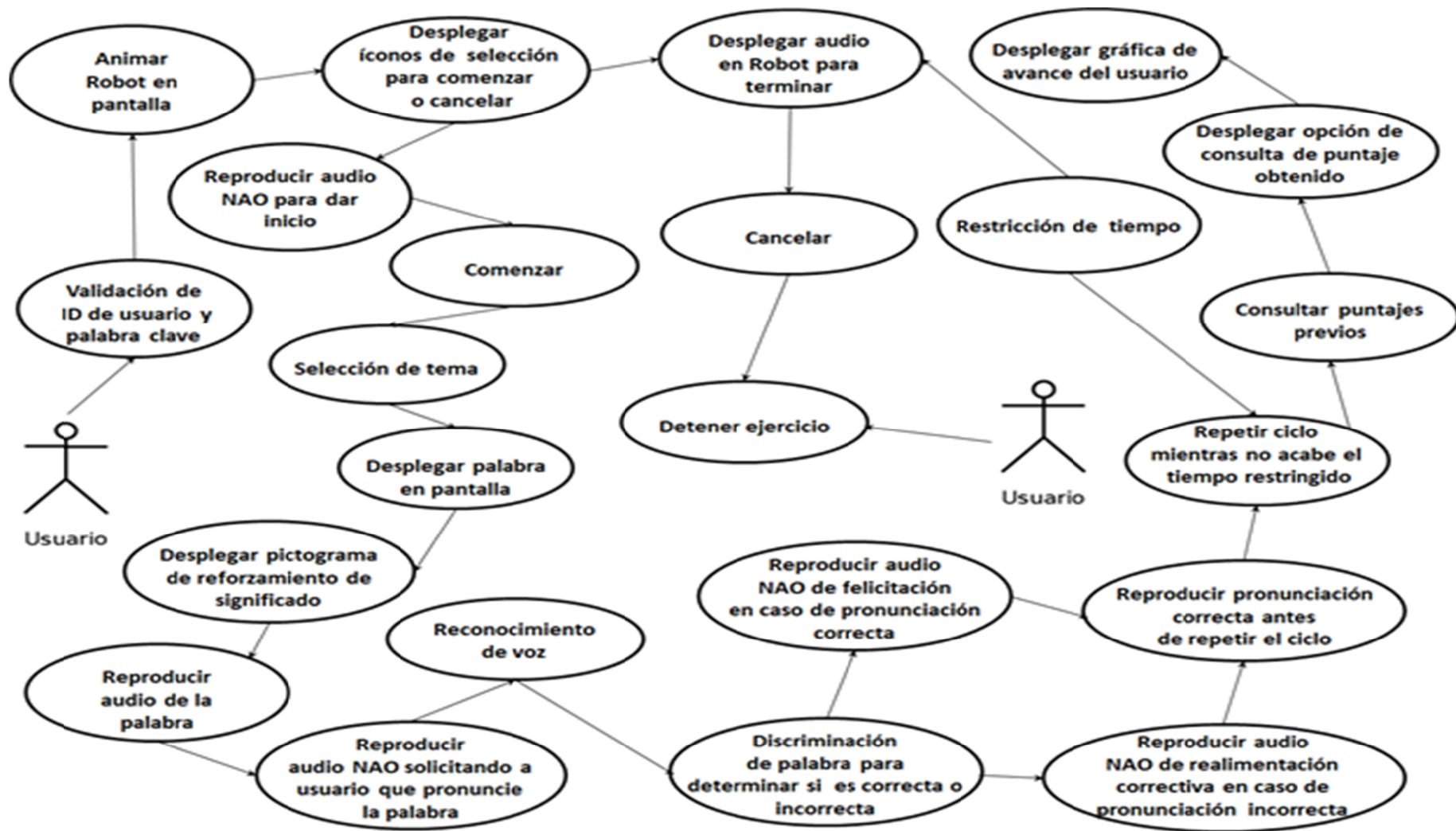


Figura 10. Diagrama de casos de uso de la aplicación para usuarios para dispositivos móviles.

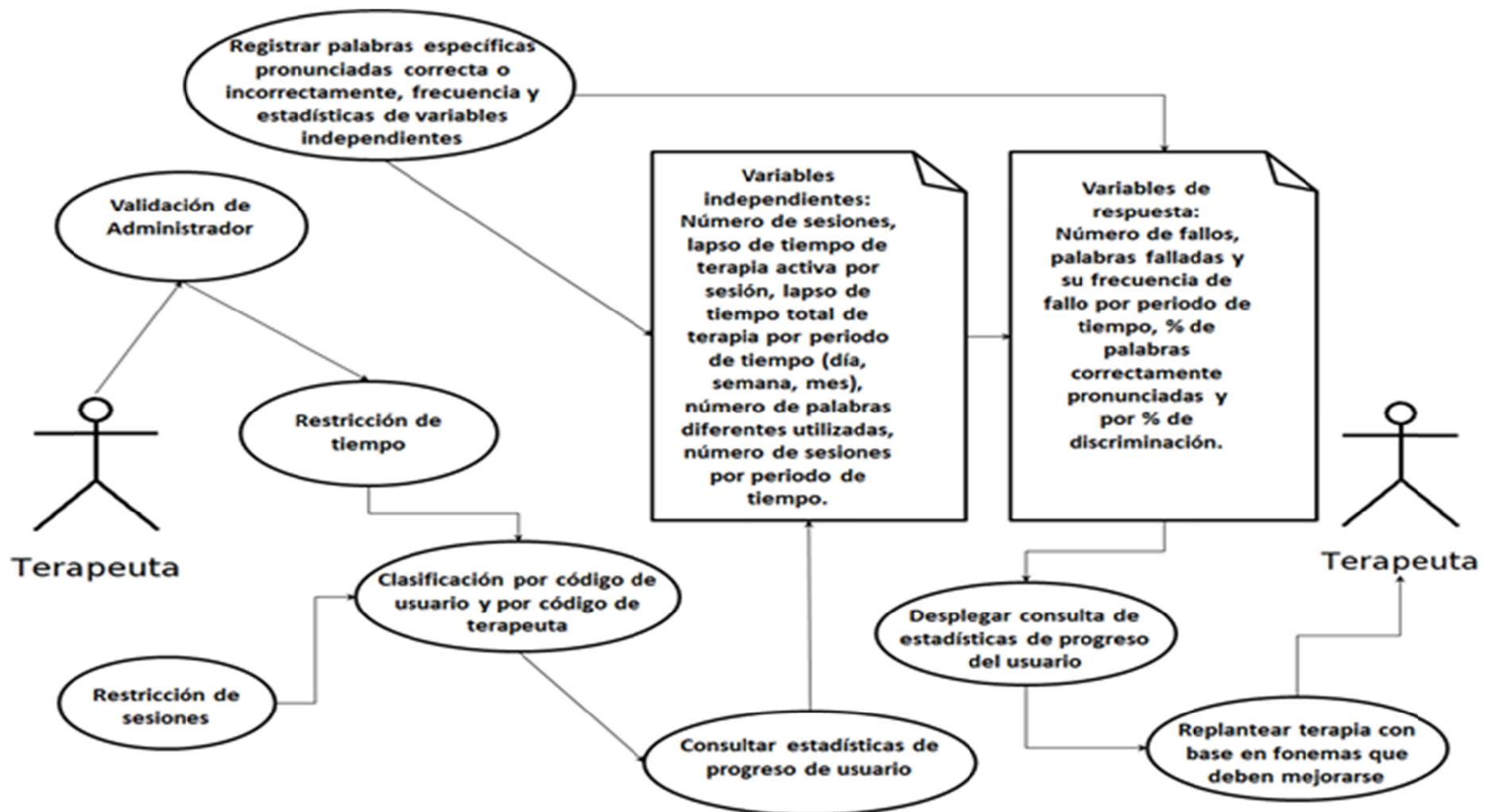


Figura 11. Diagrama de casos de uso de la aplicación para terapeutas para dispositivos móviles.

Capítulo 5

Experimentación y Análisis de Resultados

En este capítulo se aborda la ejecución de los experimentos, la sistematización de la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos y el análisis deductivo e inductivo de los hallazgos de cada una de las fases así como de forma holística.

En este sentido, la ejecución de experimentos comienza con la prueba de funcionalidades en ambiente real y el ajuste de la plataforma desde un punto de vista tecnológico (lógica, arquitectura y *software*) antes de ser utilizada en campo de forma sistematizada e intensiva.

Posteriormente, se describe la ejecución de la validación cuantitativa experimental y de forma evolutiva, semana a semana, se analizan los resultados debido a que en cada una de ellas se realizó un experimento con su respectivo análisis de datos siguiendo la debida parsimonia de verificación de supuestos del modelo estadístico. Para facilitar la comprensión de esta evolución, se realiza primero un abordaje holístico de las 10 semanas y luego se desagrega por tipo de escenario experimental, que en este caso, al tratarse de un experimento 2^k factorial completo con dos variables y dos tratamientos, se trata de 4 escenarios experimentales.

Finalmente, se rescata una dimensión analítica que desde un punto de vista axiológico investigativo no puede dejar de ser tomado en cuenta y es que la experimentación es un medio de generación de conocimiento científico pero más allá de ésta, están las vidas de las personas involucradas. En este caso, en la última sección, se rescatan las voces de las personas participantes y sus vivencias así como los hechos relevantes de sus experiencias que revelan la gran importancia de seguir investigando en este campo.

5.1 Ejecución de experimentos para validar funcionalmente la plataforma tecnológica

Esta sección describe la validación funcional de la plataforma desarrollada y sus resultados de retroalimentación más relevantes. Esta validación buscó la verificación de la funcionalidad y usabilidad de la plataforma desarrollada y se llevó a cabo en dos etapas ejecutadas en Costa

Rica, en el Centro de Educación Especial de Heredia. Esto significa que la validación no es una evaluación de eficacia o exploración clínica.

El ejercicio terapéutico para los trastornos de dislalia se describe a continuación:

1. El robot comienza con un saludo motivador para el usuario.
2. Se muestra un pictograma en la pantalla y la palabra asociada.
3. El robot dice la palabra.
4. El usuario, solo o asistido por el tutor o terapeuta, pronuncia la palabra que se ha desplegado.
5. El robot determina si la pronunciación es correcta o no.
6. El robot proporciona comentarios sobre la pronunciación.
7. El ciclo se repite con palabras de motivación intermitentes.
8. Al final del tiempo de terapia, el robot proporciona una motivación final y finaliza el ejercicio.

Para verificar la funcionalidad y usabilidad de la plataforma desarrollada se realizó un experimento en dos etapas de validación. La primera etapa consistió en exponer la plataforma a una persona profesional certificada del área de la terapia de habla y lenguaje, específicamente para diferentes tipos de dislalia.

En esta primera experiencia se trabajó con el robot NAO de quinta generación y la aplicación informática con interfaz de usuario de forma integrada a la programación del robot.

El primer ejercicio consiste en que el terapeuta use el robot como si fuera un usuario, es decir, realizando la terapia utilizando pictogramas en pantalla con la identificación de cada uno de ellos de forma similar a la que aparece en las tarjetas terapéuticas. En este caso, estos pictogramas que son recomendados internacionalmente por la *American Speech-Language-Hearing Association* (ASLHA) han sido descargados de la página oficial del Portal Aragonés de la Comunicación Aumentativa y Alternativa (<http://www.arasaac.org/descargas.php>) y utilizados con permiso para esta aplicación informática.

Posteriormente, la persona profesional en terapia de lenguaje y habla realizó el mismo ejercicio pero esta vez sin el robot y únicamente con la aplicación para dispositivo móvil. Se utilizó un teléfono celular y el programa emuló toda la terapia desarrollada por el robot físico.

En la Figura 12 se muestra el espacio de interacción para esta validación cualitativa. Luego de esta primera etapa de validación, al recopilar la realimentación acerca de la programación, la interacción del robot y el funcionamiento de la aplicación informática, se procedió a mejorar la plataforma antes de exponerla ante otras personas terapeutas y pacientes.



Figura 12. Primera validación de la plataforma con la interacción de una persona profesional certificada en terapia de lenguaje y habla.

La segunda etapa entonces se ejecutó con tres pacientes y dos terapeutas certificados adicionales. Se trabajó con una mujer y dos varones en todos los casos, supervisados por sus padres y profesionales terapeutas que les dan seguimiento.

Todos tienen edades entre los 17 y 20 años y uno de los jóvenes está diagnosticado en una condición de síndrome de Down mientras que el otro en condición de autismo. En el caso de la joven mujer la condición diagnosticada es autismo.

En todos los casos, la severidad diagnosticada en cuanto a dificultades de habla es media y todos son capaces de leer bien e identificar los pictogramas de forma correcta.

En la Figura 13 se muestran los entornos de validación con pacientes y sus terapeutas.



Figura 13. Segunda validación de la plataforma con la interacción de dos personas profesionales certificadas en terapia de lenguaje y habla y tres de sus pacientes.

Los resultados de esta validación se han clasificado en dos dimensiones analíticas: la dimensión psicopedagógica y la dimensión técnica informática.

En la Tabla 6 se muestran los principales hallazgos. La primera etapa de validación permitió reconocer la posible percepción de los terapeutas en su interacción con el robot y también con la aplicación para dispositivos móviles. En cuanto al robot, la primera reacción de la terapeuta fue de asombro ante la forma y movimientos del humanoide con precaución a tocarlo o estar cerca de la máquina.

Sin embargo, ayuda mucho que el NAO está diseñado con el arquetipo cero definido en el análisis "kansei" debido que los atributos y movimientos robóticos son muy amigables e infantiles, lo que según expresó la profesional terapeuta facilita la interacción debido a que no se sintió amenazada.

Tabla 6. Principales resultados de realimentación de la validación cualitativa

FASE 1: Validación de terapeutas		Dimensiones analíticas	
Medio de recolección de datos	Dimensión psico-pedagógica	Dimensión técnica informática	
Entrevista no-estructurada	❖ La primera reacción fue de asombro por la forma y los movimientos del robot humanoide y precaución de tocarlo o estar cerca de la máquina. ❖ El terapeuta dijo que no sentía amenaza. ❖ El profesional terapeuta debe poder consultar los resultados por sesión, semana y ver las palabras específicas que no pudieron analizar los fonemas y las formas sintácticas.	❖ En la "configuración" de las terapias, la opción de agregar bloque debería poder repetirse tantas veces como se desee. ❖ Habilitar el botón "seleccionar todo" al definir letras o fonemas. ❖ Acelerar la parametrización. ❖ El botón "asignar terapia" debe estar habilitado para cambiar la terapia en cualquier momento como una opción de terapeuta y no solo al registrar pacientes. ❖ Botón de progreso: debe permitir la generación de estadísticas de efectividad de sesión y un gráfico de carrera de la efectividad de las sesiones anteriores (hasta al menos 10 datos anteriores).	
Medio de recolección de datos	Dimensión psico-pedagógica	Dimensión técnica informática	
Grabaciones de audio y video	❖ El reconocimiento de palabras debe ser fluido y motivar al paciente. ❖ La aplicación debe incluir un movimiento de robot más amigable para cuando el ejercicio esté terminado y se hace la bienvenida y otro para la despedida; dejando ambos siempre visibles en la pantalla.	❖ El terapeuta debería poder poner palabras específicas que quiere que aparezcan en la próxima terapia, dependiendo de las que fallaron en las anteriores. ❖ Revisar la visualización de la interfaz de dificultad baja, media y alta porque cambia por temas.	

FASE 2: Validación de pacientes		Dimensiones analíticas	
Medio de recolección de datos	Dimensión psico-pedagógica	Dimensión técnica informática	
Entrevista no-estructurada	❖ Activar la opción para que el terapeuta profesional pueda definir que el usuario puede tener un segundo intento con las palabras que fallan. Esto reduce la sensación de fracaso cuando el pictograma es muy nuevo para el usuario o cuando necesita ganar confianza para pronunciar la palabra. ❖ Los usuarios se refieren al robot como "el juguete" y esto ayuda a que el ejercicio con palabras y pictogramas se perciba de manera motivadora.	❖ Los usuarios se sienten más seguros cuando no están presionados por el tiempo al pronunciar palabras. Habilitar la opción "trabajar con botón de activación" en lugar de trabajar con tiempo.	
Medio de recolección de datos	Dimensión psico-pedagógica	Dimensión técnica informática	
Grabaciones de audio y video	❖ Se identificó un saludo amistoso como requisito, particularmente al comienzo de la terapia y con movimientos más planos en un solo lugar para evitar la intimidación.	❖ Habilitar micrófono o auriculares para ciertos casos que tienen un volumen de voz bajo. ❖ Existe un corto período de adaptación en el proceso de reconocimiento de funciones y acomodación a la salida de audio y pictogramas.	

En 10 minutos aproximadamente ya se sintió cómoda con el robot y los movimientos programados de acuerdo con el modelo *Kansei Robotics* permitió que la interacción fuera positiva y los ejercicios rápidamente asimilados. De esta experiencia surgió la necesidad de integrar un saludo más amistoso al inicio de la terapia y con movimientos más planos en un solo sitio para evitar intimidación.

En cuanto a la interacción con la aplicación, la profesional en terapia de lenguaje manifestó mayor agilidad y aprendizaje rápido, esto debido a que es más común interactuar con aplicaciones para dispositivos móviles por medio de juegos y aplicaciones de aprendizaje. Manifestó que al principio hay un periodo de adaptación en el periodo de reconocimiento de funciones y adaptación al despliegue de audio y pictogramas.

Con respecto a la dimensión analítica técnico-informática, en la primera validación surgieron algunos aspectos de usabilidad que tuvieron que ser ajustados para que la plataforma fuera mejor aceptada en la segunda validación. Estos aspectos identificados fueron la necesidad de un saludo y despedida más motivante, que los pictogramas se resaltaran de forma más grande en la pantalla así como la palabra debajo del pictograma y además que las terapias pudieran ser ajustadas sesión por sesión por parte de la persona terapeuta profesional.

Para la segunda validación, la interacción con el robot y su versión digital fue rápida y con mucha aceptación por parte de las terapeutas. Sin embargo, el tiempo de respuesta ante la pronunciación de la palabra se percibió como alto (10 segundos o más) y algunos pictogramas que están categorizados en un nivel de complejidad, fueron reubicados. Por ejemplo, pictogramas tales que a nivel internacional son de baja o mediana dificultad, las terapeutas consideraron que eran de alta complejidad para el tipo de casos que ellas llevan. Este tipo de flexibilidad es mencionado como de alta importancia para elevar la efectividad de la aplicación y la interacción con el robot.

Con respecto a la validación por parte de pacientes, no se encontró diferencia entre masculino y femenino. En ambos casos, la primera reacción fue de expectativa y miedo al tipo de ejercicio pero no a la aplicación informática o al robot en sí. El mensaje de bienvenida más amistoso fue efectivo pero todavía se menciona que debe mejorar el movimiento del robot de forma que sea más suave y hacia los lados en lugar de vertical.

Los pacientes autistas tuvieron mayor timidez ante el robot, pero al iniciar el ejercicio terapéutico en pocos minutos se sintieron cómodos y deseaban seguir jugando (en todo momento se sintieron en una actividad lúdica a pesar de que la plataforma no está diseñada como un juego). Se refirieron al robot como "el juguete" y esto ayudó a que el ejercicio con las palabras y pictogramas se percibiera de forma motivante. Todos manifestaron que les gustó "jugar con el robot" y con la aplicación.

En cuanto a la dimensión técnica-informática, varios elementos de diseño fueron

identificados para ser incorporados en la plataforma. A continuación se presenta la lista de requerimientos técnicos mencionados por terapeutas y pacientes.

Aplicación para dispositivos móviles:

1. La aplicación debe incluir un movimiento del robot diferente para cuando se hace el ejercicio y bienvenida y otro para la despedida; dejando ambos siempre visibles en pantalla.
2. A la hora de registrar pacientes, se le da botón de "asignar terapia" y debe funcionar con el menor tiempo de respuesta posible. Hay que habilitar este botón para cambiar terapia en cualquier momento como una opción de Terapeuta y no sólo al registrar pacientes.
3. El registro de pacientes no debe permitir la introducción del mismo número de identificación o pasaporte para diferentes nombres.
4. El registro de pacientes no debe permitir la introducción de identidad con formato diferente al permitido en el país. Además, no se debe permitir la introducción de números en campos de nombres y apellidos.
5. La aplicación debe guardar las terapias para revisión histórica semanal.
6. La aplicación debe permitir que el terapeuta cambie una terapia asignada a un paciente semana a semana. En la versión 1 de la plataforma no existe un botón para esta función.
7. El botón "perfil" debe activarse.
8. En la versión 1 el botón "volver" en la opción "pacientes" va a "buscar paciente". Luego de buscar llega a opciones que no funcionan. Además, se debe tener acceso a esas opciones por semana o periodo de tiempo (en semanas).
9. En la versión 1, si en el menú de "pacientes", el doctor va a cualquier opción (digamos "expediente"), al dar opción de volver, debería ir a la interfaz anterior y no llevarlo al puro inicio, o sea, no debería sacarlo de la opción "pacientes".
10. Se debe revisar funcionamiento de "set up" de Nueva Terapia. Debería funcionar igual que el programa del robot y en la opción de tipo de bloque, la opción de "personalizado" debe funcionar igual. La selección de temas debe ser multi-opción igual que con el robot y no ingresar uno por uno los temas (filtro).

11. En el "*set up*" de terapias, la opción agregar bloque debería poder repetirse cuantas veces se quiera. Igual que en el ejercicio del Robot.
12. El doctor debe poder consultar resultados por sesión, semana y ver las palabras específicas que se fallaron para analizar fonemas y formas sintácticas.
13. El doctor debe poder poner palabras específicas que quiere que aparezcan en la próxima terapia, en función de las que se fallaron en las anteriores.
14. La persona terapeuta debe poder definir letras o fonemas igual que con el robot.
15. La persona terapeuta debe poder establecer el nivel de dificultad y hacerlo múltiple igual que con el robot.
16. La persona terapeuta debe poder revisar las palabras específicas erradas con su respectiva frecuencia (por ejemplo se falló "pesquero" 2 veces de 15 palabras erradas).
17. La persona terapeuta debe tener la opción de definir que el usuario pueda tener más intentos por cada palabra que falla.

Finalmente, el doctor debe poder consultar los siguientes indicadores por semana o periodo de semanas (por ejemplo, indicar que quiere los indicadores de semana 3 a la semana 10):

1. Consulta por sesión en el periodo señalado por el doctor. Por ejemplo, si pone indicadores de semana 3 a la 8, que pueda ver indicadores globales o por sesión específica (que pueda seleccionar cuál sesión ver ya que de la semana 1 a la n, el usuario pudo conectarse 10 veces con tiempos diferentes, es decir, sesión 1 con 10 minutos, sesión 3 con 20 minutos...etc).

Por sesión o globalmente por el periodo de tiempo definido para las terapias se deben guardar:

1. Número de palabras ensayadas.
2. Número de palabras correctas y número de palabras incorrectas.
3. Efectividad = número de palabras incorrectas divididas entre número de palabras ensayadas
4. Sumatoria de tiempo total efectivo de terapia.

Se sugiere un reporte como el siguiente:

Indicadores de desempeño para: Semana 2 a Semana 10

Sesiones del periodo:

Sesión 1 20 minutos

Sesión 2 13 minutos

Sesión 3 5 minutos

Sesión 4 15 minutos

Sesión 5 20 minutos

Número de palabras ensayadas: 80

Número palabras correctas: 50

Número palabras incorrectas: 30

Efectividad del periodo: 62.5%

Tiempo total efectivo de terapia: 93 minutos

Perspectiva del paciente:

1. Botón Perfil: debe funcionar de forma consistente.
2. Botón Progreso: debe funcionar de forma consistente. Debe generar las estadísticas de efectividad de la sesión y gráfico de carrera de la efectividad de las sesiones anteriores (hasta 10 datos anteriores).
3. La versión 1.0 sólo permite un tema a la vez y pocas palabras para intentar. Además, únicamente funciona en dificultad alta con las palabras del tema "animales".
4. Guardar palabras incorrectas por sesión para que los doctores puedan revisarlas.
5. Despliegue en pantalla del "*Speech Recognition*" es mejor esconderlo y que quede el robot únicamente en la pantalla.
6. En negrilla y más grande las letras del nombre del pictograma.
7. Terminar de indexar pictogramas para trabajar con los 1800 pictogramas.
8. Los temas que se están trabajando sólo deben informarse al usuario. Eliminar

botones interactivos.

9. Opción definida por la persona profesional terapeuta en cuanto a que usuario pueda tener un segundo intento con las palabras que falla.
10. Revisar estadísticas al finalizar la sesión. Probar que se calculan bien.
11. Habilitar micrófono o "*headset*" para ciertos casos que requieren debido a debilidad en la intensidad de la voz.
12. Revisar pronunciación "*feedback*" del *app avatar* porque pronuncia muy rápido las palabras.

En cuanto a la programación del Robot:

1. Habilitar que se pueda trabajar con Botón en lugar de trabajar con tiempo (10 segundos están bien).
2. Habilitar micrófono o "*headset*" para ciertos casos.
3. Homologar con el funcionamiento de la aplicación para dispositivos móviles.
4. Acceso a estadísticas por parte de Terapeuta.
5. Despliegue de resultados del usuario al finalizar.
6. Revisar despliegue de interfaz de dificultad baja, media, alta porque lo cambia por temas.
7. Habilitar botón de "seleccionar todos" a la hora de definir letras o fonemas.
8. Revisar pronunciación "*feedback*" del robot porque pronuncia muy rápido.
9. Agilizar la parametrización. Tener la opción de copiar terapia para durar menos.
10. Hacer un movimiento más amistoso al finalizar el ejercicio. El mensaje de *feedback* del robot en cada parte del ejercicio debe ser igual al del App.

Después de esta validación en dos etapas la plataforma ha sido ajustada según los requerimientos funcionales y de usabilidad identificados y lista para probar su efectividad en una aplicación experimental de carácter clínico. Lo más importante es que ha quedado evidenciado el posible enfoque práctico de una plataforma ciber-física como esta y al ser probada con terapeutas y pacientes existe mayor confianza en que pueda convertirse en una herramienta útil en el tratamiento de diferentes tipos de dislalia.

Los investigadores pueden descargar la aplicación de dispositivos móviles (APK disponible) en la siguiente dirección URL disponible en la web:

https://drive.google.com/drive/folders/1AW_U_oTLJyjNn2F5dbqRMmN2cp6s-TlB

En el apéndice se presenta un instructivo para el uso de la aplicación.

5.2 Ejecución experimental del diseño factorial

Como se mencionó en el capítulo anterior, se procedió a la validación cuantitativa por medio de la implementación de un diseño experimental con 4 usuarios reales (réplicas) y 4 grupos.

La muestra de 16 usuarios proviene de 3 diferentes terapeutas que evaluaron previamente a los usuarios para dar seguridad de que el uso de la plataforma es pertinente para cada condición y además para lograr un trabajo equitativo entre terapeutas.

Cabe destacar que se trabajó con 18 usuarios, dejando a un paciente en el grupo usuario de "robot con aplicación para dispositivos móviles" y a otro en el grupo usuario sólo de "aplicación para dispositivos móviles". Estas dos personas trabajaron con las terapeutas directamente mientras que las otras 16 personas debían trabajar con terapeutas y con sus tutores según el grupo que se les asignó.

Posteriormente se procedió a conformar los grupos realizando una doble aleatorización, primero para seleccionar y luego para asignar a la persona seleccionada a cada grupo experimental. Todas las personas están entre los 10 años y los 21 años y se realizaron dos sesiones de información y firma de consentimientos informados por parte de usuarios y sus tutores.

En estas sesiones también se procedió a instalar y probar el software y realizar el entrenamiento en su uso, tanto a usuarios y tutores como terapeutas.

En la Figura 14 se muestra, como ilustración, el entorno de ejecución de una de estas sesiones. La aleatorización doble se ejecutó sin problemas para la asignación de usuarios a cada grupo de forma tal que el supuesto de independencia de las observaciones se cumple y la parsimonia metodológica es la requerida para no distorsionar la evidencia de homocedasticidad en el análisis de variabilidad (ANOVA) que debe ser probada en el experimento.



Figura 14. Ejecución de sesión de inducción y entrenamiento previo a la ejecución del experimento.

Además, cada usuario no tuvo interacción alguna con los demás usuarios así como ningún terapeuta tuvo interacciones con los demás para evitar que se introduzcan variables confusoras en la ejecución del experimento.

Los grupos trabajaron por 10 semanas y a lo largo de este tiempo, se ha monitoreado la plataforma para dar seguimiento a los pacientes y tutores y garantizar la validez de los datos. Se permitió que el trabajo remoto se realice con variabilidad en cuanto a frecuencia, tiempo de sesión y horario, pero las sesiones programadas con robot físico y aplicación se ejecutaron según lo planificado.

5.3 Análisis de resultados

En esta sección se presenta en análisis de resultados experimentales los cuales, cabe resaltar, se refieren a un diseño factorial 2^k ANOVA *Two Ways*, que es cíclicamente repetido a lo largo de 10 semanas.

Se trata entonces de 10 experimentos 2^k cuyos resultados son analizados desde dos perspectivas principales:

1. Las diferencias entre grupos de pacientes (que son caracterizados por los tratamientos asociados a las variables causales) en cada una de las 10 semanas con respecto a la variable de respuesta (efectividad terapéutica).
2. La evolución de la variable de respuesta en el tiempo, es decir, a lo largo de las 10 semanas de experimentación con los cuatro grupos de pacientes.

Por lo tanto, se inicia con los hallazgos de línea base, es decir, los resultados de partida que provienen de los datos recopilados en la primera semana. A partir de estos datos de la primera semana, se analiza el comportamiento de los grupos en cuanto a la mejora en su desempeño en habilidades de habla, primero en la perspectiva global de todo el experimento y posteriormente en detalle en la evolución semanal.

Los resultados del experimento de la primera semana se muestran en la Tabla 7. Como ya se mencionó, estos resultados son muy importantes porque representan el estado inicial de los grupos experimentales para posteriormente obtener conclusiones sobre los cambios que se presentaron conforme pasaron las semanas y la recopilación de datos se fue realizando.

En la primera semana, el análisis inferencial ANOVA muestra que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de igualdad en la efectividad debido al tiempo en el uso de la plataforma robótica en comparación con el uso de la aplicación de dispositivos móviles considerando un 95% de confianza estadística. Esto, por cuanto el "*p-value*" (0.33) es mayor que 0.05 cuando los datos del factor 1 (tiempo en el uso de recursos tecnológicos) se correlacionan con el escenario de robot y aplicación y el escenario de aplicación de dispositivos móviles.

Tabla 7. ANOVA Two Ways: resultados para la semana # 1

		Factor 2		
		<i>p-value= 3.89E-06</i>		
Factor 1	Medias:	Robot / App	App	Promedio Global
	2 sesiones por semana (max. 30 min)	35.692	60.509	48.101
	Tiempo sin restricciones en uso del APP	29.325	59.832	44.578
	Promedio Global	32.509	60.170	46.339
4 réplicas experimentales				
Interacción				
<i>p-value= 0.4281</i>				

p-value = 0.3300

En otras palabras, en la primera semana, la significancia estadística indica que los grupos no se diferencian en cuanto a la efectividad global de la terapia a causa del mayor o menor periodo de tiempo que haya usado ya sea el robot físico o la aplicación para dispositivos móviles que emula virtualmente el robot asistente.

Además, en esta semana de inicio, encontramos que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de igualdad en la efectividad en el uso de la aplicación para dispositivos móviles en comparación con el uso de la plataforma robótica (robot y aplicación). Esto significa que con un 95% de significancia estadística (" p -value"= 3.89E-06; inferior a 0,05), los grupos que usaron la aplicación arrancan el experimento con una mayor efectividad terapéutica.

Esto se muestra también en la Figura 15. Los datos iniciales o datos del estado actual (línea base 0), en los que se fundamentarán las conclusiones sobre la evolución de los cambios a lo largo del tiempo, indican que existe evidencia estadística suficiente para no rechazar la hipótesis de diferencia significativa (a un 95% de confianza estadística) en la efectividad terapéutica de los grupos que usaron la aplicación para dispositivos móviles en comparación con el uso de la plataforma robótica (robot y aplicación).

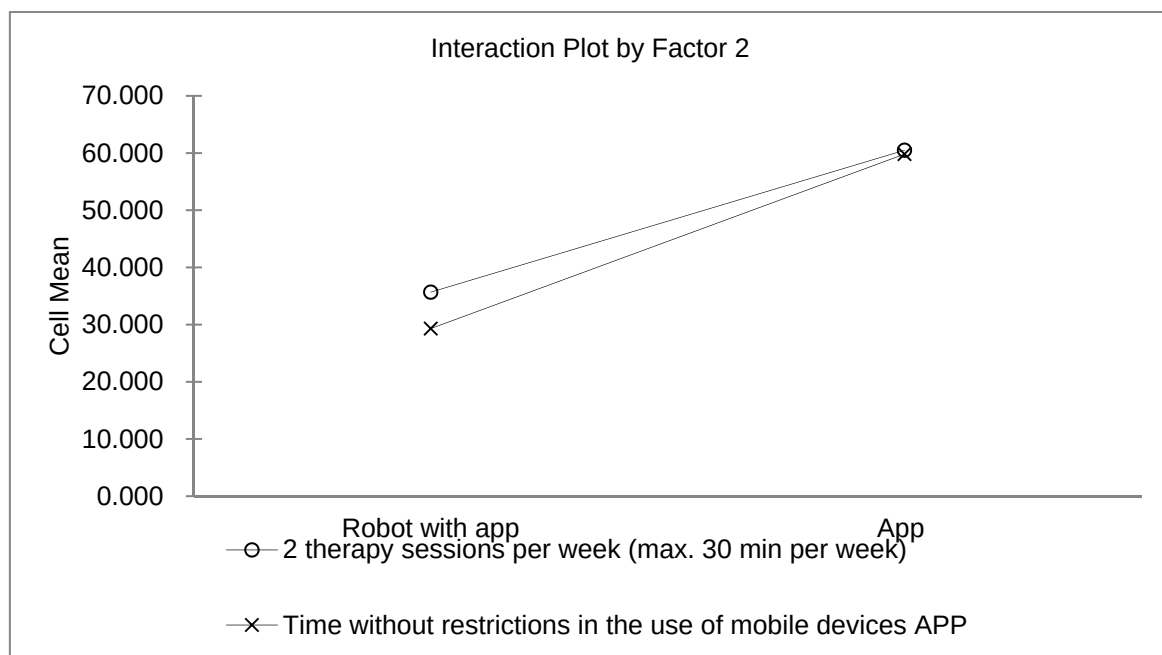


Figura 15. Salida de software para gráfica de interacción para el Factor 2: Tecnología.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de efectividad global después de las 10 semanas, en los escenarios de tiempo restringido y tiempo no restringido para los grupos que utilizaron el robot físico y la aplicación así como únicamente la aplicación para dispositivos móviles. Además, en la Figura 16 se muestra un gráfico de Cajas y Alambres construido a partir de los datos de la Tabla 8.

Tabla 8. Descriptores de la efectividad global para los grupos
Factor 1 en las 10 semanas

%Efectividad	2 sesiones por semana (max. 30 min)	Tiempo sin restricciones en uso de APP
Min=	46.37109155	44.57821718
Q1=	47.54190140	45.33687500
Mediana=	51.28782636	54.94051450
Q2=	51.85959820	57.33521570
Max=	52.40859100	57.81794750

De acuerdo con los datos de la Tabla 8, la mediana para los grupos que trabajaron con tiempo restringido se ubicó en 51.28% después de las 10 semanas mientras que para los grupos que trabajaron sin restricción de tiempo se ubicó en 54.94%.

Estos grupos comenzaron en 48.1 % y 44.58% en la semana 1 por lo que mejoraron en un 3.18% y 10.36% respectivamente en tan sólo 10 semanas de terapia y es claro que a menor restricción de tiempo la mejora es mucho mayor.

Por otro lado, la Figura 16 evidencia que los datos de los grupos que trabajaron sin restricción de tiempo en el uso de la aplicación móvil están más dispersos que los resultados obtenidos por los grupos que trabajaron con tiempo restringido y específicamente esta variabilidad es mayor en el segundo cuartil.

Sin embargo, los rangos de los grupos en ambos escenarios de tiempo son muy similares así como lo estaban en la primera semana.

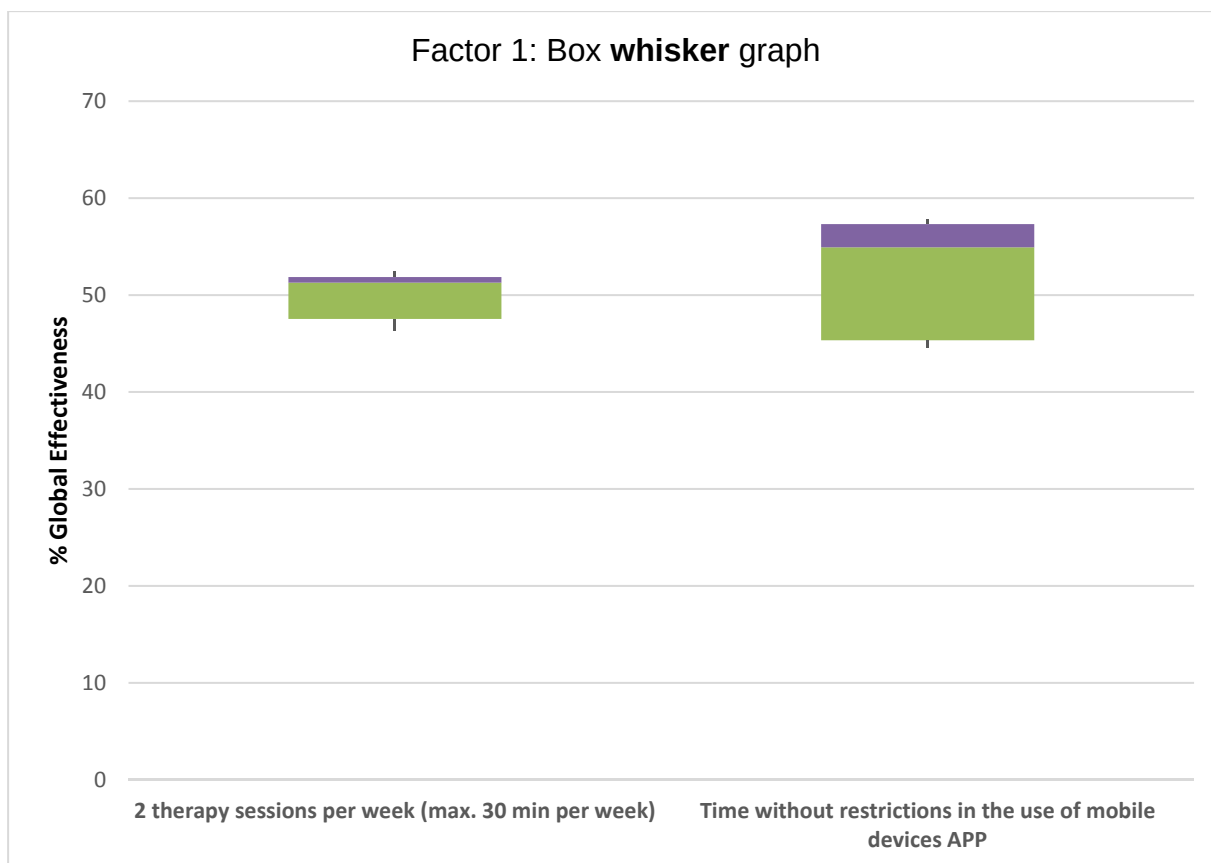


Figura 16. Salida de software para gráfica de caja y bigotes para la efectividad de los grupos del factor 1 en las semanas 1-10.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de efectividad global para los dos escenarios de uso de tecnología sin tomar en cuenta la restricción de tiempo.

Tabla 9. Descriptores de la efectividad global para los grupos
Factor 2 en las 10 semanas

%Efectividad	Robot / App	APP
Min=	32.50854673	58.9019758
Q1=	33.34312504	60.3388737
Mediana=	43.78563087	62.5072428
Q2=	45.62158458	63.536781
Max=	46.1903723	63.7132830

La mediana para los grupos que trabajaron con la plataforma completa se ubicó en 43.78% después de las 10 semanas mientras que para los grupos que trabajaron únicamente con la aplicación para dispositivos móviles se ubicó en 62.51%. Estos grupos comenzaron en 32.5 % y 60.17% en la semana 1 por lo que mejoraron en un 11.28 % y 2.34% respectivamente en tan sólo 10 semanas de terapia y es claro que el uso de la plataforma completa es mucho más efectivo que el uso de la aplicación para dispositivos móviles

únicamente.

En la Figura 17 se muestra el gráfico de Cajas y Alambres que se ha construido a partir de la Tabla 9. Se puede observar que el grupo que utilizó únicamente la aplicación se mantuvo en términos generales con una mayor efectividad que el grupo que utilizó la plataforma completa, tanto para tiempo restringido como para tiempo no restringido.

Además, el gráfico muestra que los datos de este grupo están más dispersos que los resultados obtenidos por el grupo que únicamente utilizó la aplicación y específicamente esta variabilidad es mayor en segundo cuartil. Sin embargo, estos resultados globales luego de 10 semanas de experimentación están más cercanos que los encontrados en la primera semana del estudio, lo que nuevamente evidencia la mejora lograda por el grupo que trabajó con la plataforma robótica completa.

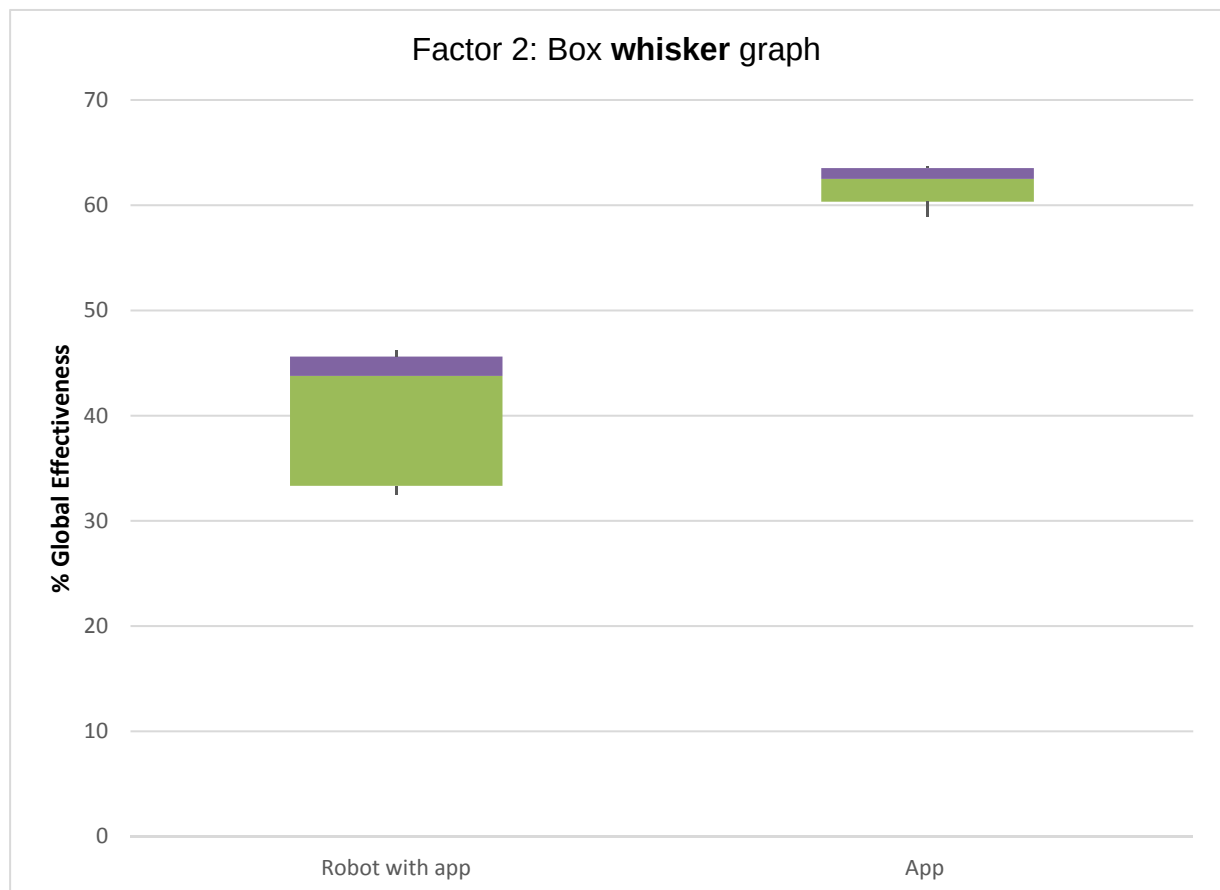


Figura 17. Salida de software para gráfica de caja y bigotes para la efectividad de los grupos para el factor 2 en las semanas 1-10.

Para obtener conclusiones estadísticamente más robustas sobre estas evidencias encontradas en los gráficos de Cajas y Alambres, se procedió a realizar una prueba no-paramétrica conocida como "Mann Whitney U Test" que permite comparar dos muestras

estadísticamente pequeñas cuando no es posible comprobar normalidad ni homocedasticidad.

Esta prueba es equivalente a la comparación de medias t-Student que se utiliza para muestras estadísticamente grandes y Levene para muestras pequeñas con normalidad. Para su realización se deben cumplir los siguientes supuestos:

1. Las dos muestras han sido extraídas de manera independiente y de forma aleatoria.
2. La escala de medición es por lo menos ordinal.
3. Las observaciones son variables ordinales o continuas.
4. Si las poblaciones son diferentes varían solamente en lo que respecta a sus medianas

Los valores del estadístico **U** se calculan como sigue:

$$U_1 = n_1 n_2 + (n_1 (n_1 + 1)) / 2 \text{ } \hat{=} R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + (n_2 (n_2 + 1)) / 2 \text{ } \hat{=} R_2$$

Donde n_1 y n_2 son los tamaños respectivos de cada muestra; R_1 y R_2 es la suma de los rangos de las observaciones de las muestras 1 y 2 respectivamente. El estadístico **U** se define como el mínimo de U_1 y U_2 .

En este caso se cumplen todos los supuestos requeridos para la prueba y la hipótesis nula es la igualdad de los grupos, es decir, el supuesto de que la efectividad terapéutica no es diferente para los grupos que trabajaron con el tiempo restringido (dos sesiones de terapia por semana, máximo 30 minutos por semana) y los grupos que trabajaron sin restricción de tiempo.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de esta prueba. Como se observa, el valor $p > \alpha$ es decir, "*p-value*" > 0.05 por lo que en este caso la hipótesis nula no se puede rechazar, lo que refuerza las conclusiones obtenidas de la Figura 16.

Por lo tanto, el valor seleccionado al azar de la población de grupo de tiempo restringido se considera igual al valor seleccionado al azar del grupo de tiempo sin

restricciones en el uso de la población de aplicaciones de dispositivos móviles.

Tabla 10. Salida de software para prueba Mann-Whitney Factor 1 en 10 semanas

n	sum of ranks	
10	92	2 therapy sessions per week (max. 30 min per week)
10	118	Time without restrictions in the use of mobile devices APP
20	210	total

105.000 expected value
13.229 standard deviation
.3447 p-value (two-tailed)

En otras palabras, la diferencia entre valores del grupo de tiempo restringido y valores del grupo de tiempo sin restricción no es lo suficientemente grande como para ser estadísticamente significativa. El "*p-value*" igual a 0.3447 establece que si rechazamos la hipótesis de igualdad, la probabilidad de error de tipo I (rechazar una hipótesis que no debe ser rechazada) sería demasiado alta (casi 35%). Cuanto mayor sea el valor p, más soporta la hipótesis de igualdad.

En la Tabla 11 se presentan los resultados de esta prueba para el Factor 2. La hipótesis nula también es la igualdad de los grupos, es decir, el supuesto de que la efectividad terapéutica no es diferente para los grupos que trabajaron el robot y la aplicación y los grupos que trabajaron únicamente con la aplicación, sin importar el tiempo de uso.

Tabla 11. Salida de software para prueba Mann-Whitney Factor 2 en 10 semanas

n	sum of ranks	
10	55	Robot with app
10	155	App
20	210	total

105.000 expected value
13.229 standard deviation
.0002 p-value (two-tailed)

A diferencia del caso anterior, se ha encontrado que " $p\text{-value}$ " < $\tilde{\alpha}$ es decir, " $p\text{-value}$ " < 0.05 por lo que en este caso la hipótesis nula se debe rechazar, lo que refuerza los resultados obtenidos de la Figura 17.

Asimismo, la diferencia entre valores de los grupos que trabajaron con el robot y la aplicación y los que lo hicieron únicamente con la aplicación es suficientemente grande o estadísticamente significativa. El " $p\text{-value}$ " igual a 0.0002 establece que si rechazamos la hipótesis de igualdad, la probabilidad de error de tipo I (rechazar una hipótesis que no debe ser rechazada) sería tan baja como el valor deseado ($\tilde{\alpha}$ = 0.05).

En la Figura 18 se presenta la efectividad global para las 10 semanas asociada al factor tiempo de exposición o uso de la aplicación informática para dispositivos móviles. Se puede observar una mejora en la efectividad aproximadamente de un 12.36 % tomando en cuenta la serie de datos completa de la semana 1 a la 10 para los grupos que no tienen restricción de tiempo y aproximadamente 8% para los grupos que usan la tecnología con la restricción de 2 sesiones por semana.

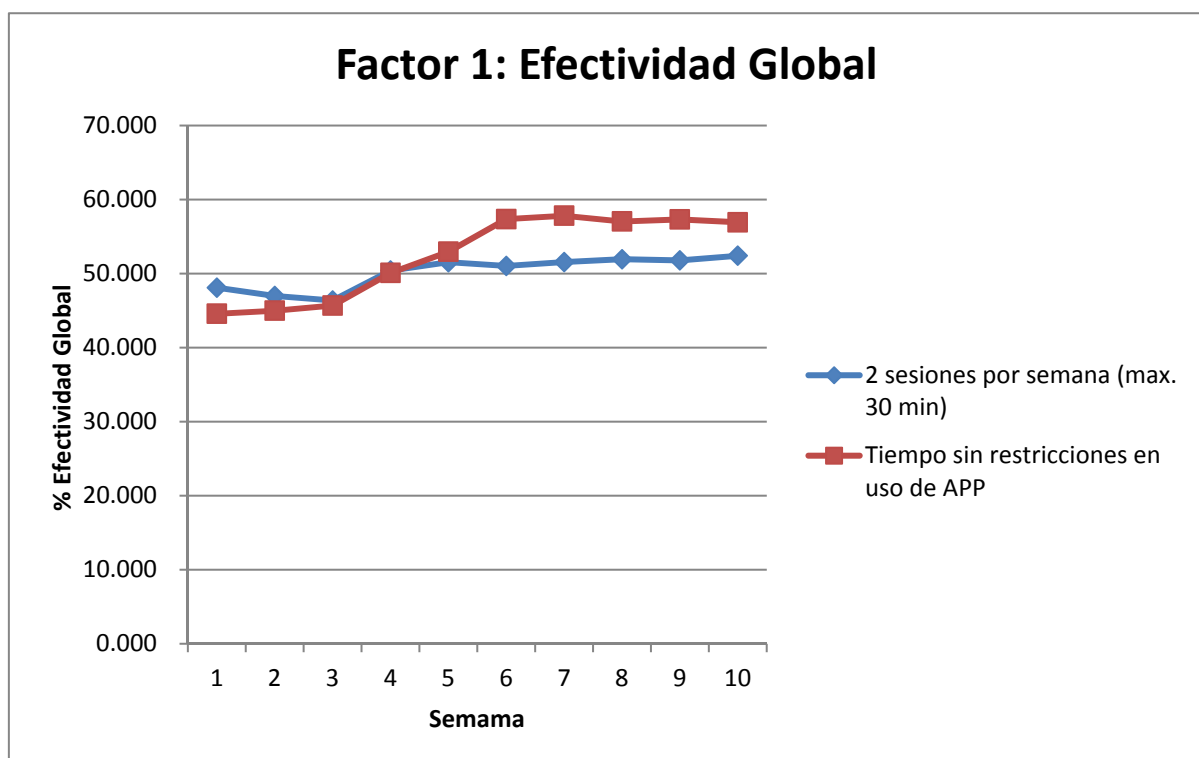


Figura 18. Gráfico de efectividad global para el factor 1 en las semanas 1-10.

Por lo tanto, se puede deducir con suficiente significancia estadística, que los grupos elevan su efectividad en habilidad de habla con el uso de la plataforma robótica siendo más marcada la tendencia de mejora para el caso de los grupos que no tienen restricción de tiempo y por lo tanto tienen mayor flexibilidad y la posibilidad de mayor práctica terapéutica.

Por otro lado, en la Figura 19 se muestra la efectividad global para el factor 2 (uso de tecnologías) y se puede observar una tendencia creciente en la efectividad de los grupos que utilizan el robot físico con la aplicación de dispositivos móviles, lo que permite un incremento aproximado de un 13.2% y que significa un resultado apreciable de mejoramiento de los pacientes de estos grupos en las habilidades de habla. En los grupos que utilizan únicamente la aplicación para dispositivos móviles la efectividad se mantiene estable, pero al ser un experimento 2k es necesario revisar la composición de la efectividad con respecto a los grupos que trabajaron con tiempo restringido versus tiempo sin restricción para establecer si existe un efecto de compensación o sesgo sistemático.

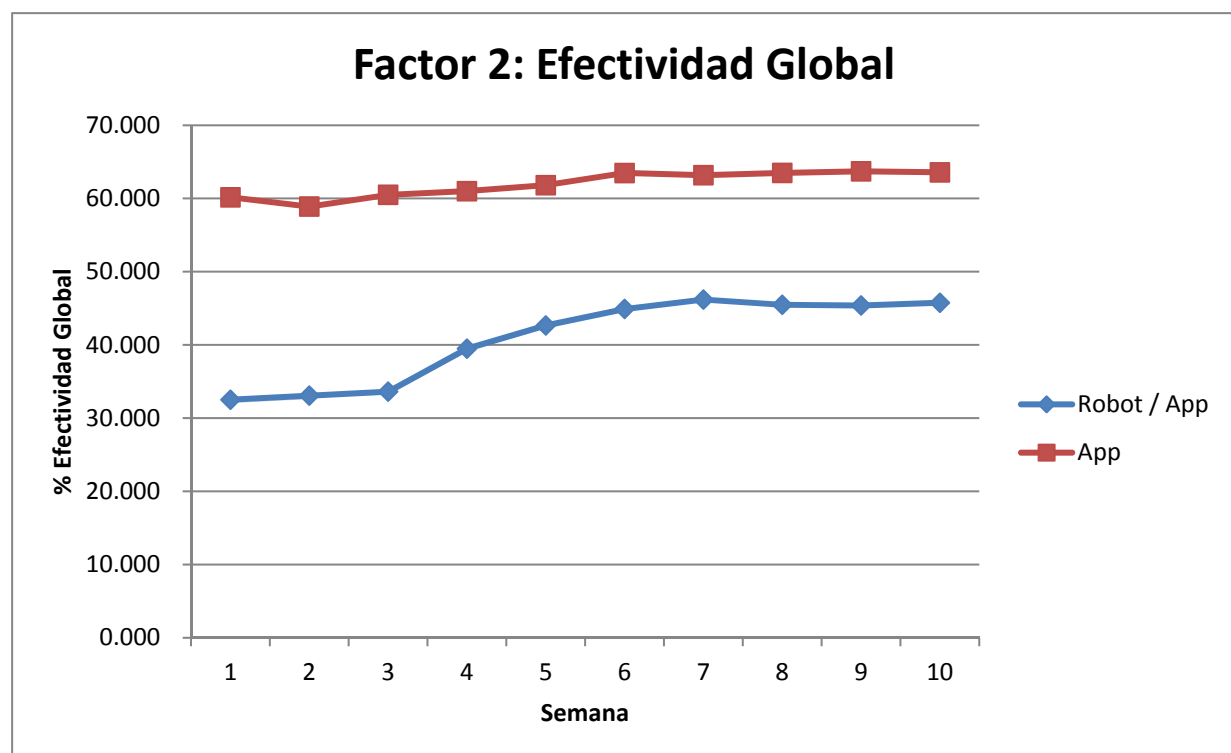


Figura 19. Gráfico de efectividad global para el factor 2 en las semanas 1-10.

En la Figura 20 se muestra la evolución de los grupos que utilizaron "robot con app" a lo largo de las 10 semanas. Se observa en los dos grupos una tendencia creciente en la efectividad para cualquier tiempo de uso y el grupo que más creció en el tiempo fue el grupo sin restricción de tiempo de uso de la plataforma (de 29.3% a 44.8% para una mejora de 15.47%).

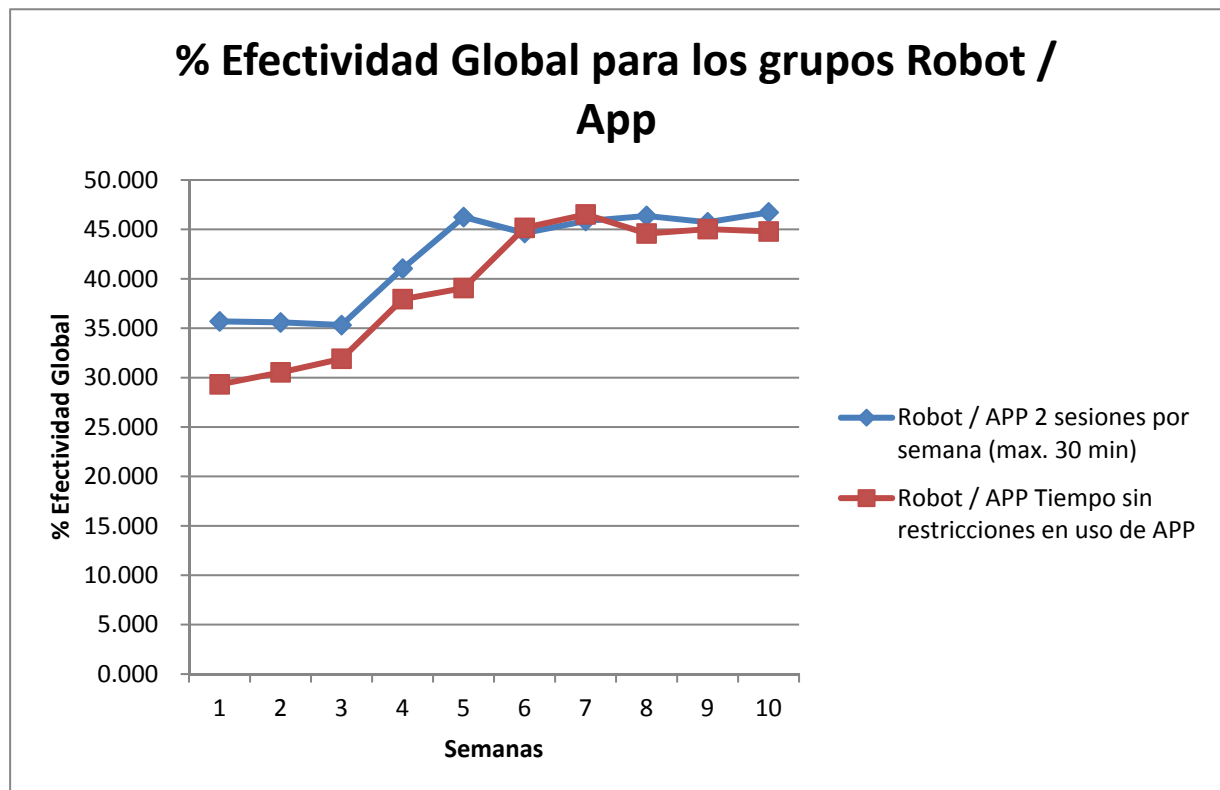


Figura 20. Gráfico de efectividad de los grupos que utilizaron robot/app en las semanas 1-10.

En el caso del grupo que trabajó con tiempo restringido, la mejora en efectividad fue un poco menor (11%) pero no deja de ser relevante que pasó de 35.7 % a 46.7% en tan solo 10 semanas.

Asimismo, en la Figura 21 se muestra la evolución de los grupos que utilizaron únicamente la aplicación con dispositivos móviles. En el caso de los grupos con el tiempo sin restricción el hallazgo es que hay una tendencia de mejora que va de 59.8% a 69%.

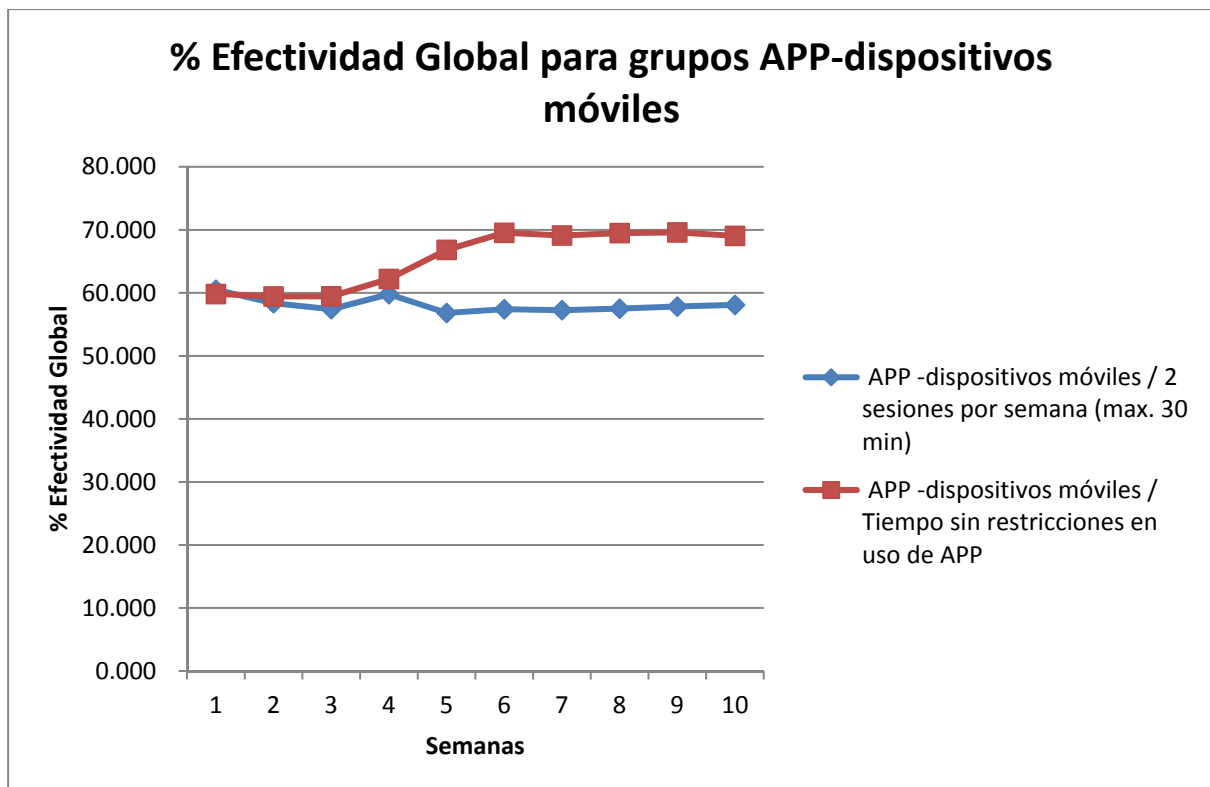


Figura 21. Gráfico de efectividad de los grupos que utilizaron únicamente la aplicación para dispositivos móviles en las semanas 1-10.

Por otro lado, la efectividad del grupo que trabajó con tiempo restringido se mantiene en el tiempo con un valor medio de 57.7% y un coeficiente de variación de sólo un 2%, es decir, el uso de la aplicación por sí solo no representa un factor que cause mejora si el tiempo es restringido e incluso de forma estocástica al no haber tendencia demostrable estadísticamente incluso en la semana 10 la efectividad global (promedio grupal) es menor que la obtenida en la semana 1 lo que no es extraño debido a que no hay tendencia y el comportamiento humano es multifactorialmente variable (Edwards, J. y Dukhovny, E., 2017).

5.4 Evolución de la efectividad terapéutica

Tal y como se mencionó al inicio de este capítulo, el análisis de la efectividad terapéutica de los cuatro grupos experimentales se fundamenta en los hallazgos iniciales de la semana 1. A partir de estos resultados, es posible valorar los cambios obtenidos vinculados a los dos factores experimentales planteados y esto es importante para contestar a una pregunta muy relevante: si se presentase algún mejoramiento en la efectividad terapéutica a partir del uso de las tecnologías desarrolladas, ¿en cuánto tiempo se pueden esperar estos cambios?

Se encontró que las semanas 2, 3 y 4 se comportaron de forma similar a la semana 1 por lo que en términos generales la evidencia estadística muestra que no existió cambio en la influencia de los dos factores causales con respecto a la variable de respuesta, en este caso, la efectividad terapéutica en los grupos.

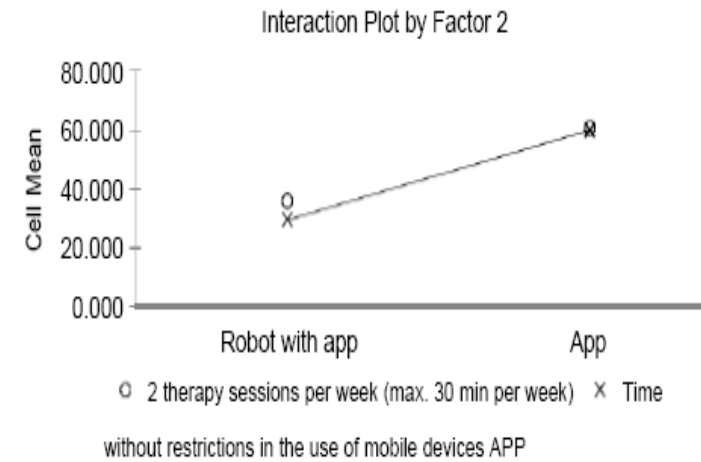
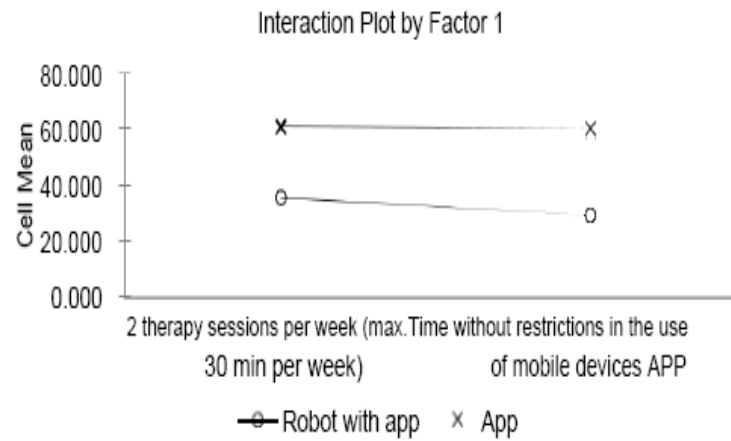
Tal y como se observa en la Tabla 12, los valores "*p-value*" de la distribución de Fisher indican que sólo existe evidencia estadística para concluir influencia en la efectividad para el factor 2, es decir, la tecnología de apoyo, en este caso el grupo de usuarios de la aplicación para dispositivos móviles posee claramente efectividades diferentes y en este caso mayores, respecto al grupo que utiliza la plataforma completa, es decir, el robot y la aplicación informática en conjunto, para cualquier cantidad de tiempo que la usen.

Tabla 12. ANOVA Two Ways: resultados para la semana # 1,2,3,4

ANOVA Resumen	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
<i>Set de Datos</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>
Factor 1	.3300	.4736	.7948	.8941
Factor 2	3.89E-06	5.73E-07	5.22E-07	1.30E-06
Interaction	.4281	.2793	.3093	.2779

En las figuras 22 y 23 se muestran los gráficos de interacción de los factores para las cuatro semanas. En este periodo de tiempo se obtuvo que, considerando un 95% de significancia estadística ("*p-value*" inferior a 0,05), los grupos que fueron asignados aleatoriamente al uso de la aplicación obtienen una mayor efectividad terapéutica con respecto los grupos que hacen uso del robot y la aplicación en conjunto para cualquier tiempo de uso, es decir, se mantienen los grupos sin cambio hasta la semana 4 respecto a la semana 1.

Semana 1



Semana 2

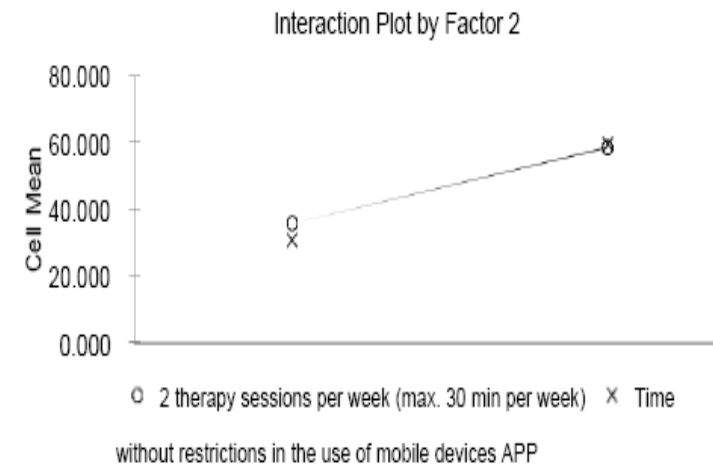
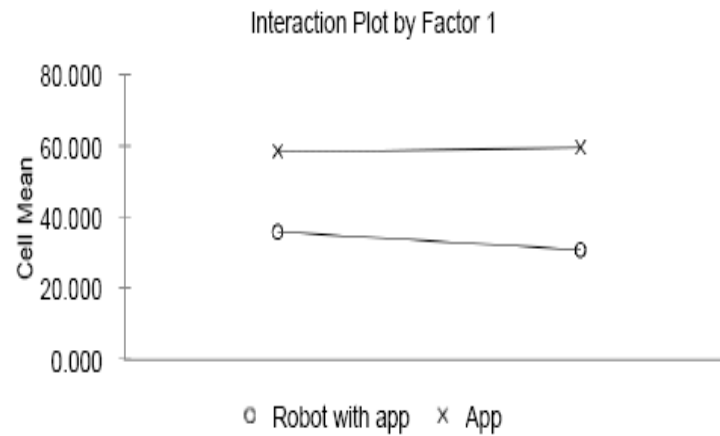


Figura 22. Gráficos de interacción para las semanas 1-2.

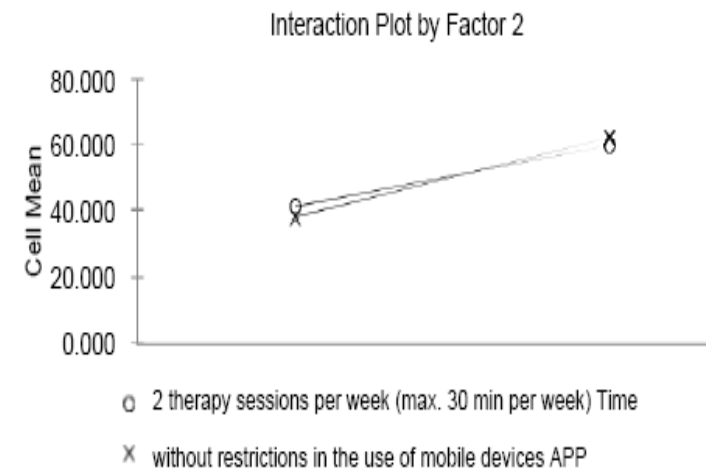
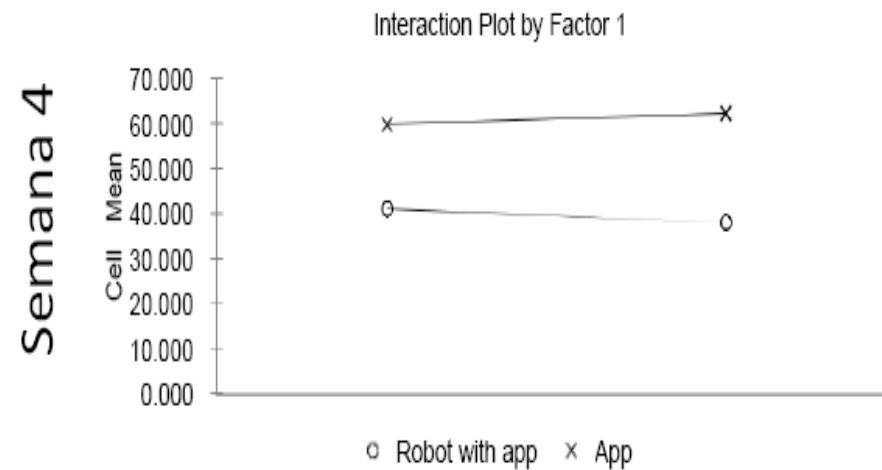
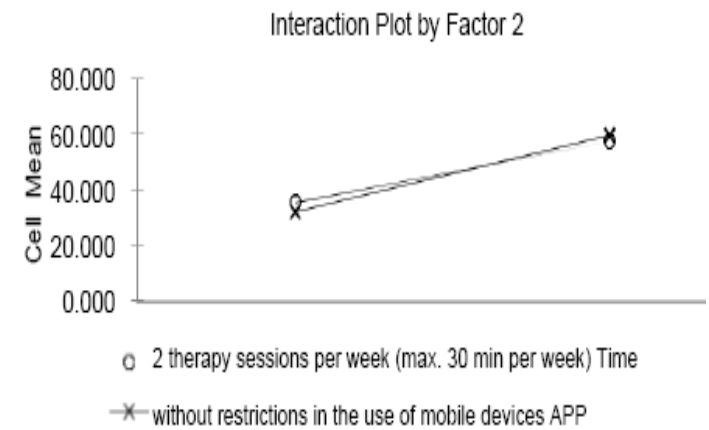
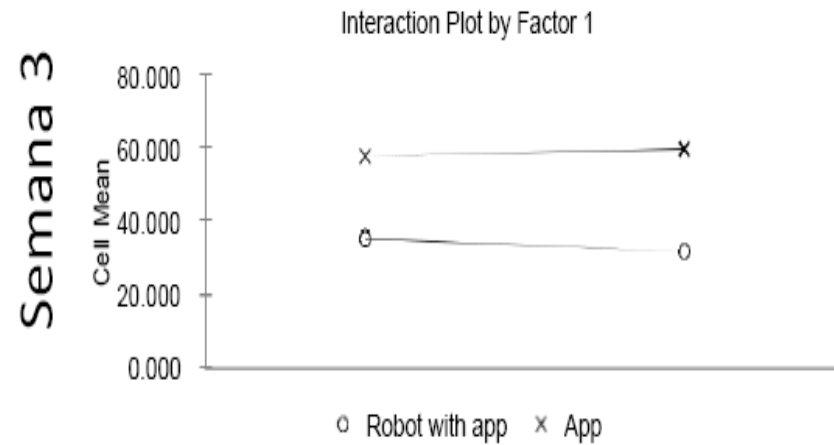


Figura 23. Gráficos de interacción para las semanas 3-4.

Asimismo, hasta la semana 4, la efectividad global calculada como el promedio de los promedios de los grupos para la variable de respuesta (efectividad) para el factor 1 (restricción de tiempo de uso de las tecnologías) muestra que la variabilidad es baja en cuanto a los resultados iniciales de estas cuatro semanas pues está entre el 44% y 50% aproximadamente para los dos tratamientos, tal y como se muestra en la Figura 24.

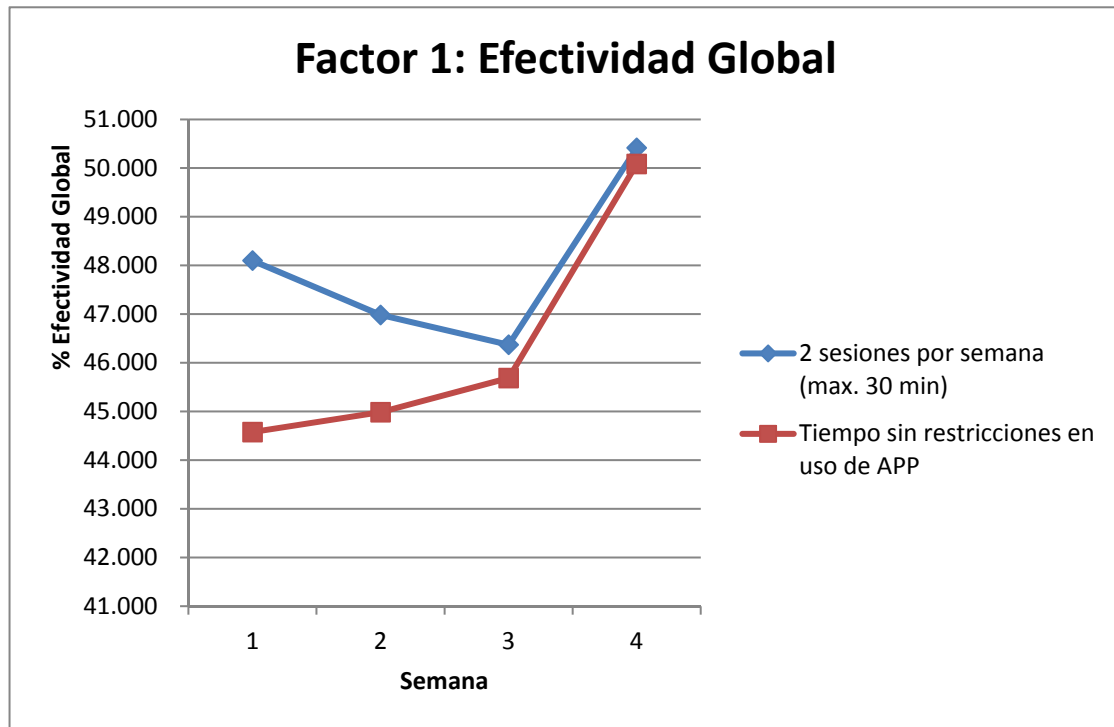


Figura 24. Gráfico de efectividad global para el factor 1 en las semanas 1-4.

Sin embargo, se evidencia una tendencia de leve crecimiento en los grupos que no tienen restricción de tiempo en cuanto al uso de la aplicación para dispositivos móviles. Adicionalmente, para el factor 2 no se muestra ninguna tendencia en la efectividad global de los grupos, ya sea los que usan el robot físico con la aplicación para dispositivos móviles o el grupo que sólo usa la aplicación, no importa el tiempo (restringido o no).

Tal y como se muestra en la Figura 25, aunque hay valores relativamente más altos en efectividad desde la semana 1 (atinente a la condición del paciente y no al tratamiento terapéutico de acuerdo con el proceso de aleatorización en la selección de las muestras) y especialmente para el grupo que sólo usa la aplicación (valores cercanos al 60% de efectividad), no se evidencia ninguna tendencia, ni positiva ni negativa para estas primeras 4 semanas.

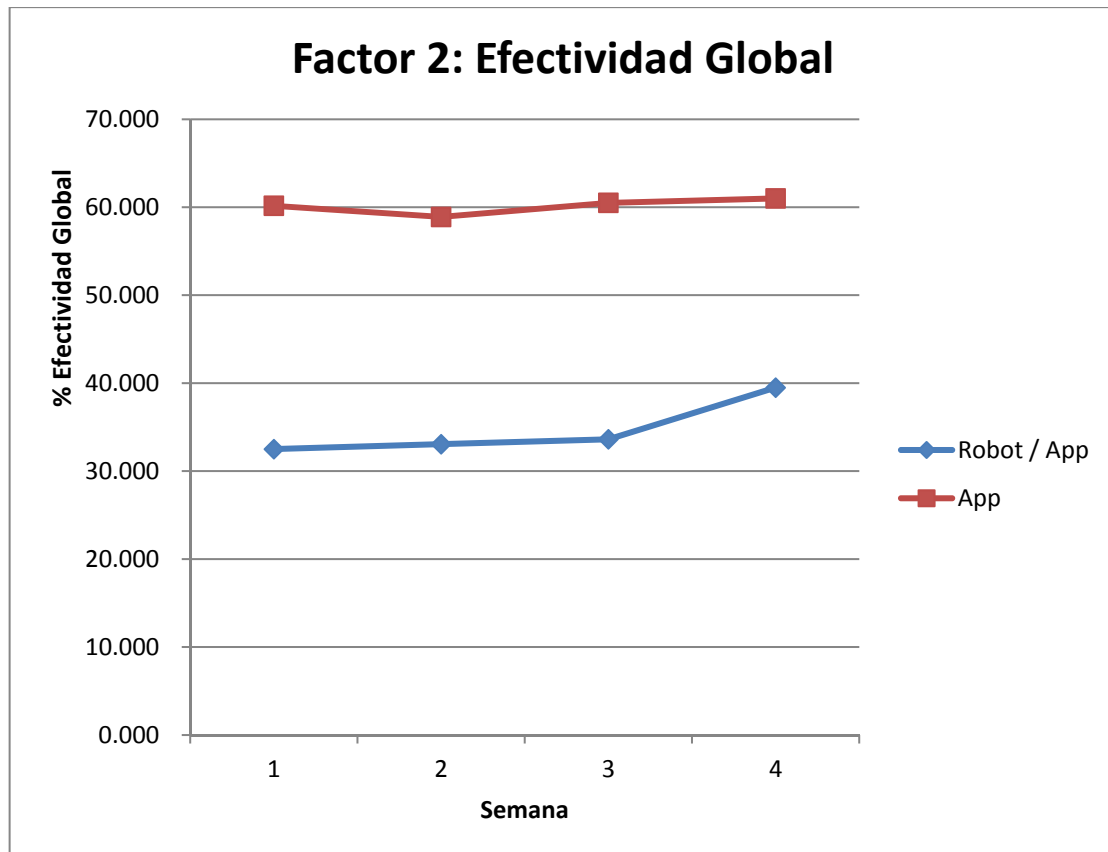


Figura 25. Gráfico de efectividad global para el factor 2 en las semanas 1-4.

A pesar de que estos datos deben valorarse con cautela debido a que cada grupo posee muestras pequeñas y el promedio es una medida sesgada de tendencia central, sí se evidencia un comportamiento de tendencia que justifica los resultados anteriormente presentados del análisis de varianza (ANOVA) hasta la semana 4.

En la semana 5 ya se evidencia un cambio de comportamiento en los grupos experimentales y esta evolución se ve más clara en las siguientes semanas hasta la semana 10. En la Tabla 13 se muestran los datos del análisis de varianza para las 10 semanas de experimentación.

Tabla 13. ANOVA Two Ways: resultados para la semana # 1 a 10.

ANOVA Resumen	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
<i>Set de Datos</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>	<i>p-value</i>
Factor 1	.3300	.4736	.7948	.8941	.5372	.0192	.0279	.0369	.0213	.0437
Factor 2	3.89E-06	5.73E-07	5.22E-07	1.30E-06	1.69E-06	4.04E-06	1.94E-05	2.64E-06	1.45E-06	1.27E-06
Interaction	.4281	.2793	.3093	.2779	.0022	.0289	.0454	.0081	.0115	.0074

El factor 1, es decir, la restricción de tiempo de exposición a la terapia por omisión, indica que no posee interacción significativa con respecto a la variable de respuesta dado que el valor "*p-value*" sigue siendo mayor que 0.05, tal y como comenzaron los grupos desde la semana 1. Sin embargo, se encuentra que existe interacción entre los factores y su efecto combinado incide en la variable de respuesta, en este caso, la efectividad terapéutica.

Así que, para la semana 5 en adelante, se ha encontrado suficiente evidencia estadística, a un 95% de confiabilidad, para no rechazar la hipótesis de diferencia entre los grupos asociados al factor 2, es decir, la tecnología utilizada. Pero además, con un 95% de confiabilidad estadística se encuentra que no se rechaza la hipótesis de diferencia entre grupos debido a la interacción de los dos factores, tecnología y tiempo de exposición a la terapia. Esto se puede observar en la Figura 26.

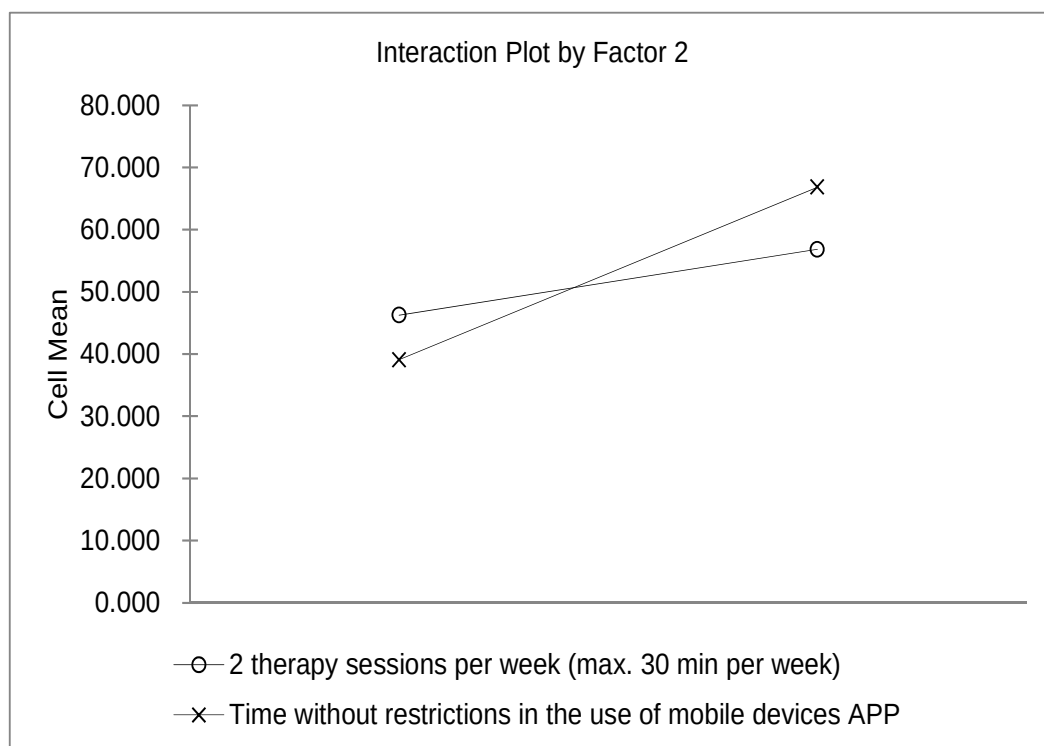


Figura 26. Salida de software para gráfica de interacción para los dos factores del experimento: Semana 5.

Sobre la intensidad de la interacción de factores, el valor "*p-value*" para la interacción de factores es 0.0022 que es obviamente bastante menor a 0.05, por lo que se puede afirmar que existe en esta semana 5 y hasta la semana 10, una interacción fuerte entre los dos factores que en conjunto influyen en la variable de respuesta.

Según lo que se muestra en la Tabla 13, en la semana 6 se observa nuevamente un cambio en el comportamiento de los grupos con respecto a la influencia del factor 1, es decir, el tiempo de exposición o uso de la aplicación informática para dispositivos móviles.

En esta semana, "*p-value*" es menor a 0.05 (0.0192) por lo que existe suficiente evidencia estadística (95% de confiabilidad) para no rechazar la hipótesis nula de diferencia entre grupos en la variable de respuesta (efectividad de la terapia). Este comportamiento de los grupos se mantiene en la semana 7, donde "*p-value*" es menor a 0.05 (0.0279) para el Factor 1.

En estas dos semanas, así como en la semana 5, el Factor 2 y la combinación de los dos factores muestran interacción significativa con respecto a la efectividad terapéutica con valores "*p-value*" menores a 0.05. Sin embargo, la intensidad de la influencia de la interacción de los factores no es muy fuerte dado que el valor "*p-value*" casi llega a ser 0.05 (0.0289 y 0.0454). Este comportamiento es estable hasta la semana 10.

Cabe destacar que a partir de la semana 5 los grupos que usan la tecnología sin restricción de tiempo tienen una tendencia creciente en su efectividad terapéutica, lo que quiere decir que mejoran para cualquier cantidad de tiempo de exposición ya sea que utilicen el robot físico con la aplicación o si únicamente usan la aplicación informática.

Para el factor "tecnología" en las semanas 5 a la 10 se presentan efectividades globales que no tienen una tendencia marcada de mejora en el caso de los grupos que utilizan únicamente la aplicación para dispositivos móviles. Adicionalmente es importante que no decrece su rendimiento sino que se mantienen igualmente con las mayores efectividades a lo largo de las 10 semanas.

Finalmente, se implementó un grupo de control con 2 pacientes (un hombre y una mujer, adolescentes) con diferentes diagnósticos de dislalia. La Figura 27 muestra la evolución de estos pacientes, seleccionados al azar en 10 semanas utilizando la forma clásica de terapia del habla, 2 sesiones por semana, 30 minutos por sesión.

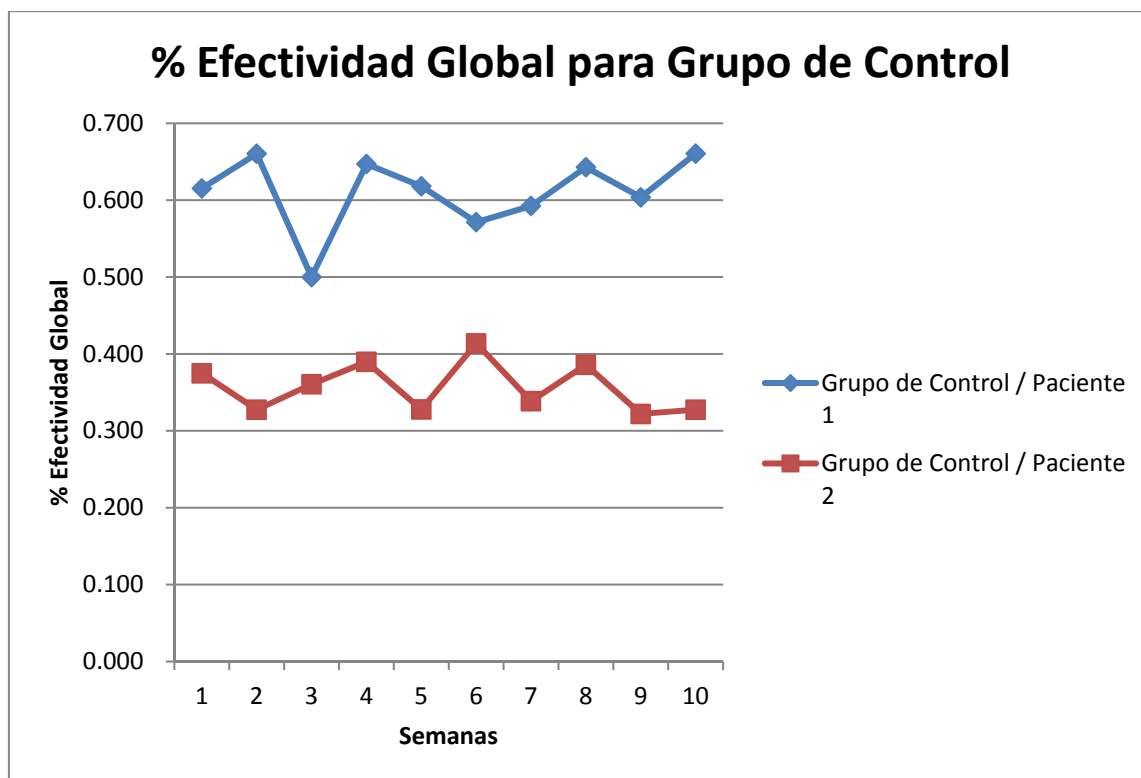


Figura 27. Efectividad de los dos pacientes del grupo de control para 10 semanas.

No se encontró ninguna tendencia en la efectividad terapéutica (positiva o negativa) en ambos pacientes durante el periodo experimental. Esto significa que el haber encontrado diferencia entre grupos a partir de la semana 5 utilizando tecnologías de apoyo es un hallazgo experimental relevante.

5.5 Las voces de las personas más allá de los experimentos

En este apartado final, se hacen explícitas algunas de las voces de las personas participantes en el experimento. Estas voces, expuestas en forma de testimonios, brindan evidencia de la percepción y comprensión de lo que implica trabajar con tecnologías de apoyo en los procesos terapéuticos. En la Figura 28 se muestra el entorno en el que se realizó la actividad de cierre del proceso experimental con un reconocimiento certificado a cada participante por el esfuerzo y mejoramiento personal logrado.

Estos testimonios han sido recopilados al final del proceso experimental, 5 días antes de realizar una actividad de cierre en la que los participantes y sus tutores, así como las profesionales en terapia de habla-lenguaje, fueron reconocidos y sujetos de agradecimiento.



Figura 28. Participantes y sus tutores en una actividad de cierre de proceso experimental. Reproducido con autorización, 2019.

A continuación se presenta la transcripción de tres testimonios de los tutores de participantes en el experimento registrados en audio:

Testimonio 1:

"Mi nombre es Sonia y mi hija se llama Ana. La experiencia ha sido excelente, Ana en tan poco tiempo y que es un proyecto, me ha avanzado excelentemente y me habla con más claridad, no dice oraciones y ahora las hace, pequeñas pero las hace. Antes no las hacía. Se expresa más, habla más clarito. Y bueno, para mí ha sido un proyecto excelente porque ella ha avanzado bastante y estoy feliz. La aplicación la he podido usar y yo he aprendido rápido a usarla y Ana no se aburre, más bien se la tengo que quitar."

Testimonio 2:

"La verdad es que este proyecto, de robótica verdad, mi hijo es más fluido en la conversación con nosotros, se comunica mejor, hablar mejor yo le entiendo mejor. Entonces, idiay, ojalá que el año próximo como él sale ya él pueda venir otra vez a esta cuestión. Esto está muy bonito y mejor bonito es que él ha empezado a hablar mucho mejor. Mi nombre es José y mi hijo se llama Juan."

Testimonio 3:

"Buenos días, mi nombre es María y soy la mamá de Luis. Para nosotros él ha avanzado bastante, este, eh, todos los días lo poníamos a practicar y él poco a poco fue avanzando y esperamos que continúe el proyecto y agradecemos mucho a todos los que han trabajado en esto y por tomarnos en cuenta."

Testimonio 4:

"Mi nombre Luisa, yo soy la mamá de Carlos, y hemos participado en este proyecto del robot y me ha parecido muy bien porque él yo ya siento como que está pronunciando mejor muchas palabras y es un éxito."

Testimonio 5:

"Soy Elsa y yo soy la mamá de Carla. Me gustó el proyecto, y a ella sí le ha costado pero ha avanzado bastante y sinceramente que sigamos adelante. "

Testimonio 6:

"Mi nombre es María; estoy muy contenta porque esta es una visión futurista con respecto al lenguaje de los niños. Me parece que si tienen perseverancia se logra avanzar muy bien y me parece excelente lo que se ha hecho y espero que el año que viene se continúe. Él tiene un lenguaje mucho más fluido y con esto de la tecnología él se entusiasma mucho más porque él era sólo el robot, el robot me dijo que estaba excelente, y que lo digo muy bien y él estaba entusiasmadísimo y la verdad es que su lenguaje ha sido progresivo y ya con lo del robot yo creo que mucho mejor. "

Más allá de los números y los procedimientos estadísticos, las voces de los participantes evidencian que la plataforma ha provocado mejoras percibidas por las personas y este impacto es sustantivo desde un punto de vista humano. Pero algo muy significativo es que la motivación de las personas contribuye con la perseverancia en el uso de la tecnología y es evidente que el trabajo con el robot puede ser muy estimulante para los usuarios.

Además, los participantes del experimento manifiestan su deseo de continuar con el proceso terapéutico utilizando estos recursos tecnológicos lo que será posible al dejar disponible la aplicación de dispositivos móviles tanto para uso del centro educativo como de las personas participantes.

Finalmente, el potencial de la plataforma robótica desarrollada ha quedado evidenciado tanto en la validación experimental como en los testimonios de usuarios y tutores.

Definitivamente no es irrelevante una anécdota significativa vivida en el desarrollo del experimento. En una de las sesiones de experimentación, se acercó una madre con su hijo de 4 años que por su condición, no había pronunciado una palabra ni con la terapeuta ni con su mamá. Tanto se interesó en el robot aquel niño que se solicitó permiso para propiciar la interacción por un momento con la idea de que se motivara y lo que sucedió es que aquel niño pronunció sus primeras intenciones de palabras con el robot como no lo hizo con nadie más. La intencionalidad de habla fue evidentemente superior a cualquier otro esfuerzo anterior y su madre derramó lágrimas sentidas al escuchar aquellos sonidos que significaban una comunicación de su hijo no escuchada antes.

Cada impacto positivo logrado en la vida de las personas que han participado en esta investigación hace que todo haya valido la pena.

Capítulo 6

Conclusiones, recomendaciones y publicaciones generadas

En este capítulo final se desarrollan las conclusiones y recomendaciones generadas en esta investigación. A partir de los datos recopilados y los hallazgos en cada fase de la investigación, se presentan deducciones y relaciones inferenciales que no solo contribuyen a generar nuevo conocimiento sino que abren nuevos intereses de investigación y también nuevos espacios de reflexión y desarrollo tecnológico.

En la Tabla 14 se muestra de forma sistematizada la forma en que los objetivos de esta investigación han sido abordados metodológicamente y una sinopsis de los hallazgos y conclusiones.

Como se puede observar, cada uno de los objetivos abre una dimensión analítica para generación de conclusiones basadas en deducción, inducción o inferencia estadística.

No obstante, cabe resaltar que gran parte del valor de esta investigación gira alrededor del diseño, implementación y validación experimental de una plataforma robótica ciberfísica de asistencia terapéutica en dislalia, centrada en habilidades de habla.

Tabla 14. Resumen de hallazgos y conclusiones de la investigación.

Objetivo general de la investigación: Aportar al conocimiento científico sobre la interacción humano-robot con fines terapéuticos de comunicación verbal en el idioma castellano comparando el uso de robots en el mundo físico y también en el virtual con flexibilidad de tiempos versus la interacción limitada a robots físicos por periodos de tiempo fijos para saber si es posible incrementar de forma relevante la efectividad terapéutica en términos de mejora de habilidades y tiempo invertido en terapia.

OBJETIVO	MÉTODO	PRINCIPALES HALLAZGOS	CONCLUSIONES
Por medio del método de revisión documental, identificar aplicaciones científicamente reportadas donde la robótica o la simulación (o emulación) virtual muestran impactos positivos en las habilidades sociales de personas con dificultades para establecer procesos de comunicación e interrelación con otros debido a factores relacionados con el lenguaje y el habla.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA / ANÁLISIS DE ESTADO DE ARTE	-La robótica asistencial busca, con mucha frecuencia, el desarrollo de robots colaborativos y gran parte de esta investigación se enfoca en mejorar los resultados terapéuticos que apuntan a la calidad de vida de las personas con diferentes tipos de trastornos especialmente en el espectro autista. -Los enfoques y los tipos de investigación aún se analizan clínicamente porque se evidencian muchos esfuerzos científicos en medios dedicados a la tecnología y la robótica en lugar de hacerlo en la práctica clínica. -El mayor porcentaje de propuestas de investigación muestra el interés por explorar las respuestas humanas a robots o las características robóticas. Además, el propósito de enseñar o practicar habilidades y proporcionar comentarios o estímulos es muy frecuente. - En gran parte de las investigaciones se reporta que si las sesiones de terapia pueden aumentarse, la evidencia muestra que la mejora en las competencias puede lograrse en un tiempo más corto.	-Algunas de las propuestas de investigación se basan en el diseño experimental, pero el estudio clínico de la causalidad en términos de beneficios de la robótica sigue siendo deficiente. -La brecha principal en la investigación científica en robótica asistencial terapéutica son los resultados poco generalizables reportados debido a que los objetivos planteados tienen un alcance exploratorio cuasi-experimental. -El propósito de buscar beneficios de la robótica como instrumento para mejorar la situación laboral de las personas con discapacidad parece ser pobre o de baja prioridad en los intereses científicos. - Se concluye que una quinta categoría teleológica en la investigación puede ser desarrollada: el propósito de estimular la relación humano-humano con el robot como instrumento de enlace de forma ciberfísica.

OBJETIVO	MÉTODO	PRINCIPALES HALLAZGOS	CONCLUSIONES
Explicar teóricamente la forma en que la tecnología robótica humanoide y el uso de la simulación (emulación) pueden integrarse para desarrollar estrategias terapéuticas socio-educativas que mejoren procesos de interrelación social de personas con dificultades para relacionarse con otras personas debido a factores relacionados con el lenguaje y el habla.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA / ANÁLISIS DE ESTADO DE ARTE	-Los trastornos del lenguaje pueden ser receptivos o expresivos y es frecuente encontrar mayores necesidades relacionadas con afasias, apraxias de todo tipo y grado (del habla, oral, fonética, etc.), disartrias de todo tipo y grado, demencias, traumatismo encéfalo-craneano, deterioros cognitivos, y envejecimiento típico. -Los esfuerzos de los desarrolladores de tecnología de soporte se centran en el diseño de aplicaciones informáticas para sistemas dedicados y han proliferado las opciones basadas en la computación en la nube y los entornos web.	Existe una gran oportunidad de impacto terapéutico por medio de plataformas robóticas ciber-físicas con enfoque en las terapias de habla que se ubican en las actividades intervención del lenguaje. Específicamente el estudio de la efectividad en el uso de un robot humanoide articulado tecnológicamente con una aplicación informática para dispositivos móviles para apoyar el trabajo de la persona que realiza la estrategia terapéutica y con el fin de fortalecer el habla y los mecanismos del lenguaje. -A pesar de la gran cantidad de soluciones informáticas, existen pocos estudios experimentales que confirmen la efectividad de las herramientas.
Definir un arquetipo robótico que describa la forma en que la robótica humanoide y el uso de emuladores robóticos virtuales pueden articularse con estrategias terapéuticas relacionadas con el lenguaje y el habla.	KANSEI ENGINEERING/ KANSEI ROBOTICS FLOW ANALYSIS	-Definición de cianotipos típicos de los rasgos fácilmente identificables del personaje ñasistente robotò. - Kansei Robotic, enfoque derivado de Kansei Engineering, como método sistemático para la caracterización de la personalidad y el comportamiento que debe ser emulado por el robot como elementos arquitectónicos para construir la relación humano-robot.	-El "Arquetipo Cero" definido como "interacción humano-robot basada en rasgos de confianza / amistad" con dos "kansei" emocionales: felicidad y sentimiento perseverante. -Programación de la plataforma robótica debe ser sustentada en movimientos no amenazantes. -Voz y movimientos que emulen motivación y mejora continua.

OBJETIVO	MÉTODO	PRINCIPALES HALLAZGOS	CONCLUSIONES
Validar experimentalmente un prototipo de programación robótica, con la integración de un robot físico humanoide y su emulación virtual, que asista en la función terapéutica para mejorar la interacción social de personas que presentan dificultades de comunicación verbal por factores asociados al lenguaje y el habla.	MODELADO Y DESARROLLO DE PLATAFORMA ROBÓTICA VALIDACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA CON PACIENTES Y TERAPEUTAS DE HABLA Y LENGUAJE REALES	-La funcionalidad de la plataforma desarrollada fue primeramente validada de forma cualitativa tanto con terapeutas como con pacientes reales. Se identificaron diversas oportunidades de mejora y la interacción del robot humano fue fácil cuando los ejercicios se percibieron como juegos con el soporte del software de dispositivos móviles integrado con el robot. -La validación cuantitativa experimental evidencia que la tendencia central de la efectividad para los grupos que trabajaron con tiempo restringido se ubicó en 51.28% después de las 10 semanas mientras que para los grupos que trabajaron sin restricción de tiempo se ubicó en 54.94%. Estos grupos comenzaron en 48.1 % y 44.58% en la semana 1 por lo que mejoraron en un 3.18% y 10.36% respectivamente en tan sólo 10 semanas de terapia; además se evidencia que a menor restricción de tiempo la mejora es mucho mayor. -La tendencia central de la efectividad terapéutica de los grupos que trabajaron con la plataforma completa fue 43.78% después de las 10 semanas mientras que para los grupos que trabajaron únicamente con la aplicación para dispositivos móviles fue 62.51%. Estos grupos comenzaron en 32.5% y 60.17% en la semana 1 por lo que mejoraron en un 11.28% y 2.34% respectivamente.	-Los sistemas inteligentes ciberfísicos, cuando se integran robots y aplicaciones para dispositivos móviles, deben basarse en variables críticas de evaluación del impacto terapéutico y no solo en funcionalidades técnicas relacionadas con el hardware y el software. -El marco teórico es esencial y es absolutamente necesario un enfoque multidisciplinario con profesionales de la salud especializados en terapia específica. -El potencial de la plataforma robótica desarrollada ha quedado evidenciado tanto en la validación experimental como en los testimonios de usuarios y tutores. -El experimento factorial completo ejecutado permite concluir que uso de la plataforma completa así como el uso de la aplicación para dispositivos móviles únicamente, mejoran la efectividad terapéutica en dislalia a un 95% de confiabilidad. Esta mejora en 10 semanas se encuentra entre el 2.34% y el 11.3%. - El uso de la plataforma completa logra mayor efectividad que únicamente usar la aplicación para dispositivos móviles.

OBJETIVO	MÉTODO	PRINCIPALES HALLAZGOS	CONCLUSIONES
		-Se encontró que las semanas 2, 3 y 4 se comportaron de forma similar a la semana 1; la evidencia estadística muestra que no existió cambio en la influencia de los dos factores causales en la variable de respuesta. A partir de la semana 5 se evidencia, a un 95% de confiabilidad, que los grupos asociados al tiempo sin restricción tienen una efectividad terapéutica significativamente mayor.	-Cuanto más tiempo se usa la plataforma completa o la aplicación para dispositivos móviles, mayor es la mejora en las habilidades de habla esperada. Y, además, esta mejora es mayor si el tiempo de uso no está restringido sino que el tiempo pueda ser flexible y en cualquier momento del día. La mejora esperada puede estar entre 3.2% y 10.4% en 10 semanas y también la tendencia es creciente en la efectividad del grupo que usó únicamente la aplicación para dispositivos móviles sin restricción de tiempo (del 59.8% al 69.1% para una mejora del 9.2%) pero el grupo con tiempo restringido no mostró una tendencia. -Estas tecnologías no muestran un cambio estadísticamente significativo las primeras 4 semanas de uso sino que es hasta la semana 5 que se presentan cambios estadísticamente significativos donde los grupos que usan la tecnología sin restricción de tiempo tienen una tendencia creciente en su efectividad terapéutica versus los de tiempo restringido. -No se identificó tendencia en la efectividad terapéutica en los dos pacientes del grupo de control en 10 semanas. Por lo tanto, el hecho de encontrar diferencia y además hacia la mejora con el uso de tecnologías sin tiempo restringido es un hecho que sustenta la necesidad de seguir investigando.

Acerca de esto y como punto de partida esencial, se ha demostrado experimentalmente (y por medio de múltiples testimonios de profesionales y usuarios) y con un 95% de confiabilidad estadística lo siguiente:

1. Las tecnologías asistenciales, tanto robóticas como de desarrollo de sistemas ciberfísicos son factores experimentales causales (estadísticamente provocan diferencia en la tendencia central) de una mayor efectividad terapéutica en dislalia con enfoque en habilidades de habla.
2. En un plazo de 10 semanas, el uso de la plataforma desarrollada puede mejorar la efectividad terapéutica en dislalia hasta un 11.3%.
3. Cuanto más tiempo se use tanto la plataforma completa o únicamente la aplicación para dispositivos móviles, mayor es la mejora en las habilidades de habla esperada. La efectividad terapéutica es significativamente mayor si el tiempo de uso no está restringido por el número de sesiones semanales sino que el tiempo pueda ser flexible y en cualquier momento del día, llegándose a una mejora de 10.4% en 10 semanas. Además, existe una tendencia creciente en la efectividad del grupo que usó únicamente la aplicación para dispositivos móviles sin restricción de tiempo (del 59.83% al 69.06% para una mejora del 9.23%) y el grupo con tiempo restringido no mostró una tendencia creciente.
4. Estas tecnologías no provocaron un cambio estadísticamente significativo durante las primeras 4 semanas de uso sino que es hasta la 5 semana que se pueden esperar cambios estadísticamente significativos.
5. En el caso de los grupos con el tiempo sin restricción el hallazgo es el uso de la aplicación por sí solo no representa un factor que cause mejora si el tiempo es restringido pero sí representa un factor que influye en la mejora terapéutica si el tiempo no se restringe y se tiene oportunidad de practicar más y con flexibilidad horaria.
6. En la primera sección de este capítulo se profundiza en estas conclusiones principales y en otras no menos importantes que están relacionadas con el proceso investigativo y la metodología experimental ejecutada. En la segunda sección, se enlistan las publicaciones generadas que han sido presentadas en medios científicos indexados y con alto índice de impacto según reportes como el

"Journal Citation Reports" (JCR).

6.1 Conclusiones y recomendaciones

Como ya se mencionó, la Tabla 14 muestra los objetivos de la investigación con sus abordajes metodológicos, los hallazgos principales asociados a cada uno de ellos y finalmente las conclusiones obtenidas de forma resumida.

Los primeros dos objetivos, permitieron la definición del enfoque epistemológico y ontológico de la investigación, su alcance y oportunidades de desarrollo tecnológico en el campo de la robótica asistencial para terapias de habla y lenguaje.

Los siguientes se centran en el objetivo general de esta investigación: aportar al conocimiento científico sobre la interacción humano-robot con fines terapéuticos de comunicación verbal en el idioma castellano comparando el uso de robots en el mundo físico y también en el virtual con flexibilidad de tiempos; versus la interacción limitada a robots físicos por periodos de tiempo fijos para saber si es posible incrementar de forma relevante la efectividad terapéutica en términos de mejora de habilidades y tiempo invertido en terapia.

En primer lugar concluimos que el desarrollo de los sistemas inteligentes ciberfísicos, cuando se integran robots y aplicaciones para dispositivos móviles, deben basarse en variables críticas de evaluación del impacto terapéutico y no solo en funcionalidades técnicas relacionadas con el hardware y el software. El marco teórico es esencial y es absolutamente necesario un enfoque multidisciplinario con profesionales de la salud especializados en terapia específica.

Además, se encontró que una forma innovadora de asistir a los profesionales terapéuticos del habla y el lenguaje, es por medio de las aplicaciones de robótica en mundos virtuales interconectados con el "mundo físico" bajo un concepto ciberfísico. Este tipo de sistemas no se usan con frecuencia y, típicamente, no se desarrollan de manera integrada y con evidencia experimental clínica de efectividad.

En una primera etapa de la investigación, se desarrolló la plataforma ciber-física a partir de un arquetipo robótico definido como "interacción humano-robot basada en rasgos de confianza / amistad" con dos "*kansei*" emocionales: felicidad y sentimiento perseverante; así como una programación sustentada en movimientos no amenazantes y atributos de voz que emulan motivación y mejora continua.

Esta plataforma fue validada primeramente de forma cualitativa tanto con terapeutas

como con pacientes reales y, en el proceso, se identificaron diversas oportunidades de mejora y la interacción del robot humano fue fácil cuando los ejercicios se percibieron como juegos con el soporte del software de dispositivos móviles integrado con el robot.

Como segunda etapa, se procedió a ejecutar una validación cuantitativa que se ejecutó exitosamente por medio de un experimento 2^k ANOVA Two Ways con dos factores: recursos tecnológicos y restricción de tiempo. La variable de respuesta es la efectividad de las plataformas en términos de resultados de la terapia del habla y calculada como el número de palabras correctamente pronunciadas dividido entre el número de palabras ejercitadas en un periodo de tiempo.

El experimento ejecutado es "factorial" completo en términos del número de variables que deben estudiarse como factores causales. Según los hallazgos experimentales a lo largo de 10 semanas, se puede deducir que el uso más intensivo de este tipo de diseño para la investigación sobre el uso de plataformas robóticas como tecnologías de apoyo con fines terapéuticos puede proporcionar evidencia más objetiva para el uso clínico de robots y aplicaciones informáticas con mayor robustez y fiabilidad.

Luego de 10 semanas de experimentación, concluimos que el potencial de la plataforma robótica desarrollada ha quedado evidenciado tanto en la validación experimental como en los testimonios de usuarios y tutores. El uso de las tecnologías desarrolladas en esta investigación mejora la efectividad terapéutica esperada y, en este caso, es posible afirmar con un 95% de confiabilidad estadística que el uso de la plataforma diseñada e implementada así como el uso de únicamente la aplicación para dispositivos móviles puede mejorar las habilidades de habla por dislalia entre un 2.34% y 11.3%. El uso de la plataforma completa logra mayor efectividad que únicamente usar la aplicación para dispositivos móviles hasta por 10 puntos porcentuales.

Cuando se analiza el tiempo de uso de la plataforma, es evidente que el tiempo de trabajo terapéutico es un factor de alta influencia en la efectividad terapéutica, por lo que el uso de dispositivos móviles en cualquier plataforma tecnológica terapéutica claramente hace una gran diferencia para los usuarios debido a que pueden practicar más tiempo y de forma flexible a la hora más conveniente para ellos.

En el caso de los grupos con el tiempo sin restricción la efectividad resultante de 59.8% a 69% a lo largo de las 10 semanas de experimentación. Por otro lado, la efectividad del grupo que trabajó con tiempo restringido se mantiene en el tiempo. Por lo tanto, el uso de

la aplicación por sí solo no representa un factor que cause mejora si el tiempo es restringido pero sí representa un factor que influye en la mejora terapéutica si el tiempo no se restringe y se tiene oportunidad de practicar más y con flexibilidad horaria.

Por lo tanto, concluimos que cuanto más tiempo se use la plataforma completa o la aplicación para dispositivos móviles, mayor es la mejora en las habilidades de habla esperada. Y, además, esta mejora es mayor si el tiempo de uso no está restringido por el número de sesiones semanales sino que el tiempo pueda ser flexible y en cualquier momento del día. La mejora esperada puede estar entre 3.2% y 10.4% y, en este caso, el experimento se llevó a cabo por únicamente 10 semanas por lo que el porcentaje de mejora puede esperarse mayor con un mayor uso de la plataforma y mayor frecuencia de uso.

Sin embargo, el uso de la plataforma completa o la aplicación para dispositivos móviles no evidencia mejoras de forma inmediata. Se encontró que no se consigue un cambio estadísticamente significativo durante las primeras 4 semanas de uso sino que es hasta la 5 semana que se pueden esperar cambios estadísticamente significativos.

En este caso, los grupos que usaron la tecnología sin restricción de tiempo presentaron una tendencia creciente en su efectividad terapéutica respecto a los que la usan con tiempo restringido. En los dos grupos que utilizaron el robot físico y la aplicación, se encontró una tendencia creciente en la efectividad para cualquier cantidad de tiempo de exposición y el grupo que más creció en el tiempo, especialmente a partir de la semana 5, fue el grupo sin restricción de tiempo de uso de la plataforma (de 29.7% a 44.8%). En el caso del grupo con la plataforma completa pero con tiempo restringido, la mejora en efectividad fue un poco menor pero no deja de ser relevante que pasó de 35.7 % a 46.7%.

Por otro lado, la interacción de los factores estudiados, es decir, tecnología y tiempo de uso o exposición a la terapia, con el tiempo se fue haciendo estadísticamente significativa en cuanto su influencia en la efectividad o mejora terapéutica. Es decir, nuevamente resultó que a mayor uso de la tecnología por más tiempo, se fue obteniendo una mayor mejora en la efectividad.

Después de las pruebas estadísticas de comparación de grupos, se concluye que la efectividad terapéutica es estadísticamente diferente entre los grupos que trabajaron el robot y la aplicación y los grupos que trabajaron únicamente con la aplicación, sin importar el tiempo de uso. En este caso, la diferencia entre valores de los grupos que trabajaron con el robot y la aplicación y los que lo hicieron únicamente con la aplicación es suficientemente grande o

estadísticamente significativa, especialmente si usaron la tecnología de apoyo sin tiempo restringido.

Cabe destacar que se implementó un grupo de control con 2 pacientes (un hombre y una mujer, adolescentes) con diferentes diagnósticos de dislalia, seleccionados al azar en 10 semanas utilizando la forma clásica de terapia del habla, 2 sesiones por semana, 30 minutos por sesión. No se encontró ninguna tendencia en la efectividad terapéutica (positiva o negativa) en ambos pacientes durante el periodo experimental.

Por lo tanto, concluimos que el uso de la plataforma o el uso de la aplicación para dispositivos móviles es un factor que experimentalmente confirma causalidad y en este caso influencia positiva con respecto a la variable de respuesta o efectividad terapéutica.

Los diseños factoriales como el ejecutado en esta tesis doctoral son raros en la literatura sobre investigación en terapia de habla y lenguaje con aplicaciones robóticas.

Sin embargo, concluimos que este tipo de experimentos y específicamente los diseños factoriales completos de 2k son muy prácticos y altamente aceptados cuando se realizan estudios comparativos y exploratorios en el campo de la terapia del habla y del lenguaje, especialmente cuando se puede cumplir con los requisitos estadísticos.

Muchos testimonios de los participantes evidencian que la plataforma ha provocado mejoras percibidas por las personas y este impacto es sustantivo desde un punto de vista humano.

Algo muy significativo es que la motivación de las personas contribuye con la perseverancia en el uso de la tecnología y es evidente que el trabajo con el robot puede ser muy estimulante para los usuarios.

Asimismo, es muy recomendable que la misma plataforma envíe avisos a los usuarios y sus tutores cuando no se han efectuado entradas en el sistema por un largo tiempo, de forma tal que se use más frecuentemente la tecnología y por más tiempo.

Finalmente, después de realizar esta investigación, se encontró que una gran oportunidad en el futuro es mejorar y validar clínicamente el uso de esta plataforma con experiencia de realidad virtual y en combinación con un gemelo digital del robot físico para mejorar la experiencia de la vida real de los usuarios.

6.2 Publicaciones generadas

En esta investigación se han generado las siguientes publicaciones:

1. Artículos en revisión para ser publicados en revistas científicas:

Eldon Glen Caldwell Marín, Carlos Andrés Morales, Emilia Solis Sanchez, Miguel Cazorla and Jose Maria Cañas Plaza. Designing a Cyber-physical Robotic Platform for a Speech-Language Therapy. Submitted for Journal of Assistive Technology, 2019 (JCR 2018 Q3).

Eldon Glen Caldwell Marín, Carlos Andrés Morales, Emilia Solis Sanchez, Miguel Cazorla and Jose Maria Cañas Plaza. The effectiveness analysis of a Mobile Devices and Assistive Robotics Platform for Speech-Language Therapy. Submitted for Journal of Assistive Technology, 2019 (JCR 2018 Q3).

2. Artículos publicados en Conferencias Internacionales:

Caldwell E., Cazorla M., García J., Azorin J., Zamora M. An exploratory critical review on assistive robotics applied to autism spectrum: employability challenges. Paper presented at the 2017 International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), Bristol, UK, July 24-25, 2017.

Caldwell E., Zamora M., Ferrández Rodríguez Antonio. Improving DFR Models for Information Retrieval in Cognitive Contexts by Adjusting the Documents Length Normalization. Paper presented at the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), Bali, Indonesia, January 7-9, 2014.

Apéndice

Instructivo de parametrización y uso de la aplicación para dispositivos móviles para terapia de habla/lenguaje

1.0 Objetivo	Ejecutar la aplicación robótica asistente de terapia de habla/lenguaje para dislalia de forma personalizada para cada paciente y de forma controlada para mejorar la efectividad terapéutica.
2.0 Alcance	La aplicación ejecuta la terapia de habla únicamente para pacientes registrados por los terapeutas y con terapias específicas definidas.
3.0 Desarrollo	
	¿Quién es el responsable? Terapeuta
3.1 Validación usuario y clave.	¿Qué hay que hacer? Ingresar usuario de prueba: doc.pruebas@doctores.com Ingresar clave: 123456 Nombre de terapeuta prueba: DocPruebas Tipo de Usuario: Doctor
	¿Quién es el responsable? Terapeuta
3.2 Registrar pacientes	¿Qué hay que hacer? Seleccionar "nuevo paciente" Registrar ID (mínimo 9 dígitos, ya se ha registrado ejemplo con ID 202220222) Registrar Nombre (ya está registrado ejemplo "Paciente1") Registrar Apellido (ya está registrado ejemplo: "Prueba1") Registrar correo (ya está registrado ejemplo: paciente1.prueba1@pacientes.com)
	¿Quién es el responsable? Terapeuta
3.3 Asignar terapia	¿Qué hay que hacer? Seleccionar opción "asignar terapia inmediatamente" Seleccionar opción "Registrar" Registrar "número de palabras" máximo que serán evaluadas Registrar tiempo de terapia en minutos Registrar cantidad de sesiones semanales Seleccionar las veces que las palabras incorrectas pueden repetirse según condición del paciente Seleccionar el nivel de dificultad de las palabras (pueden seleccionarse varias dificultades)

		Seleccionar las letras y fonemas que serán evaluados en la terapia. Existe la opción de seleccionar la opción "todas las palabras" y luego eliminar las que se desee.
	¿Quién es el responsable?	Terapeuta
3.4 Agregar bloque (validación de inclusión de tema de palabras)	¿Qué hay que hacer?	Seleccionar temas asociados a la palabras a evaluar: primero se selecciona el bloque de palabras y luego el tema. Para cada tema seleccionado se debe aplicar la opción con la función "agregar bloque". En ese momento el tema seleccionado se despliega en la pantalla. Repetir el ciclo cuantas veces se quiera agregar temas de palabras y fonemas.
	¿Quién es el responsable?	Terapeuta
3.5 Finalizar parametrización de terapia	¿Qué hay que hacer?	Finalizada la parametrización se debe seleccionar la opción "Finalizar Terapia" para que esté lista para uso del paciente. Al finalizar la terapia se despliega en pantalla un mensaje de confirmación "Terapia agregada correctamente!". Al aparecer el mensaje seleccionar la opción "aceptar". Cuando la terapia está definida seleccionar la opción "volver"
	¿Quién es el responsable?	Terapeuta
3.6 Buscar Información y datos del paciente	¿Qué hay que hacer?	En cualquier momento se puede buscar un paciente por su número de cédula para consultar su información asociada y reportes. En la aplicación de prueba, un ejemplo ha sido introducido para uso de prueba con el número de identificación: 202220222. En ese momento se despliegan las palabras fallidas, la opción de generación de reportes, información general y se brindan las opciones de crear terapia o asignar una terapia creada anteriormente.

3.7 Validar datos como paciente	¿Quién es el responsable?	Paciente
		Ingresar usuario de prueba: paciente1.prueba1@pacientes.com Ingresar clave: 123456
	¿Qué hay que hacer?	Nombre de terapeuta prueba: DocPruebas Tipo de Usuario: Paciente Se despliega en una esquina de la "interfaz" el nombre del paciente y debajo en nombre del doctor.
3.8 Ejecución de terapia	¿Quién es el responsable?	Paciente
	¿Qué hay que hacer?	Seleccionar opción "Jugar". Se ejecuta un audio para comenzar a practicar. Seleccionar opción "Comenzar". Se despliegan los temas asignados y un botón de inicio de juego. Al dar "click" al botón de inicio un pictograma con la palabra debajo de este se despliega y si el paciente ya está listo para pronunciar, el botón "intentar" debe ser seleccionado. Si la pronunciación es correcta, el usuario recibe un audio de realimentación para que continúe con la siguiente palabra o para que la repita según corresponda. En todo momento se puede detener el ejercicio seleccionando la opción "detener". Si se desea salir del ejercicio se selecciona la opción "cancelar".
3.8 Consulta de información por parte del paciente	¿Quién es el responsable?	Paciente
	¿Qué hay que hacer?	El paciente puede consultar su gráfica de progreso conforme tiene ingresos en la aplicación. Además puede consultar sus datos de perfil. Esto se realiza en las opciones respectivas de "Progreso" y "Perfil".
4.0 Instalación	La aplicación funciona en sistema Adroid 9 o superior; Red 4G, 20GB o superior. APK: https://drive.google.com/drive/folders/1AW_U_oTLJyJnN2F5dbqRMmN2cp6s-TIB	

Referencias bibliográficas

ASAH (American Speech-Language Hearing Association), Aphasia Definitions. Disponible en: <http://www.asha.org/public/speech/disorders>, 2018.

Begum M., Serna R.W., Yanco H.A., Are Robots Ready to Deliver Autism Interventions? A Comprehensive Review, *International Journal of Social Robotics*, vol. 8, no. 2, pp.157-181, 2016.

Bidin S. A. H., Lokman A.M., Wan Mohd W.A.R. and Tsuchiya T., Initial Intervention Study of Kansei Robotic Implementation for Ederly, *Proccedings of 2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016, Elsevier Publications-Procedia Computer Science*, vol 105, pp. 87-92, 2013.

Cabibihan J.J., Javed H, Ang M Jr., Aljunied S.M., Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism, *International Journal on Social Robotics*, vol. 5, no. 4, pp.593-618, 2013.

Calderita L.V., Bustos P., Mejías C., Suarez Fernandez F., Viciano R., & Bandera A., Socially Interactive Robotic Assistant for Therapies. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol.1, no.1, pp. 99-110, 2015.

Calderita, L. V., Manso L. J., Bustos P., Suárez-Mejías C., Fernández F. and Bandera A., THERAPIST: towards an autonomous socially interactive robot for motor and neurorehabilitation therapies for children, *JMIR rehabilitation and assistive technologies*, vol.1, no.1, e1, doi: 10.2196/rehab.3151, 2014.

Caldwell, E., Zamora, M., García, J., Azorín, J., Cazorla, M.: An exploratory critical review on assistive robotics applied to autism spectrum: employability challenges. In: *International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management IEOM-BRISTOL-UK*. pp. 86-96. IEOM Society, 2017.

Chaminade T., Fonseca D.D., Rosset D., Lutscher E., Cheng G., Deruelle C., FMRI study of young adults with autism interacting with a humanoid robot, In: *RO-MAN, IEEE International symposium on robot and human interactive communications*, vol.1, pp. 380-385, 2012.

Cho Seong-Jin & Ahn Dong Hyun, Socially Assistive Robotics in Autism Spectrum Disorder, *Hanyang Medical Review*, vol.36, no. 1, pp.17-26, 2016.

Collins L.M., Dziak J.J., Li R., Design of Experiments with Multiple Independent Variables: A Resource Management Perspective on Complete and Reduced Factorial Designs, *Psychology Methods*, Vol.14, no.3, pp 202-224, 2009.

Costa S., Lehmann H., Dautenhahn K., Robins B. and Soares F., Using a Humanoid Robot to Elicit Body Awareness and Appropriate Physical Interaction in Children with Autism, *International Journal of Social Robotics*, vol. 7, no. 2, pp. 265-278, 2015.

Costescu C.A., Vanderborght B., David D.O., Reversal learning task in children with autism spectrum disorder: a robot-based approach, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 45, no. 11, pp. 3715-3725, 2015.

Creswell J.W. & Creswell J.D. *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*, 5th Edition, USA, 2017: Sage Publications.

Cruz Ardila J. C., Salazar Y. A., Robotics Application for children with autism therapy. In: *LACCEI Conference for Engineering and Technology*, vol.1, pp.234-244, 2015.

Diehl J.J., Crowell C.R., Villano M., Wier K., Tang K., Riek L., Clinical applications of robots in autism spectrum disorder diagnosis and treatment. In: *Comprehensive guide to autism*, pp. 411-422, Springer International Publishing, New York, USA, 2014.

Diehl J.J., Schmitt L. M., Villano M, Crowell C.R., The Clinical Use of Robots for Individuals with Autism Spectrum Disorders: A Critical Review, *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 6, no.1, pp. 249-262, 2012.

Edwards, J. and Dukhovny, E. Technology training in speech-language pathology: A focus on tablets and apps. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, 2 (10): 33-48, 2017.

Flagge-Moreno N., Trastornos del lenguaje: diagnóstico y tratamiento. *Revista Neurología*, vol. 57, no. 1, pp 85-94, 2013.

García-Vergara S., Brown L., Park H.W. & Howard Ayanna M., Engaging Children in Play Therapy: The Coupling of Virtual Reality Games with Social Robotics. In: *Technologies of inclusive wellbeing*, Chapter 8, pp. 139-163, Springer International Publishing, New York, USA, 2014.

Glogowska M., Paradigms, pragmatism and possibilities: mixed-methods research in speech and language therapy, *International Journal of Language and Communication Disorders*, vol.46, no. 3, pp 1-10, 2011.

Gutiérrez Pulido H. & De La Vara Salazar R. *Análisis y Diseño de Experimentos*, 3ra Edición, McGraw-Hill, México, 2012.

Harley, W. F., Jr and Harley, W. F. The Effect of Hypnosis on Paired-Associative Learning. *Journal of Personality*, vol. 36, no. 6, pp. 147-172, 1968.

Huijnen C.A.G., Lexis M.A. S., Jansens R., De Witte L.P., Mapping Robots to Therapy and Educational Objectives for Children with Autism Spectrum Disorder, *Journal of Autism and Developmental Disorders.*, vol. 46, no.6, pp. 2100-2114, 2016.

Ibarra-L Villalobos J., Ruiz-Allec L.D., Arrieta-Díaz H, Leos-Ostoa Y., Terapia de lenguaje oral y comunicación aumentativa y alternativa en pacientes con parálisis cerebral espástica, *Revista Mexicana de Comunicación, Audiología, Otoneurología y Foniatría*, vol. 5, no. 2, pp 47-52, 2016.

Jackson M. & Cox D. R., *The Principles of Experimental Design and Their Application in Sociology*, *Annual Review of Sociology*, vol. 39, no. 1, pp. 27i 49, 2013.

Kim E.S., Berkovits L.D, Bernier E.P., Leyzberg D., Shic F., Paul R., Scassellati B., Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism, *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 43, no. 5, pp. 1038i 1049, 2013.

Kirk R. E., Completely Randomized Factorial Design with Two Treatments, In: *Experimental Design Procedures for the Behavioral Sciences*, pp. 364-375, SAGE Publications, USA, 1982.

Kuehl R. O., *Diseño de Experimentos: Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*, 2da edición, Thompson Learning., México, 2001.

Lewison G. & Carding P., Evaluating UK research in speech and language therapy, *International Journal of Language and Communication Disorders*, vol.38, no. 1, pp 65-84, 2003.

Liu, L., Li, B., Chen, I.-M., Jui Goh, T., & Sung, M., Interactive robots as social partner for communication care. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2231-2236, Hong Kong, China, 2014.

McKinnon D., McLeod S. & Surt Ch. The Prevalence of Stuttering, Voice, and Speech-Sound Disorders in Primary School Students in Australia, *Language, Speech and Hearing Services in Schools*, vol. 38, no. 1, pp 5i 15, Melbourne, Australia, 2007.

Medina Varela P. D. & López Reyes A. *Análisis Crítico del Diseño Factorial 2k sobre*

casos aplicados. *Scientia Et Technica*, vol. 17, núm. 47, pp. 101-106 Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia, 2011.

Montgomery, A.A., J., P.T., Paul, L.: Design, analysis and presentation of factorial randomised controlled trials. *BMC Medical Research Methodology*, vol. 3, no. 1, pp. 26-42, 2003.

Montgomery D. C., *Análisis y diseño de experimentos*, Segunda Edición, Editorial LIMUSA-Wiley, México, 2002.

PAHO. Plan of Action for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases in the Americas 2013-2019, Washington, USA, WHO publications, 2014.

Pakrasi, I.: Towards expressive mobile robots. Thesis, Graduate College of the University of Illinois, Urbana-Champaign, USA, 2018.

Pakrasi, I. and Chakraborty, N., LaViers, A.: A design methodology for abstracting character archetypes onto robotic systems. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Movement and Computing ACM*, pp. 24-37, 2018.

Pennington R., Saadatzi M.N., Welch K.C., Scott R., Using robot-assisted instruction to teach students with intellectual disabilities to use personal narrative in text messages, *Journal of Special Education Technology*, vol. 29, no. 4, pp.49-58, 2014.

Pierno A., Mari M., Lusher D., Castiello U., Robotic movement elicits visuomotor priming in children with autism, *Neuropsychologia*, vol.31, no.1, pp. 448-454, 2008.

Pulido J.C., González J.C., Suárez-Mejías C., Bandera A., Bustos P., Fernández F., Evaluating the child-robot interaction of the NAOTherapist platform in pediatric rehabilitation, *International Journal of Social Robotics*, vol. 9, no. 3, pp.343-358, 2017.

Robins B. and Dautenhahn K., Tactile interactions with a humanoid robot: novel play scenario implementations with children with autism, *International Journal of Social Robotics*, vol. 6, no. 1, pp.397-415, 2014.

Raul, F., Ahya, A., Differentiating Language Difference and Language Disorder: Information for Teachers Working with English Language Learners in the Schools. *Journal of Human Services: Training, Research and Practice*, vol. 2, no. 1, pp 2-17, 2017.

Rowe J.P., Ha E.Y., Lester J.C., Archetype-Driven Character Dialogue Generation for Interactive Narrative. In: Prendinger H., Lester J., Ishizuka M. (eds) *Intelligent Virtual Agents*. IVA 2008. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 5208. Springer, Berlin,

Heidelberg, 2008.

Saltuklaroglu T., Kalinowski J., Robbins M., Crawcour S. and Bowers A., Comparisons of stuttering frequency during and after speech initiation in unaltered feedback, altered auditory feedback and choral speech conditions, *International Journal of Language and Communication Disorders*, vol.44, no. 6, pp 1000-1017, 2009.

Sánchez Martin C., Lan Yu Ju & Lin Tsung-Ju, Learning, engagement and virtual worlds: Virtual worlds pedagogy and learning design, *IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies*, Athens, Greece, 2014.

Scassellati B, Admoni H, Mataric M., Robots for use in autism research, *Annual Review of Biomedical Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 275i 294, 2012.

Scassellati, B., & Tsui, K., Co-robots: Humans and robots operating as partners. In: Bainbridge W., Roco M. (eds) *Handbook of Science and Technology Convergence*, Springer International Publishing Switzerland, pp. 427i 439, 2016.

Sedgwick P., Randomised Controlled Trials with full factorial designs, *British Medical Journal Statistical Questions-Answer BMJ* 2012, 345:e5114, descargado de <https://www.bmj.com/content/345/bmj.e5114.full>, 27 Diciembre 2018.

Shamsuddin S., Yussof H, Ismail L, Hanapiah FA, Mohamed S, Piah HA, Zahair N., Initial response in HRIð a case study on evaluation of child with autism spectrum disorders interacting with a humanoid robot NAO, *Proceedings of the international symposium on robotics and intelligent sensors*, Elsevier, Kuching, Sarawak, Malaysia, pp. 1448i 1455, 2012.

Skeat J. and Perry A., Grounded Theory as a method for research in speech and language therapy, *International Journal of Language and Communication Disorders*, vol.43, no. 2, pp 95-109, 2008.

Smith C., Williams E. and Bryan K., A systematic scoping review of speech and language therapists public health practice for early language development, *International Journal of Language and Communication Disorders*, vol.52, no. 4, pp 407-425, 2017.

Srinivasan S., Lynch K.A., Bubela D.J., Effect of interactions between a child and a robot on the imitation and praxis performance of typically developing children and a child with autism: a preliminary study, *Percept Motor Skills Phys Dev Meas*, vol.116, no. 3, pp.885i 904, 2013.

Tapus A., Peca A., Aly A., Pop C., Jisa L., Pintea S., Rusu A.S., David D.O., Children with autism social engagement in interaction with NAO, an imitative robot. *Interact Stud.*,

vol.13, no. 3, pp.315-347, 2012.

Tapus A., Mataric, M., & Scassellati, B., Socially Assistive Robotics, IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 1, no. 1, pp. 35-42, 2007.

Wainer J., Robins B., Amirabdollahian F., Dautenhahn K., Using the humanoid robot KASPAR to autonomously play triadic games and facilitate collaborative play among children with autism, IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, vol. 6, no. 3, pp.183-199, 2014.

Warren Z. E., Zheng Z., Swanson A. R., Bekele E., Zhang L., Crittendon J.A., Weitlauf A. F., Sarkar N., Can Robotic Interaction Improve Joint Attention Skills?, Journal of Autism and Developmental Disorders, vol. 45, no. 11, pp.3726-3734, 2015.

Wolbring Gregor, Employment, Disabled People and Robots: What Is the Narrative in the Academic Literature and Canadian Newspapers?, Societies Journal, vol.6, no.15, pp. 2-16, 2016.

Vaquero C., Saz O., Rodríguez W.R., Human Language Technologies for speech therapy in Spanish language, Proceedings of the LangTech, pp 129-138, 2008.

Vázquez Villasuso, V., & Diaz Monterrey, M. (2015). Talking about language. Revista Cubana de Tecnología de la Salud, 6(4), 121-125.

WHO. World Report on Disability. Geneva, Switzerland, World Health Organization, Geneva Publications, 2011.

Yin Shou-Chun, Rose R., Saz Oscar, Lleida Eduardo, A study of pronunciation verification in a speech therapy application, ICASSP Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp 4609-4612, USA, 2009.

Yun, S.S., Choi, J. and Park, S.K., Robotic Behavioral Intervention to Facilitate Eye Contact and Reading Emotions of Children with Autism Spectrum Disorders, 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 694-699, 2016.