

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS



**SISTEMA INTELIGENTE PARA EL APOYO EN TERAPIAS
DE TRASTORNO ESPECÍFICO DE LENGUAJE**

TESIS PROFESIONAL QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS
REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:
KARLA IVETTE ARCE RUELAS

DIRECTORES DE TESIS:
DR. OMAR ÁLVAREZ XOCHIHUA
DR. JOSÉ ÁNGEL GONZÁLEZ FRAGA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, JULIO DEL 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

***Sistema inteligente para el apoyo en terapias de trastorno
específico de lenguaje***

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias presenta

Karla Ivette Arce Ruelas

Aprobada por el siguiente comité



Dr. Omar Álvarez Xochihua

Director del Comité



Dr. José Ángel González Fraga

Codirector del Comité



Dr. Everardo Gutiérrez López

Miembro del Comité



Mtra. Patricia Páez Manjarrez

Miembro del Comité



M.C. Evelio Martínez Martínez

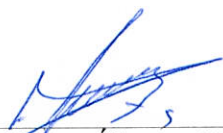
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, 25 de Julio de 2017

RESUMEN de la Tesis de **Karla Ivette Arce Ruelas**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS del programa Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI), de la Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. Julio del 2017.

Sistema inteligente para el apoyo en terapias de trastorno específico de lenguaje

Resumen aprobado por:



Dr. Omar Álvarez Xochihua
Co-Director de Tesis



Dr. José Ángel González Fraga
Co-Director de Tesis

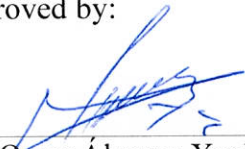
El *Trastorno Específico del Lenguaje* (TEL) es una problemática, con alcance internacional, que enfrentan estudiantes de los primeros niveles educativos. Los niños que presentan este problema no tienen ninguna afectación física, sin embargo, se enfrentan a problemas de comunicación y lenguaje. Este trabajo de tesis presenta el diseño y evaluación del *Sistema de Apoyo en TERapias de Lenguaje* (SATEL), herramienta que auxilia en el diagnóstico y en la aplicación de terapia lingüística de niños con problemas de TEL, específicamente con dificultades de pronunciación. SATEL pretende ampliar las características de los sistemas actuales que atienden este tipo de trastorno lingüístico, integrando los módulos principales utilizados por los terapeutas de lenguaje: diagnóstico y atención. En una primera etapa, se realizó una evaluación formativa del sistema propuesto con 18 niños que presentaban TEL. Con los resultados obtenidos en esta fase se diseñó e implementó la base de conocimiento mediante una ontología, para realizar el diagnóstico y atención en el dominio de TEL, además se mejoraron los algoritmos para la detección de la pronunciación de los niños al utilizar SATEL. En una segunda fase, 26 niños con TEL evaluaron las características de usabilidad del módulo de diagnóstico, mientras que 15 valoraron el módulo de la actividad de atención de la nueva versión de SATEL. Como resultado del estudio se obtuvo un desempeño sobresaliente de SATEL, logrando en el módulo de diagnóstico una exactitud en la identificación de pronunciaciones correctas e incorrectas del 89.91% y 95.34%, con solo un 10.09% y 4.66% de falsos positivos y falsos negativos, respectivamente. En el módulo de atención, evaluando la misma característica, se obtuvo un 100% y 96.94% de exactitud en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas. Adicionalmente, las características de usabilidad de SATEL se evaluaron mediante la implementación de dos instrumentos: 1) una variante del instrumento UMUX (Usability Metric for User Experience), realizando una adaptación para niños de entre 4 y 6 años; y 2) una encuesta con preguntas abiertas dirigida a los terapeutas participantes en la investigación. El resultado de este estudio mostró un nivel alto de aceptación y motivación del uso del sistema propuesto.

Palabras clave: Trastorno Específico de Lenguaje, Terapia de Lenguaje, Ontologías, Sistemas Adaptativos, Sistemas de apoyo en Terapias, Tecnologías de Asistencia.

ABSTRACT of the thesis, presented by **Karla Ivette Arce Ruelas**, in order to obtain the **MASTER in SCIENCE DEGREE** of the MYDCI program in Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. Julio, 2017.

Intelligent System for Support in Specific Language Impairment Therapies

Approved by:



Dr. Omar Álvarez Xochihua
Co-Director de Tesis



Dr. José Ángel González Fraga
Co-Director de Tesis

Specific Language Impairment (SLI) is a problem of international scope faced mainly during childhood. Children with this problem do not have any physical impediment; however, they face problems of communication and mastery of language skills. This thesis presents the design and evaluation of the *Language Therapy Support System* (SATEL), a computer-based tool for the diagnostic and treatment of children with SLI, specifically with pronunciation difficulties. We extended current systems supporting Specific Language Impairment therapies by integrating the two main activities carried out by language therapists, diagnostic and treatment. The proposed system was evaluated formatively by 18 children with SLI in a first stage, significant results were used to improve the system functionality and for the design of a SLI domain ontology intended to support the diagnosis and treatment activities. In a second phase, 26 children with SLI evaluated the performance and usability characteristics of the diagnostic module, and 15 evaluated the treatment module of the new version of SATEL. An outstanding performance was obtained as a result of the study of SATEL, achieving diagnostic module accuracy of 89.91% and 95.34% in the identification of correct and incorrect pronunciations, with only 10.09% and 4.66% of false positives and false negatives, respectively. In the treatment module, evaluating the same feature, 100% and 96.94% accuracy were obtained in the detection of correct and incorrect pronunciations. The usability features of SATEL were evaluated through the implementation of two instruments: 1) A variant of the UMUX (Usability Metric for User Experience) instrument, making an adaptation for children between 4 and 6 years; and 2) an open-ended survey aimed at the therapists involved in the research. The result of this study showed a high level of acceptance and motivation of the use of the proposed system.

Keywords: Specific Language Impairment, Language therapies, Ontologies, Therapy Support System, Adaptive Systems, Assistive Technology

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo:

A Dios, quién guía mi camino y me da la fortaleza para continuar.

A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; todos mis logros se los debo a ustedes. Me motivaron constantemente para alcanzar mis metas, con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento. Nunca han bajado los brazos para que yo tampoco lo haga, aún cuando todo se complica. Con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda estudiar, se merecen esto y mucho más.

A mi querido hermano por ser mi apoyo incondicional, porque llena de alegría cada día de mi vida.

A mi novio, por sus palabras de apoyo y confianza. Por creer en mi y en cada uno de mis sueños. Por su amor y por ser mi compañero de nuevas aventuras.

A todos ustedes, con amor.

Karla Ivette Arce Ruelas.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento:

A mis sinodales Dr. Omar Álvarez Xochihua, Dr. José Ángel González Fraga, MC. Evelio Martínez Martínez, Dr. Everardo Gutiérrez López y Dra. Patricia Páez Manjarrez por sus consejos, críticas y apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

A mi amiga Alejandra Manríquez, por su apoyo incondicional.

Al personal del Centro de Atención Psicopedagógica de Educación Preescolar (CAPEP), en especial a Alma Teresa Barcena Gaitán, Carmen León De Los Ángeles y Guadalupe Rodríguez Nieto.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias y el personal del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MyDCI) por su atención, amabilidad y disposición para ayudarme.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado y a la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por las facilidades otorgadas para la realización de éste trabajo.

ÍNDICE

Capítulo 1	5
Introducción	5
1.1 Planteamiento del problema	6
1.1.1 Justificación	6
1.1.2 Objetivos de la investigación	6
1.1.2.1 Objetivo general	6
1.1.2.2 Objetivos específicos	7
1.1.3 Preguntas de investigación	7
1.2 Estructura de la tesis	7
Capítulo 2	9
Antecedentes	9
2.1 Estadísticas nacionales e internacionales de TEL	9
2.2 Líneas de investigación de TEL	9
2.2.1 Instituciones dedicadas al diagnóstico y atención de TEL	9
2.2.2 Línea de investigación orientada al diagnóstico	10
2.2.3 Línea de investigación orientada a la atención	11
Marco teórico	14
2.3 Sistemas de tutoría inteligente	14
2.4 Ontologías	16
2.5 Terapias de trastorno específico de lenguaje	17
Capítulo 3	19
Metodología	19
3.1 Modelado de conocimiento y desarrollo tecnológico	19
3.1.1 Modelado de conocimiento basado en ontologías	19
3.1.2 Desarrollo de sistemas de tutoría inteligente	19
3.2 Investigación formativa del sistema propuesto	20
3.2.1 Participantes	20
3.2.2 Instrumentos	20
3.2.3 Procedimiento	20
3.2.4 Técnicas de análisis de resultados	21
Capítulo 4	22
Diseño y desarrollo del sistema de apoyo a terapias de lenguaje	22
4.1 Investigación del dominio de interés	22
4.2 Diseño de interfaces	26
4.3 SATEL V1.0	29
4.3.1 Arquitectura	30
4.3.2 Algoritmos	31
4.4 SATEL V2.0	35
4.4.1 Diseño del modelo de aprendizaje adaptativo	35
4.4.2 Descripción de la ontología de SATEL	36
4.4.3 Arquitectura de SATEL V2.0	37
4.4.4 Algoritmos de SATEL 2.0	39
4.4.4.1 Algoritmo para módulo de Diagnóstico	39
4.4.4.2 Algoritmo para módulo de Atención	40
Capítulo 5	44
Resultados de evaluaciones de SATEL	44
5.1 Evaluaciones de SATEL 1.0	44
5.1.1 Evaluación formativa con niño de 8 años	44
5.1.1.1 Módulo de <i>Diagnóstico</i>	45

5.1.1.2	Módulo de <i>Atención</i>	45
5.1.2	Evaluación formativa con niños de CAPEP	45
5.1.2.1	Módulo de <i>Diagnóstico</i>	46
5.1.2.2	Módulo de <i>Atención</i>	46
5.1.3	Análisis de precisión en la detección de pronunciación	46
5.2	Evaluaciones de SATEL 2.0	47
5.2.1	Evaluación sumativa del módulo de diagnóstico	47
5.2.2	Evaluación sumativa del módulo de atención	49
5.2.3	Evaluación de usabilidad de SATEL 2.0.....	49
5.2.4	Evaluación cualitativa de SATEL 2.0	52
5.2.5	Comentarios adicionales de las terapeutas	54
Capítulo 6	55
Conclusiones y trabajo futuro		55
6.1	Conclusiones	55
6.2	Trabajo futuro.....	57
Apéndice A	58
Entrevista		58
A.1	Entrevista de exploración en el área de diagnóstico y atención de TEL.	58
Apéndice B		60
Prueba estandarizada		60
B.1	Prueba estandarizada nombrada <i>exploración lingüística del niño preescolar</i>	60
Apéndice C		65
Cuestionario adicional		65
C.1	Cuestionario adicional para terapeutas de lenguaje.....	65
Apéndice D		67
Encuesta		67
D.1	Entrevista de exploración en el área de diagnóstico y atención de TEL.	67

Índice de figuras

Figura	Página
2.1 Proceso del ciclo de asesoría de un ITS.	15
2.2 Clases y subclases para ontología de oraciones simples.	16
4.1 Mapa Conceptual de las Terapias de TEL.	23
4.2 Mapa conceptual de la actividad de diagnóstico.	24
4.3 Mapa conceptual de la actividad de atención.	25
4.4 Interfaz de inicio de SATEL.	27
4.5 Interfaz de registro de SATEL.	28
4.6 Interfaz de selección de módulos y usuario.	28
4.7 Interfaz del módulo de diagnóstico.	29
4.8 Interfaz del módulo de atención.	29
4.9 Arquitectura de SATEL.	30
4.10 Diagrama de flujo del módulo de Diagnóstico	32
4.11 Diagrama de flujo del módulo de Atención	34
4.12 Diseño de la ontología para SATEL.	36
4.13 Arquitectura de SATEL V2.0.	38
4.14 Interfaz de recomendación de fonemas en atención para SATEL 2.0.	42
4.15 Interfaz de atención en SATEL 2.0.	43
5.1 Niño de 8 años utilizando SATEL.	44
5.2 Niño de CAPEP utilizando SATEL.	45
5.3 Resultados de la evaluación de usabilidad en SATEL 2.0 para el módulo de Diagnóstico	51
5.4 Resultados de la evaluación de usabilidad en SATEL 2.0 para módulo de Atención	52
5.5 Resultados obtenidos de la aplicación del instrumento de percepción a terapeutas de lenguaje	53

Índice de tablas

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
4.1 Fonemas presentes en el idioma español.	25
4.2 Palabras para diagnóstico presentadas con los fonemas que evalúan.	26
4.3 Pares de palabras con fonemas para la actividad de atención.	26
5.1 Exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas para el módulo de diagnóstico.	47
5.2 Exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas para el módulo de diagnóstico de SATEL 2.0	48
5.3 Exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas para el módulo de atención de SATEL 2.0	49
5.4 Instrumento para la evaluación de usabilidad mediante la experiencia de usuario, <i>Usability Metric for User Experience (UMUX)</i> .	50
5.5 Aspectos adicionales para la evaluación de experiencia de usuario de SATEL 2.0	50
5.6 Adaptación de UMUX para niños de 4 a 7 años.	51
5.7 Respuestas de la sección de preguntas abiertas del instrumento.	54

Capítulo 1

Introducción

Los trastornos de lenguaje afectan a una gran cantidad de niños en las escuelas, por ejemplo, problemas de gramaticalidad en sus enunciados o poca fluidez al hablar limitan su participación en el salón de clase al imposibilitarlos para explicar sus ideas con claridad. Los niños que presentan este problema, llamado *trastorno específico del lenguaje* (TEL), no tienen ninguna afectación física, auditiva o de una clara lesión neurológica, como los casos de retraso mental, sordera u otras discapacidades similares. Sin embargo, se enfrentan a problemas de comunicación y lenguaje. Se ha demostrado que ese tipo de trastorno provoca en los niños, adicionalmente, inhibición, aislamiento, frustración, ansiedad e inseguridad. Implicando repercusiones fuertes en su rendimiento escolar, específicamente en el dominio del lenguaje, las matemáticas, entre otros [1, 2].

Este problema es detectado principalmente durante la edad preescolar, lo cual requiere proporcionar una atención inmediata para reducir la afectación en el aprovechamiento escolar presente y futuro de los estudiantes. Se requieren programas especialmente diseñados para enriquecer el desarrollo del lenguaje, al mismo tiempo, se deben considerar estímulos llamativos y novedosos para los niños. Como ejemplo, la *atención voluntaria*, aquella atención orientada y dirigida de manera consiente, se va desarrollando de forma externa para el niño y está dirigida por el adulto a través del gesto y la palabra [3]. Este tipo de programas educativos pueden incluir a niños con niveles normales de desarrollo, que sirvan como modelos para sus compañeros con TEL y convivan en actividades que fomenten los juegos de roles y el trabajo en equipo. También, pueden incluir lecciones prácticas para explorar un vocabulario nuevo e interesante.

Los niños que presentan TEL son aquellos que no desarrollaron adecuadamente el lenguaje, a un nivel que se esperaría de acuerdo a la evolución del dominio lingüístico ligado directamente con el incremento de edad. Estos niños de edad escolar, principalmente cuentan con un déficit en el desarrollo de las habilidades para codificar y decodificar el lenguaje [4]. El TEL es un trastorno heterogéneo que involucra dificultades en alguna o todas las dimensiones del lenguaje como la fonología, léxico y semántica, morfología-sintaxis y pragmática; por lo que los niños que lo presentan pueden tener dificultades en una o diversas áreas [4]. Es por esto, que es esencial para el niño, recibir una terapia apropiada y atención personalizada, buscando atender sus necesidades específicas a temprana edad y con el fin de que logren desarrollar un nivel de lenguaje apropiado.

Mediante el trabajo de investigación realizado se ha generado una herramienta automatizada que sirve de apoyo en la terapia de lenguaje ofrecida a niños que enfrentan TEL. Específicamente, atendiendo problemas al pronunciar algunos fonemas. Dicha herramienta, complementa los ejercicios aplicados por las terapeutas de lenguaje, inclusive cuenta con cierto grado de autonomía que permite utilizarse en el hogar de los niños atendidos por algún trastorno de este tipo.

1.1 Planteamiento del problema

El *trastorno específico del lenguaje* es una problemática, con alcance internacional, que enfrentan estudiantes de los primeros niveles educativos; principalmente en el nivel preescolar y puede extenderse a primaria. Este problema de lenguaje, afecta al proceso de socialización y desempeño escolar de los estudiantes que lo padecen. Una atención temprana a través de terapias específicas, permite que los niños corrijan sus deficiencias de pronunciación, dicción y vocabulario.

Sin embargo, la atención a esta situación enfrenta dos problemas principales: 1) *terapia personalizada*, el TEL se deriva de la presencia de uno o más trastornos, con diversos niveles de severidad, tales como, problemas al articular algunos fonemas, escaso vocabulario, retardo en la adquisición del lenguaje y tartamudez, esto genera que cada estudiante presente características muy peculiares de TEL, requiriendo terapias específicas y principalmente personalizadas; y 2) *duración de la atención*, infantes con este problema de lenguaje pueden requerir hasta dos años de terapia para poder superar totalmente esta deficiencia de comunicación, influyendo negativamente en su desempeño escolar durante todo este tiempo.

Las tecnologías de computación han sido escasamente utilizadas para atender las problemáticas descritas en este dominio. Particularmente, a nivel internacional, se encontraron aplicaciones basadas en sistemas expertos convencionales, que apoyan en la fase de evaluación y diagnóstico de este padecimiento. Algunas otras soluciones basadas en TIC se enfocan en el proceso de atención de este tipo de trastorno. Sin embargo, a nuestro conocimiento, no existe una plataforma integral que cubra ambos procesos, los cuales son altamente dependientes y con un comportamiento cíclico. Además, las herramientas identificadas no cuentan con la capacidad para interactuar con el niño utilizando reglas de inferencia que le permitan atender aspectos específicos de cada paciente.

1.1.1 Justificación

La realización de esta investigación tiene dos motivos principales que la justifican. Primero, una aportación de carácter tecnológico al área de estudio de inteligencia artificial en las ciencias computacionales, con el desarrollo de un sistema inteligente que apoye en el diagnóstico y atención de niños que presentan trastorno específico de lenguaje. Segundo, el contar con un modelado de conocimiento del experto en el área de lenguaje que permita identificar las áreas problemáticas de los niños con presencia de TEL.

1.1.2 Objetivos de la investigación

1.1.2.1 Objetivo general

Implementar una herramienta basada en técnicas de modelado de conocimiento provenientes del área de estudio de inteligencia artificial, que diagnostique y proporcione terapia lingüística de forma integral a niños con problemas de TEL, como un instrumento complementario a las terapias convencionales, que apoye al proceso de madurez del lenguaje de niños con este problema.

1.1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar estrategias usadas en terapias orientadas a reducir deficiencias lingüísticas en las áreas de vocabulario y fonética, que puedan ser trasladadas a un entorno digital.
- Definir técnicas para modelar la base de conocimiento de expertos en terapias de lenguaje.
- Desarrollar un sistema para proporcionar terapia de lenguaje basado en la tecnología de tutores inteligentes, que cuente con un ambiente de interacción atractivo para niños de edad preescolar.
- Implementar y evaluar el desempeño del sistema propuesto con niños diagnosticados con TEL en el *Centro de Atención Psicopedagógica de Educación Preescolar (CAPEP)* unidad Ensenada.

1.1.3 Preguntas de investigación

Considerando la problemática mencionada, así como el avance tecnológico actual, las preguntas de investigación que sustentan nuestro estudio son:

1. ¿Qué técnica de representación de conocimiento, actual o propuesta, modela eficientemente el conocimiento de terapeutas expertos de lenguaje que atienden problemas de fonética?
2. ¿Cuál es el nivel de apoyo que se puede alcanzar con una herramienta basada en TIC, para el diagnóstico y atención de TEL?

1.2 Estructura de la tesis

Este trabajo está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo 1 En este capítulo se presenta una introducción del trabajo de tesis, se indica el planteamiento del problema, la justificación, el objetivo tanto general como específicos, preguntas de investigación, y la secuencia del documento de trabajo de investigación.

Capítulo 2 El capítulo 2 presenta los antecedentes de las investigaciones relacionadas con el diagnóstico y atención de trastorno específico de lenguaje, el marco teórico, incluyendo definiciones de sistemas de tutoría inteligente, ontologías y terapias de trastorno específico de lenguaje.

Capítulo 3 Aquí se detalla la metodología utilizada para el modelado del conocimiento y desarrollo tecnológico, seguido del proceso de desarrollo para la investigación evaluativa del sistema propuesto.

Capítulo 4 El capítulo 4 describe el diseño y desarrollo del Sistema de Apoyo en Terapias de Lenguaje (SATEL), incluye la investigación del dominio de interés, el diseño de interfaces y la implementación de SATEL.

Capítulo 5 Presenta los resultados obtenidos en las dos etapas de evaluación de SATEL.

Capítulo 6 Este capítulo finaliza con las conclusiones obtenidas durante el proceso del diseño, desarrollo y evaluaciones, adicionalmente se presenta el trabajo futuro.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1 Estadísticas nacionales e internacionales

El TEL se presenta principalmente en el nivel de educación preescolar y durante los primeros años de la escuela primaria. De acuerdo con el censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) del año 2010, 5 millones 739 mil personas en el territorio nacional declararon tener alguna dificultad de las siete evaluadas: 1) caminar o moverse, 2) ver, 3) escuchar, 4) hablar o comunicarse, 5) atender el cuidado personal, 6) poner atención o aprender y 7) limitación mental; es decir, son personas con discapacidad [5]. Dicha cifra representa el 5.1% de la población total del país y el 8.3% de este porcentaje se refiere a dificultades de lenguaje (hablar o comunicarse).

Los resultados del censo, referente a la categoría evaluando la dificultad para hablar o comunicarse, asciende al menos a 500 mil nuevas personas anualmente. La edad tiene un papel importante de acuerdo a los tipos de discapacidad y su distribución. Por ejemplo, la población de mayor edad presenta un porcentaje superior en discapacidades de movilidad, mientras que en la población más joven las dificultades de mayor incidencia corresponden a su capacidad de hablar o comunicarse, poner atención o aprender y la limitación mental. Específicamente, referente a problemas para hablar o comunicarse, a los adultos mayores les corresponde el 6.7%, los adultos un 11.4%, los jóvenes el 31.9% y los niños representan el 50% del total nacional [5].

La problemática sobre el dominio del lenguaje se presenta a nivel internacional, en [2] se menciona que en Ecuador el 6% de discapacidades en niños mayores de cinco años corresponde a trastornos de lenguaje, así mismo el 2% de la población cubana sufre algún trastorno de este tipo. En Chile el 10% de la población desarrolla alguna categoría de TEL durante la niñez [2]. Se estima que más de 46 millones de personas en los Estados Unidos padecen problemas de lenguaje [6].

2.2 Líneas de investigación de TEL

El grupo de investigadores en esta área de estudio se ha enfocado principalmente en el uso de la tecnología en dos líneas de investigación: el diagnóstico oportuno y el tipo de atención personalizada a brindar, omitiendo soluciones que integren ambas acciones. A continuación se mencionan iniciativas realizadas por instituciones en el ámbito internacional, así como estudios realizados por distintos grupos de investigadores.

2.2.1 Instituciones dedicadas al diagnóstico y atención de TEL

Actualmente, instituciones tanto nacionales como internacionales trabajan en el diagnóstico y atención de niños con TEL. Por ejemplo, en Estados Unidos, el Instituto

Nacional de la Sordera y Otros Trastornos de la Comunicación (NIDCD, por sus siglas en inglés), que está enfocado en la atención de trastornos de comunicación, ha contribuido en el avance de investigaciones para comprender las bases genéticas del TEL, la naturaleza de los déficits del lenguaje que lo causan, acciones para mejorar el diagnóstico y la atención de los niños que lo padecen, y así mejorar la vida de millones de personas con este problema. Algunas de las investigaciones que han realizado son las siguientes [6]:

- **Investigación genética.** Identificación de un gen del cromosoma 6, llamado gen *KIAA0319*, el cual parece tener un papel clave en la presencia de TEL.
- **Investigación en niños bilingües.** Dado que las pruebas para diagnosticar TEL utilizadas en Estados Unidos están basadas en el lenguaje inglés, se obtienen falsos positivos al evaluar a los niños bilingües. Se ha desarrollado una prueba de diagnóstico específica para identificar a los niños bilingües con trastornos del lenguaje. Así mismo, se está probando un programa de intervención con un pequeño grupo de niños bilingües que padecen alguna categoría de TEL.
- **Investigaciones para el diagnóstico.** Otras investigaciones están en busca de factores que generan problemas de lenguaje, detonantes de problemas futuros en el habla y la comunicación. Están siendo evaluados aspectos conductuales, de desarrollo cognitivo y cerebral, entre otros.

Con relación a los tipos de atención otorgada a niños con TEL, en nuestro país se cuenta con instituciones como el *Centro de Atención Psicopedagógica de Educación Preescolar* (CAPEP), que brinda un servicio de apoyo en educación especial y en la integración educativa; destinado principalmente a la educación preescolar. El sistema CAPEP proporciona esta atención integral a los niños mediante analistas que apoyan la estimulación múltiple, psicomotricidad, psicología, el trabajo social y el lenguaje.

En el área de lenguaje, CAPEP atiende a los niños que presentan alteraciones leves, tales como: trastornos en la articulación de algunos fonemas, escaso vocabulario, retardo en la adquisición del lenguaje, presencia de tartamudez, entre otros. La atención a los niños es proporcionada semanalmente, ya sea de forma individual o grupal, donde incluso, en ocasiones se integra a los padres para que participen en la superación del problema que presentan sus hijos. Los niños con problemas en esta área son atendidos por especialistas en audición y lenguaje (en adelante referidos como terapeutas). La cantidad de niños que se atiende en CAPEP varía dependiendo de la localidad y del ciclo escolar. Al inicio de cada ciclo escolar las maestras de preescolar, y de los primeros años de primaria, identifican a los niños con dificultades o problemas de lenguaje y los canalizan a CAPEP para su evaluación y atención. Una vez realizado el diagnóstico e identificado a los niños con TEL, CAPEP estructura un plan para la reintegración del niño a la educación regular, lo cual, según datos proporcionados por la institución, este proceso de reincorporación dura entre seis meses y tres años. Es importante enfatizar que la tecnología utilizada por CAPEP es escasa y está dirigida principalmente para atender procesos administrativos [7].

2.2.2 Línea de investigación orientada al diagnóstico

Debido a la gran influencia y esparcimiento de la tecnología de computación e Internet, se ha logrado una mejora en la automatización de procesos mediante el uso de Inteligencia

Artificial, principalmente en la representación del comportamiento y actuar humano. Aplicaciones inteligentes son desarrolladas en una gran diversidad de dominios (por ejemplo industria, turismo, comercio, entre otros), sin embargo, en el área de Trastorno Específico del Lenguaje encontramos un reducido número de investigaciones. Una de las aportaciones recientes es la presentada en [8], donde los investigadores desarrollaron un sistema accesible por Internet que está construido con base en el conocimiento de un experto para la evaluación y diagnóstico del lenguaje oral. Este sistema fue nombrado APLo (“Oral Language Assessment“, sus siglas derivan del Griego “Aksiologigsi Proforikou Logou “), el cual integra reglas simbólicas mediante redes neuronales para modelar y representar el conocimiento. APLo pretende auxiliar a los terapeutas en la evaluación y diagnóstico del lenguaje oral en niños de entre 3 y 7 años, así como dar una recomendación de la atención requerida por el niño. A su vez, este sistema es un auxiliar para personas que no cuentan con conocimiento para detectar deficiencias de lenguaje e interactúan con niños de esta edad, permitiéndoles involucrar a los niños en terapias para el aprendizaje y fortalecimiento del lenguaje.

El sistema cuenta con varias secciones en las que el usuario (terapeuta, padre o maestro) tiene que contestar a una serie de preguntas, dependiendo de las respuestas que haya dado el usuario se muestra una lista o reporte con las deficiencias o trastornos localizados. Así mismo, con base en el diagnóstico generado, proporciona recomendaciones para llevar a cabo la atención requerida, sin embargo no cuenta con la opción de realizar la atención.

2.2.3 Línea de investigación orientada a la atención

Baldi es un sistema considerado un tutor inteligente orientado a la atención de TEL, así como al aprendizaje de un nuevo idioma [9]. Con dicho sistema se demostraron los beneficios de usar una animación por computadora de una cabeza parlante, que auxilia en el aprendizaje de lenguaje oral y escrito. Esta animación puede ilustrar las articulaciones necesarias al pronunciar una palabra, haciendo su piel transparente para que el usuario observe la lengua, dientes y paladar, reproduciendo las palabras con movimientos lentos. Así mismo, Baldi puede mostrar características articulatorias suplementarias, como la vibración del cuello y el flujo del aire para mostrar los sonidos de las palabras. Este tutor cuenta con actividades que permite a los estudiantes, además de observar las palabras habladas por el tutor, trabajar diferentes puntos, entre ellos: experimentar con las palabras de forma hablada y escrita; observar imágenes representativas de las palabras; seleccionar la ortografía correcta para cada palabra o deletrearla utilizando el teclado de una computadora; utilizar las palabras en contexto y escuchar una grabación de ellos mismos repitiendo las palabras ordenadas por el tutor, esto último seguido de su correcta pronunciación.

En [10] se presenta un estudio sobre el impacto en la atención de problemas de lenguaje al utilizar una tecnología similar al sistema Baldi. El objetivo fue determinar qué tanto influyen estas actividades a los niños para lograr avances en su terapia de habla y lenguaje en el idioma griego. El estudio se realizó, seleccionando aleatoriamente 12 niños de entre 5 y 6 años de lenguaje nativo en griego con problemas de articulación, principalmente con las palabras compuestas por los fonemas /r/ y /s/. De los 12 niños, 6 trabajaron cotidianamente con el terapeuta y 6 utilizaron las actividades de aprendizaje mediante el sistema implementado. Las actividades utilizadas en las sesiones con tecnología estaban diseñadas para ser parte de un juego y se basaron en el uso de la cabeza parlante Baldi. El estudiante recibía instrucciones por parte del juego para participar en lo que ellos llamaron

“You have talent...” (Tienes talento). En el juego, el estudiante era capaz de ingresar a la parte de “Articulation gym” (gimnasio de articulaciones), donde el usuario podía poner en práctica o entrenar fonemas y completar ciertas tareas. Estas tareas consistían principalmente en practicar la articulación de los fonemas objetivo, donde obtenían como retroalimentación un audio de la pronunciación correcta de las palabras. De igual forma, los usuarios podían acceder a una animación para observar las articulaciones correctas por medio de una cabeza parlante, y repetir las animaciones el número de veces que requirieran. El estudiante también podía practicar grabando su voz y reproducirla para escuchar la forma en que pronunciaba.

El juego de computadora Opera Slinger [11] está principalmente diseñado para combinar el uso de Karaoke con elementos de una plataforma de acción, mediante la detección de las entonaciones de un participante, posteriormente se realizaron modificaciones para implementar ejercicios terapéuticos. Este es un juego interactivo donde el participante compete contra un personaje por medio de 5 tareas vocales. El participante obtiene puntos, dependiendo de la acertada entonación y amplitud. El jugador con mayor puntaje es el que gana. Sin embargo este juego no presenta una amplia variedad de ejercicios para apoyar las diferentes dificultades que presenta un niño con problemas de lenguaje.

En [12] se describe el desarrollo de ADACOF, sistema con el cual se pretende apoyar a niños que presenten trastornos en la articulación del habla y que de igual forma pueda ser empleado por niños regulares. El principal objetivo de ADACOF es integrar una terapia de lenguaje con tecnologías móviles, esta aplicación recopila y almacena la información del niño en cuanto al nivel fonológico que presenta en los dispositivos móviles, así como también en un servidor. Además del nivel fonológico del niño, también es registrada la interacción que el niño realiza con los dispositivos móviles durante las diferentes actividades que ADACOF le presenta.

ADACOF cuenta con varios módulos para trabajar en las diferentes dificultades que pueda presentar un niño con problemas de lenguaje, a su vez, cada módulo presenta diversos ejercicios utilizados en la terapia de lenguaje. Los módulos mencionados incluyen ejercicios: fonatorios, logocinéticos (praxias bucofonatorias), de percepción, de articulación y de construcción de oraciones. Así como, los módulos de apoyo en terapia, también cuentan con secciones para auxiliar al terapeuta como gestión de datos de los niños, de registro de evaluaciones de articulación repetitiva y espontánea, de planes de articulación, de administración de evaluaciones y el central, que es una interfaz gráfica entre el terapeuta, los niños, los padres de familia y los módulos de la aplicación.

Con el motivo de discutir los beneficios de la retroalimentación visual y las desventajas de los métodos tradicionales, en [13] proponen 5 prototipos de sistemas que utilizan retroalimentación visual para el apoyo de terapias de lenguaje. Uno de ellos es speak-Man, un juego similar a Pac-man pero con características adicionales que permite a los niños trabajar en sus dificultades de lenguaje, como lo son la evaluación y reconocimiento de lenguaje por medio del sensor de Microsoft Kinect. Dentro del juego, los fantasmas enemigos reaccionan a una entrada de lenguaje, los personajes del juego responden a palabras habladas, el jugador además recibe indicaciones de qué tan cerca está de la pronunciación correcta de las palabras.

A continuación se describen investigaciones afines, orientadas a la interacción mediante la voz. Por ejemplo, Sound Mouse permite mover el cursor del ratón por medio del uso de la voz alrededor de la pantalla de computadora. La intención de este prototipo es que permita el desarrollo de herramientas y juguetes que apoyen la atención en terapias de lenguaje [13]. Voice Art permite a los artistas con discapacidades de las extremidades superiores realizar dibujos virtuales por medio de la voz. Mediante la intensidad de la voz se

controla la dirección de la línea con la que se está dibujando, el usuario también puede escoger el modo de dibujo, el movimiento del cursor, el modo de limpiar la pantalla y borrar [13]. Super-Tuner fue un sistema diseñado principalmente para asistir a cantantes principiantes en el control de su voz, sintonización, entonación y volumen [13]. Touching dialogue es un sistema interactivo que utiliza el sonido como entrada para una interacción conversacional. Consiste en un juego de pelotas que oscilan dependiendo del rango y varianza de la producción de la voz [13].

Con el propósito de apoyar en la atención de niños que presentan apraxia del habla infantil, en [14] desarrollaron una herramienta automatizada, nombrada Tabby Talks, para el apoyo de terapias que se enfocan en tratar este problema. La herramienta cuenta con 3 módulos; la interfaz clínica, la aplicación móvil y el módulo de reconocimiento de lenguaje. El módulo de interfaz clínica permite al terapeuta crear y asignar ejercicios a cada niño dependiendo de las necesidades que éste presente y la atención que el terapeuta crea conveniente utilizar. Además, este módulo permite al terapeuta monitorear el avance de cada niño.

Por otro lado, el módulo de aplicación móvil permite al niño trabajar con los ejercicios que le fueron asignados por su terapeuta, esta aplicación móvil guarda una grabación de la voz del niño realizando los ejercicios de terapia y envía estas grabaciones a un servidor. El módulo de reconocimiento de lenguaje es un motor corriendo en un servidor que recibe las grabaciones de lenguaje de los niños y las analiza. Una vez realizado el proceso de análisis provee al terapeuta los resultados de la evaluación de las grabaciones.

En [15] se desarrolló un sistema experto basado en árboles de decisión con el principal propósito de apoyar las terapias de niños de lengua rumana que presentan dislalia. Este sistema, llamado Logomon, está diseñado para asistir al terapeuta de lenguaje durante su sesión de terapia con el niño. En dicho sistema, el terapeuta aloja el resultado de la evaluación del niño y una vez establecido un diagnóstico, se apoya en el sistema Logomon para trabajar en la terapia apropiada a las necesidades del infante. Logomon presenta más de 1000 ejercicios para apoyar la terapia de lenguaje. Entre los módulos que conforman Logomon se encuentran el programa de monitoreo en la oficina, el programa de monitoreo desde casa, el modelo 3D y el sistema experto.

El programa de monitoreo, tanto en el hogar como en la oficina permite grabar periódicamente la pronunciación del niño, reproduce los ejercicios en forma de juegos, muestra una retroalimentación inmediata, permite al niño escuchar sus grabaciones previas, y además provee información estadística. Otra de las actividades del programa de monitoreo es transmitir el trabajo del niño tanto a la PC como en la PDA y mostrar un reporte de actividades al terapeuta. En resumen, el programa de monitoreo actúa como una interfaz entre el terapeuta de lenguaje y los componentes del sistema, como lo son la base de datos, el sistema experto y el programa de monitoreo del niño. El modelo 3D permite visualizar la correcta posición de la lengua, labios y dientes al momento de pronunciar. El terapeuta puede crear nuevas posiciones para diferentes pronunciaciones.

Por último, el sistema experto proporciona sugerencias referentes a la evolución del niño, como la frecuencias, duración y el contenido de las sesiones, basándose en variables que son tomadas del programa de monitoreo. Además, proporciona ejercicios personalizados al terapeuta que pueden ser utilizados en las terapias de los niños.

Marco teórico

El fundamento teórico que sustenta nuestra investigación se basa en tres áreas de estudio principales: 1) *sistemas de tutoría inteligente*, 2) *ontologías*, y 3) *terapias de trastorno específico de lenguaje*. A continuación se describen los elementos a considerar en nuestra investigación derivados de cada una de estas áreas de conocimiento.

2.3 Sistemas de tutoría inteligente

Los *sistemas de tutoría inteligente* (ITS, por sus siglas en inglés), han sido utilizados en apoyo a la enseñanza de estudiantes de los diferentes niveles educativos. Así mismo, este tipo de sistemas están presentes en una gran variedad de dominios; estudiantes están siendo apoyados en el aprendizaje de matemáticas, física, idiomas, leyes, entre otros. Los ITS son expertos basados en computadora que proveen instrucción y asesoría personalizada y a la medida de las necesidades de cada estudiante durante el proceso de solución de problemas [16].

La arquitectura convencional de un tutor inteligente está constituida por tres modelos: *Dominio*, *Estudiante* y *Pedagógico*, representando el conocimiento de expertos, estudiantes e instruccional, respectivamente. Adicionalmente, se debe considerar el módulo de interacción entre el asesor inteligente y el estudiante, un elemento medular al desarrollar un ITS. A continuación se describe brevemente el objetivo y funcionalidad de cada uno de estos modelos y la interacción entre ellos se ilustran en la Figura 2.1.

El *Modelo del Dominio*, representa el conocimiento de expertos. Generalmente, mediante estructuras de representación de conocimiento, se modela el cómo solucionar problemas de dominios específicos, el conjunto de respuestas correctas para cada problema, errores más comunes cometidos por los estudiantes y la asesoría brindada cuando estos ocurren.

El *Modelo del Estudiante*, representa el nivel de conocimiento de cada uno de los usuarios del sistema. Incluye errores comunes del estudiante, tiempo requerido e intentos para solucionar un problema específico, respuestas correctas e incorrectas, así como información alterna como el estilo de aprendizaje.

Por su parte, el *Modelo Pedagógico* representa las estrategias de enseñanza y asesoría aprendidas por el asesor inteligente. Considerando entre estas estrategias, el tipo de asesoría a proporcionar, mecanismos para determinar cuándo y cómo brindar asesoría, así como la cantidad apropiada de asesoría que debe recibir cada estudiante.



Figura 2.1. Proceso del ciclo de asesoría de un ITS: (1) actividad del estudiante, (2) procesa datos de entrada, (3) actualiza el modelo cognitivo del estudiante, (4) evalúa el desempeño del estudiante, (5) define la acción de asesoría a ofrecer, (6) selecciona el esquema de comunicación, y (7) proporciona retroalimentación al estudiante.

Mediante el uso de la interfaz del ITS, también conocido como el *módulo de comunicación*, el asesor inteligente monitorea y registra el desempeño del estudiante mientras este soluciona ejercicios, e interactúa con él ofreciendo la asesoría adecuada, esta información se va registrando en el ITS y va aprendiendo cómo enseñar a cada estudiante ya que cada uno adquiere el conocimiento de manera distinta, y cada estudiante posee un nivel diferente de conocimiento.

Para lograr su objetivo, los ITS deben representar la forma en que los seres humanos enseñan y aprenden. El conocimiento del dominio (conocimiento de expertos), de estudiantes y pedagógico, deben ser obtenidos, representados e interpretados en el núcleo del asesor inteligente. Este conocimiento debe ser suministrado, a través de una interfaz de usuario, de una forma efectiva y eficiente. El desarrollo de este tipo de sistemas ha evolucionado desde sus orígenes a principios de los años 80. Presentando mejoras sustanciales constantes en estudiantes que han utilizado esta tecnología educativa. Principalmente en dominios conocidos como bien definidos, dominios donde las soluciones de los problemas a resolver son bien conocidas, únicas y poco variables (ej. matemáticas, estadísticas, entre otros). Recientemente, los ITS han sido utilizados para apoyar a estudiantes en la solución de problemas característicos de dominios complejos, problemas donde existen múltiples soluciones y formas de llegar a ellas. Pueden existir soluciones parcialmente correctas, existe dependencia del tiempo, lugar y entorno en la solución de problemas (ej. leyes, programación, entre otros). Evidentemente, el modelado de conocimiento en dominios complejos, es más complicado comparado con dominios bien definidos. La obtención y la representación del conocimiento tienden a ser extremadamente costosas en este tipo de ITS.

En esta propuesta de investigación, se seleccionó el uso de ontologías para la representación de conocimiento. Considerando las características de esta técnica de modelado de conocimiento, ésta permitió representar la experiencia de los terapeutas atendiendo problemas de pronunciación a diferentes niveles de granularidad: palabras, sílabas y fonemas. El tipo de problema a solucionar en este dominio es considerado complejo, esto debido a la diversidad de soluciones que un mismo escenario lingüístico puede tener y la existencia de

soluciones parcialmente correctas. Por este motivo, se requiere de modelos adaptativos y precisos en la detección de nuevos escenarios de solución a problemas de lenguaje.

2.4 Ontologías

El término ontología proviene de la filosofía clásica, orientado principalmente a la investigación del ser, los aspectos fundamentales del ser y del estudio de la naturaleza de la existencia. Sin embargo, dicho término se adaptó tiempo después al área de las ciencias por los informáticos y lingüistas, adquiriendo otro significado [17].

En inteligencia artificial, el término se designó a los esquemas conceptuales formalizados para representar algún conocimiento, los cuales tienen como objetivo facilitar la comunicación entre diferentes sistemas y contextos, principalmente utilizados para el desarrollo de sistemas expertos; por lo tanto una *ontología* es un sistema de representación del conocimiento de un dominio en específico, mediante la descripción formal de los conceptos (clases) y las relaciones que lo componen [17]. Las jerarquías de conceptos o clases, atributos y relaciones nos permiten definir el vocabulario para describir un dominio, dicho vocabulario facilita el compartir información entre investigadores de un área común, personas y sistemas heterogéneos [17, 18].

En la figura 2.2 podemos observar las clases y subclases para una ontología de composición de oraciones simples.

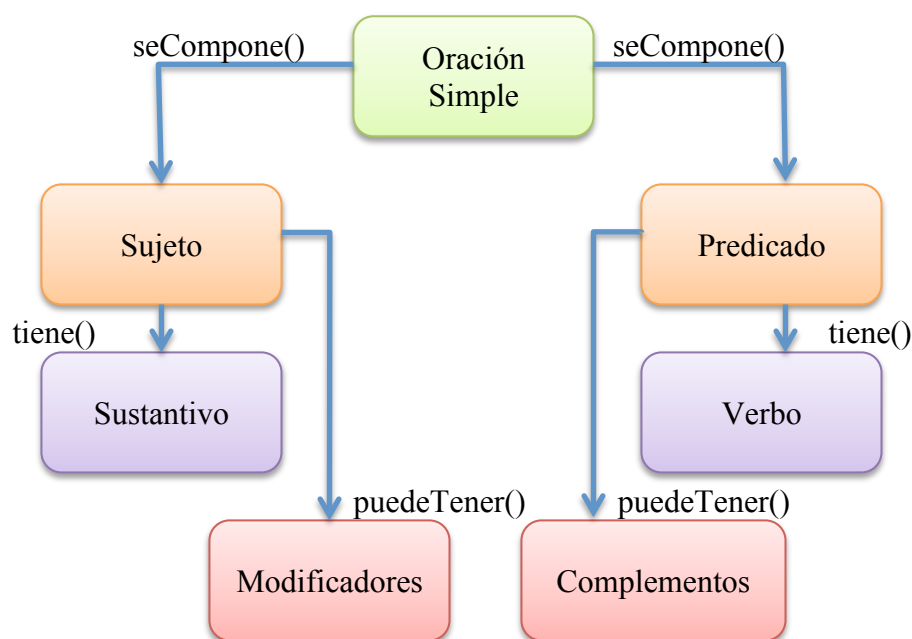


Figura 2.2. Clases y subclases para ontología de oraciones simples.

Algunos de los lenguajes utilizados para representar ontologías son: RDF (Resource Description Framework), OWL (Web Ontology Language) y DL (Description Logic) [18]. Sin embargo, la W3C (World Wide Web Consortium) recomienda OWL como el lenguaje estándar para definición de ontologías [18]. OWL permite formalizar relaciones de igualdad,

características compartidas y restricciones entre clases; y expresar la cardinalidad de los elementos que las componen. OWL comparte características con RDF como su capacidad expresiva, por lo que se puede decir que es una extensión de RDF con la distinción de permitir realizar expresiones lógicas.

Una de las herramientas utilizadas para el modelado y representación de ontologías, es la herramienta open source Protégé, desarrollada por *Stanford Medical Informatics*. Con Protégé el usuario puede observar de manera gráfica el modelado de la ontología, aunado a sus componentes para la manipulación de bases de conocimiento. De manera muy similar a la programación orientada a objetos, en Protégé se pueden representar los conceptos de cierto dominio mediante clases y subclases, así como propiedades, instancias y relaciones de manera visual, facilitando el uso por personas sin conocimientos en programación [19].

Actualmente, el uso de ontologías es amplio y diverso. Por ejemplo, Yahoo utiliza ontologías para la categorización de sitios web, Amazon realiza la clasificación de productos con características similares, así como el apoyo en la colaboración entre expertos de algún área para compartir información, como lo es en medicina con SNOMED (Systematized Nomenclature of Medicine) [20].

2.5 Terapias de trastorno específico de lenguaje

Actualmente, en atención al problema de TEL, se trabaja con dos modelos de terapia de comunicación y lenguaje, el *modelo tradicional* y el *modelo de consulta*. En el modelo tradicional, la terapia es proporcionada por el especialista de lenguaje y es llevada a cabo de manera individual y directa con el niño. En este modelo se trata de personalizar la terapia dependiendo de las necesidades específicas que presente el niño. El modelo de consulta, ha emergido como una alternativa al modelo tradicional, esencialmente está enfocado en el trabajo del terapeuta con los padres de familia, maestros y asistentes del salón de clase, consistiendo esta variable en una intervención indirecta con el niño.

Existe evidencia empírica donde se indica que los modelos de terapia *tradicional* y *consulta* son igualmente efectivos, pero se ha encontrado que la combinación de ambos tiene mejores resultados en el avance del lenguaje del niño [21]. Dentro de los modelos mencionados se encuentran una diversidad de terapias que pueden ser utilizadas para el trabajo con los niños y dentro de las cuales se pueden identificar 7 reglas en las que están basadas [22]. Estas reglas ayudan a que las actividades sean útiles y divertidas para los niños.

1. **Explicar.** Indicar claramente al niño lo que se va a realizar en la sesión y el porqué de esto. Con el objetivo de que el niño tenga una clara idea acerca de sus metas.

2. **Divertido.** Hacer la terapia divertida para mantener al niño interesado y motivarlo con incentivos.

3. **Corregir “errores” sistemáticamente.** Proporcionar una retroalimentación en la cual se le diga al niño que está trabajando de manera incorrecta, puede generar frustración, por lo que es conveniente darle la razón al niño pero mostrándole la forma correcta.

4. **Dificultad.** Las actividades deben ir incrementando de dificultad con el avance del niño.

5. **Preparar más de una actividad.** El niño podría no sentirse motivado con cierta actividad por lo que se tiene que tener preparadas varias actividades para trabajar con diferentes objetivos.

6. *Ayudar a entender*. La información que se le presente al niño afecta en su comprensión por lo que debe ser corta y clara.

7. *Comunicarse con el niño dentro de la terapia*. Hablar con el niño durante la terapia ayuda a que se enfoque en el objetivo al que se quiere llegar. Algunas veces dando buenos ejemplos y en otras ocasiones realizándole preguntas para motivarlo a comunicarse.

Existe una gran variedad de juegos para diferentes actividades de terapias y pueden ser adaptados para objetivos particulares del lenguaje. Algunos ejemplos serían: completar oraciones, donde el terapeuta dice una oración incompleta y el niño tiene que terminarla; el objeto diferente, el niño debe adivinar cuál de los dibujos proporcionados no pertenece al grupo y contar una historia; entre otros. Adicionalmente, para trabajar con niños de *poco vocabulario* debemos tomar en cuenta 3 puntos: 1) ligar palabras con su significado; 2) descubrir la estructura y la pronunciación de la palabra y 3) buscar maneras prácticas de recordar la palabra [22].

Para los niños con *problemas de semántica*, que es donde se tiene dificultad de enlazar una palabra con su significado, se pueden utilizar estrategias en las cuales se ayude al niño a interpretar el significado de una palabra realizándole preguntas acerca de la descripción, localización, función o uso, categoría o grupo, palabras relacionadas, sinónimos y antónimos de éstas. Es importante identificar lo más relevante de la palabra objetivo para que el niño adquiera la habilidad de reconocer las características relevantes en un contexto particular.

En *problemas fonológicos* el niño tiene dificultades para analizar la pronunciación de una palabra, la descomposición y organización de palabras en fonemas e identificar cuál es el primer y último sonido en una palabra. Para contrarrestar esta problemática en [22] utilizan las siguientes estrategias:

1. Dividir una palabra en sílabas.
2. Identificar el sonido de la sílaba inicial y la final de una palabra.
3. Trabajar con rimas para la palabra objetivo.
4. Hacer comprender al niño de la longitud de la palabra.
5. Utilizar imágenes como estrategia adicional para ayudar al niño a relacionar palabras con su entorno.

Realizando las estrategias anteriores tanto semánticas como fonológicas, ayudan al niño a fortalecer una representación mental y mejorar la pronunciación de palabras, por lo tanto, se incrementa su vocabulario y su capacidad de comunicación e interacción.

Capítulo 3

Metodología

La metodología implementada en este proyecto está constituida por dos etapas principales: a) *modelado de conocimiento y desarrollo tecnológico*, el cual consiste en la creación de las estructuras y algoritmos que permiten modelar y manipular la base de conocimiento de un terapeuta de lenguaje y una arquitectura para el sistema de tutoría inteligente, e b) *investigación evaluativa del sistema propuesto*, permite valorar el impacto del ambiente desarrollado para el diagnóstico y atención de TEL, en apoyo al progreso de niños para superar sus dificultades en la pronunciación de ciertas palabras, sílabas y fonemas. Cada una de estas etapas, y sus respectivas fases, son descritas por separado a continuación.

3.1 Modelado de conocimiento y desarrollo tecnológico

La metodología empleada para el desarrollo del sistema propuesto en apoyo a terapias de lenguaje considera dos secciones principales: 1) modelado de conocimiento basado en ontologías, y 2) desarrollo del núcleo del ITS.

3.1.1 Modelado de conocimiento basado en ontologías

Específicamente, para la creación de la base de conocimiento del dominio de interés, y en respuesta a la primera pregunta de investigación, ¿Qué técnica de representación de conocimiento, actual o propuesta, modela eficientemente el conocimiento de expertos terapeutas de lenguaje que atienden problemas de fonética?, se optó por utilizar técnicas de modelado de conocimiento mediante semántica ontológica. Ya que se trata de un problema complejo donde se requiere representar el conocimiento que sea igualmente entendible para la computadora y por las terapeutas de lenguaje. Esto último permitió al núcleo del sistema implementado, la toma de decisiones con respecto a la definición de las estrategias de atención de problemas de pronunciación, tales como la selección de palabras a trabajar para mejorar la pronunciación del niño y la categorización de dichas pronunciaciones tanto correctas como incorrectas.

3.1.2 Desarrollo de sistemas de tutoría inteligente

Para llevar a cabo el ITS propuesto, se utilizó una versión adaptada de la metodología para el diseño de tutores inteligentes propuesta por los autores de [23]. Esta metodología se basa en un modelo de implementación iterativo. Este paradigma de desarrollo fue de gran importancia en el presente trabajo, ya que permite continuamente realizar procesos cíclicos de diseño y rediseño e implementación y pruebas de los modelos y algoritmos del conjunto de tutores inteligentes.

Los pasos propuestos por esta metodología están divididos en cuatro etapas: 1) creación y validación de modelos, 2) diseño e implementación de la interfaz de usuario, 3) creación de contenidos instruccionales, e 4) integración de módulos.

3.2 Investigación evaluativa del sistema propuesto

En esta etapa del estudio se atiende la pregunta de investigación dos: ¿Cuál es el nivel de apoyo que se puede alcanzar con una herramienta basada en TIC, para el diagnóstico y atención de TEL?, mediante una intervención con un grupo de niños realizada en 3 diferentes etapas. Lo anterior, con la finalidad de permitir que los participantes utilizaran las distintas actividades propuestas en el sistema de apoyo a terapias de TEL. El objetivo con estas intervenciones fue identificar el desempeño del sistema propuesto al realizar tanto la actividad de diagnóstico como la de atención. A continuación, se describe el diseño metodológico propuesto para esta etapa del proyecto.

3.2.1 Participantes

Los participantes en el estudio fueron niños pertenecientes a CAPEP sede Ensenada. Los intervalos de edades de los niños variaban de entre los 4 y los 7 años. El total de los participantes correspondió al menos a tres grupos distintos de dicha institución. El objetivo de este número de experimentos fue con la finalidad de demostrar la fiabilidad de los resultados logrados.

3.2.2 Instrumentos

Los instrumentos para recolectar los datos de interés para nuestra investigación, fueron tanto automatizados como físicos. En total, contamos con tres fuentes de información: 1) datos derivados del sistema de aprendizaje, tales como historial de uso del sistema y resultado de los ejercicios realizados por cada estudiante; 2) observaciones y comentarios vertidos por los niños y maestros responsables de los grupos participantes; y 3) observaciones realizadas por los investigadores colaboradores en el estudio. Cada instrumento de recolección de información se derivó de instrumentos validados y disponibles en la literatura; adicionalmente fueron adaptados a nuestra audiencia objetivo (niños de entre 4 y 7 años de edad) y evaluados con el apoyo de expertos en el área.

3.2.3 Procedimiento

Esta parte de la investigación se ha llevado a cabo una vez concluida la evaluación formativa del sistema de apoyo en terapias. La intervención comprendió un periodo semestral donde se obtuvo información cuantitativa y cualitativa. Para la obtención de los datos cuantitativos del experimento, se procedió con las siguientes actividades:

1. Capacitación en el uso del sistema a terapeutas e infantes participantes.
2. Capacitación sobre la ejecución del experimento, donde se explicaron los instrumentos a utilizar y mecanismos de comunicación con investigadores responsables.
3. Ejecución y monitoreo del experimento.
4. Acopio y análisis de los datos resultantes del estudio.
5. Elaboración de conclusiones del estudio.

El estudio cualitativo se realizó mediante las siguientes actividades:

1. Aplicación de cuestionario de usabilidad a niños.
2. Sesión de entrevista individualizada a terapeutas.
3. Acopio y análisis de los datos resultantes del estudio.
4. Elaboración de conclusiones del estudio.

3.2.4 Técnicas de análisis de resultados

Para la inspección de los resultados de la presente investigación, se hizo uso de estadística descriptiva, priorizando el análisis cuantitativo sobre el desempeño lingüístico de los estudiantes. Sin embargo, existen factores cualitativos que fueron de interés estudiar. Por ejemplo, la satisfacción y la experiencia de uso del sistema de los niños participantes, la motivación para continuar utilizándolo o recomendar su uso, así como la opinión de los profesores sobre el logro de los objetivos de mejora de lenguaje de la herramienta.

Capítulo 4

Diseño y desarrollo del sistema de apoyo a terapias de lenguaje

Con el objetivo de apoyar en las actividades de diagnóstico y atención en el área de fonética o fonológica en niños diagnosticados con TEL, se buscó diseñar un sistema que permitiera monitorear la pronunciación realizada por el niño al hablar y proporcionar demostraciones sobre correcciones que este requiera. Lo anterior a través de personajes virtuales atractivos a su edad, usando tecnología convencional como el sensor de movimientos Kinect de la consola de videojuegos Xbox, así como librerías disponibles en forma gratuita que permite reconocer y evaluar la pronunciación del niño.

En esta sección se presentan: 1) los elementos considerados en el diseño y desarrollo del *Sistema de Apoyo a Terapias de Lenguaje*, 2) la arquitectura propuesta para el desarrollo, 3) los algoritmos utilizados en la implementación del sistema de diagnóstico y atención, y finalmente, 4) el diseño de las interfaces.

4.1 Investigación del dominio de interés

Con la finalidad de adentrarnos en un entorno donde se pudiera interactuar con niños que presentaran situaciones de TEL, desde el inicio de la investigación se concretaron acuerdos de colaboración con el Centro de Atención Psicopedagógica de Educación Preescolar, unidad Ensenada. A nivel nacional, en los centros CAPEP se atiende a niños con diversas dificultades que limitan su desempeño escolar, entre las que se incluyen problemas motrices, autismo, parálisis cerebral, problemas de lenguaje, entre otros.

Para la investigación del dominio de interés, se consideraron grupos de niños con problemas de lenguaje y de comunicación, con edades entre los 4 y 7 años. Adicionalmente, se tomaron en cuenta las características de las maestras de los cursos elegidos, incluyendo aspectos tales como antigüedad impartiendo terapias y experiencia en la atención de TEL.

Finalmente, cuatro terapeutas de lenguaje participaron en el diseño de SATEL, una de ellas en situación de retiro y las tres restantes trabajando en CAPEP con horario definido. Las terapeutas seleccionadas cuentan con alrededor de 20 años de experiencia atendiendo problemas de lenguaje y comunicación, por lo que su dominio del tema fue considerado altamente confiable.

El primer acercamiento al dominio de interés se realizó mediante la investigación de antecedentes, marco teórico y primeras entrevistas con expertos, ver Apéndice A. Como resultado se elaboró el mapa conceptual mostrado en la Figura 4.1, donde se aprecian las tecnologías utilizadas en investigaciones similares, así como las actividades realizadas comúnmente en el diagnóstico y atención de niños con TEL.



Figura 4.1. Mapa Conceptual de las Terapias de TEL

En esta primera intervención, encontramos una variedad de tecnología computacional utilizada en la detección de problemas lingüísticos o similares, tales como reconocimiento de voz y facial, procesamiento de lenguaje natural y modelado de conocimiento mediante técnicas de sistemas expertos. Con relación al proceso de diagnóstico de TEL, se detectaron aplicaciones que en mayor medida apoyaban al terapeuta dando una recomendación de diagnóstico mediante la información proporcionada por este y no interactuando directamente con el niño. Finalmente, fue evidente una mayor presencia de aplicaciones orientadas a la atención de TEL, con sistemas basados en diversas técnicas educativas, tales como juegos sociodramáticos, narraciones o historias secuenciadas, proporcionando apoyo en las terapias de lenguaje realizadas por el terapeuta.

Para obtener más información sobre el dominio de interés y contextualizar el conocimiento de las terapeutas de lenguaje, se realizó un segundo levantamiento de datos mediante cuatro técnicas de recopilación de información: 1) lluvia de ideas realizada en reuniones grupales, 2) entrevistas individuales y grupales, 3) observaciones de las terapias realizadas con los niños y 4) el apoyo de material utilizado por las terapeutas de lenguaje tanto en las sesiones presenciales de diagnóstico como en la atención de esta problemática. Las actividades realizadas en este segundo levantamiento de datos permitieron profundizar en la información necesaria para entender y representar el conocimiento de las terapeutas al diagnosticar o atender problemas de lenguaje.

En la Figura 4.2 se muestran los conceptos principales que describen la actividad de diagnóstico, considerados por las terapeutas de lenguaje de CAPEP. Los conceptos

mencionados incluyen las categorías que se evalúan al inicio de una terapia. Así como, las dificultades de lenguaje en las cuales se enfocan para detectar los problemas del niño, que finalmente serán las áreas a cubrir en la actividad de atención, los tipos de terapia ofrecida en la institución y los instrumentos que utilizan.

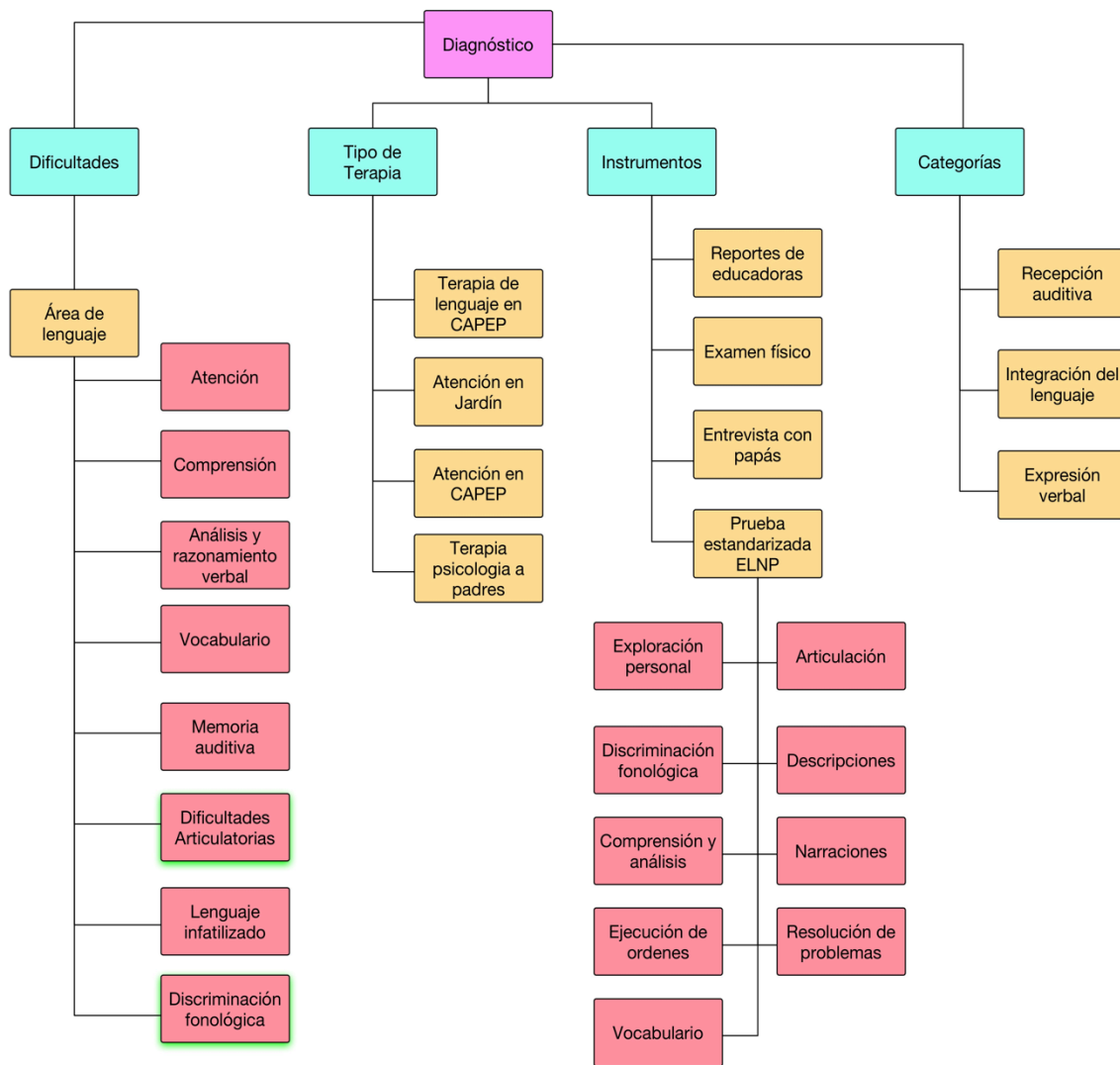


Figura 4.2. Mapa conceptual de la actividad de diagnóstico.

En la Figura 4.3 se presentan los conceptos obtenidos de la recopilación de datos para la actividad de atención.

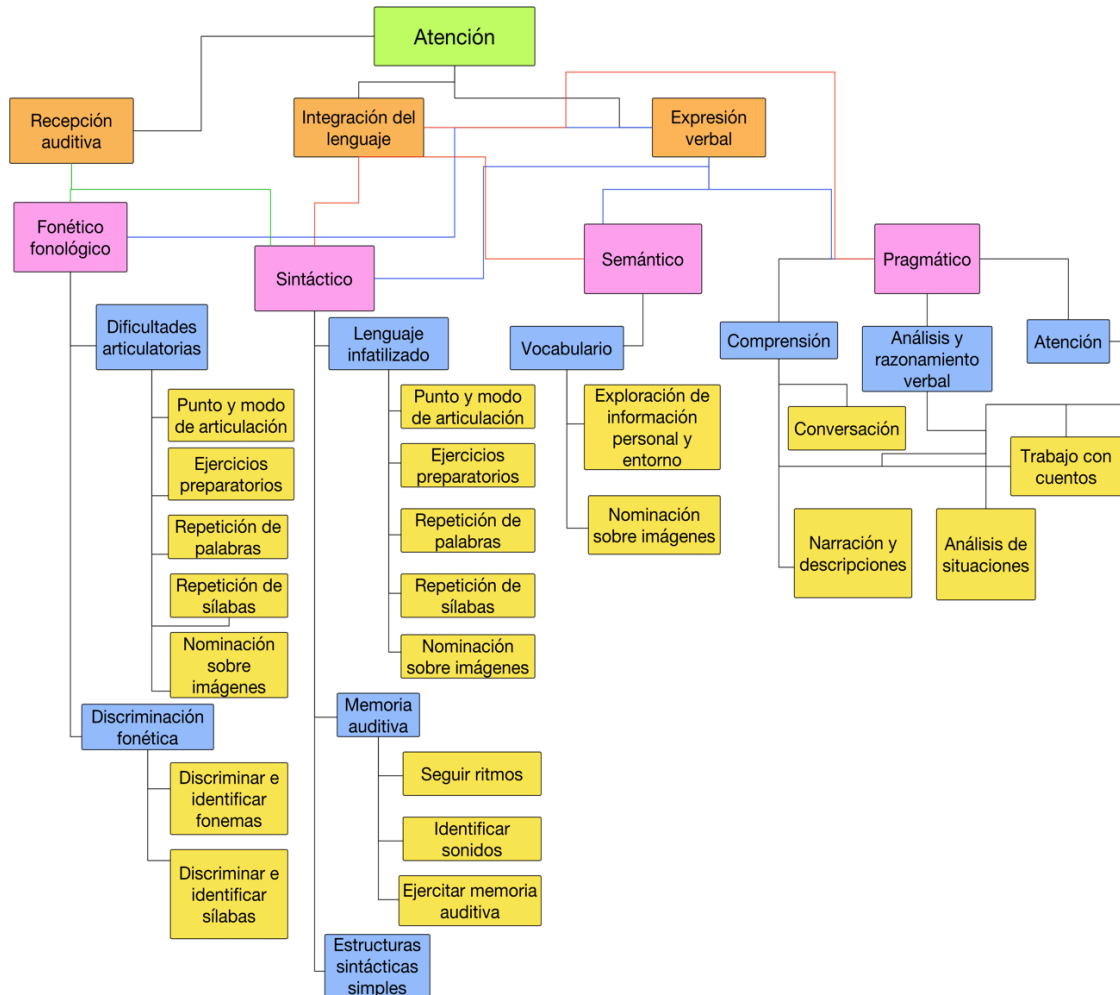


Figura 4.3. Mapa conceptual de la actividad de atención.

Una vez analizados los conceptos utilizados en el diagnóstico, en colaboración con las expertas terapeutas, se determinó abarcar las áreas que comprenden: *dificultades articulatorias* y *discriminación fonológica* (ver Figura 4.2), para diseñar y desarrollar la propuesta de actividad a utilizar para el diagnóstico mediante el sistema propuesto.

Para la propuesta de evaluación en el diagnóstico utilizando SATEL, se tomó como base la actividad de pronunciación de la prueba estandarizada nombrada *exploración lingüística del niño preescolar* del Apéndice B, utilizada por las terapeutas de lenguaje para identificar los problemas fonético/fonológicos presentados por los niños. Los fonemas a evaluar mediante SATEL, son todos los presentes en el idioma español y se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tabla de fonemas presentes en el idioma español.

/a/	/e/	/ll/	/r/
/b/	/f/	/m/	/rr/
/k/	/g/	/n/	/t/
/s/	/j/	/ñ/	/u/
/ch/	/i/	/o/	/y/
/d/	/l/	/p/	/z/

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la actividad de diagnóstico, de manera similar a la utilizada en las terapias convencionales, se determinó utilizar las 52 palabras presentes en la prueba estandarizada mencionada anteriormente. Las palabras tienen un orden específico de aparición, el cual también fue considerado en el diseño de SATEL. A continuación, en la Tabla 4.2, se muestra el orden de las palabras utilizadas en el diagnóstico, expresadas mediante los fonemas que se evalúan en cada una de ellas.

Tabla 4.2. Tabla de palabras para diagnóstico presentadas con los fonemas que evalúan.

1. Foka	9. Kara	17. Silla	25. Tenedor	33. Uña	41. Kruz	49. Bailando
2. Pastel	10. Sigarro	18. Muñeca	26. Pantalón	34. Rrata	42. Tigre	50. Indio
3. Kuchara	11. Vela	19. Oreja	27. Kampana	35. Flores	43. Tren	51. Peine
4. Niño	12. Pescado	20. Kuerno	28. Dedo	36. Blusa	44. Kuadro	52. Sanaoria
5. Perro	13. Tortuga	21. Limón	29. Amariyo	37. Chikles	45. Primo	
6. Estufa	14. Nariz	22. Lápiz	30. Plátano	38. Globo	46. Abión	
7. Oso	15. Barko	23. Tomates	31. Kalzón	39. Fresas	47. Piano	
8. Gato	16. Kandado	24. Ojo	32. Llanta	40. Braso	48. Dientes	

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la actividad de atención, y en relación con las áreas evaluadas en el diagnóstico, se determinó utilizar una actividad similar y llevar a cabo la atención de los problemas presentados por los niños mediante pares de palabras que atienden los fonemas objetivo. En la Tabla 4.3 se muestran ejemplos de pares de palabras utilizados.

Tabla 4.3. Tabla de pares de palabras con fonemas para la actividad de atención.

Bebito-Dedito	Lechuga-Lechuga	Jabón-Jarrón	Toserr-Coserr
Foka-Boka	Gente-Mente	Fuente-Puente	Suerrte-Fuertte
Caro-Carro	Lana-Rrana	Pino-Vino	Rropa-Copa
Caña-Playa	Lobo-Lodo	Muela-Vuela	Casa-Taza
Mono-Moño	Luna-Cuna	Sopa-Sopla	

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diseño de interfaces

La toma de decisiones para el diseño de las interfaces de SATEL se realizó por medio de una sesión de diseño participativo con 30 de los niños y niñas que se encuentran actualmente asistiendo a CAPEP unidad Ensenada. El objetivo de las sesiones de diseño participativo es involucrar a todos los usuarios potenciales en la creación del sistema computacional [24]. Dado que los niños participantes son muy pequeños para emplear técnicas complejas de diseño participativo, se tomó la decisión de utilizar tarjetas ilustrativas sencillas, que fueran fáciles de comprender por los niños [25].

El proceso para la sesión de diseño participativo se llevó a cabo como se muestra a continuación:

1. Definir el proceso de recolección de la información.
Como SATEL está orientado a niños pequeños, pertenecientes a los niveles de preescolar y primeros años de primaria, se tomó la decisión de conocer sus gustos por medio de la selección sobre imágenes.
2. Seleccionar un conjunto de imágenes variadas que regularmente son atractivas para niños del intervalo de edades de interés. Lo anterior, implicó solicitar la opinión de

las terapeutas de lenguaje para determinar las imágenes a utilizar correspondientes a diversos dominios. Dentro del conjunto de dominios de imágenes se encontraban animales comunes, silvestres y de granja (ej. foca y perro), vehículos de transporte (ej. tren y avión), personas caracterizadas (ej. payaso y princesa), juguetes y edificios (ej. casa y castillo).

3. Definir los pasos para la selección de las imágenes preferidas por los infantes. Para conocer los gustos de los niños se les indicó seleccionar tres animales, dos personas caracterizadas y por último, seleccionar una imagen del conjunto de juguetes, edificios y vehículos.
4. Capacitar a terapeutas de lenguaje para la aplicación de la sesión de diseño.
5. Ejecutar la sesión de diseño.

Dentro de los resultados obtenidos de la sesión de diseño, se encontró que para la selección de animales y personas los gustos de los niños son muy variados, por lo que, mediante este proceso, no se logró tomar la decisión de diseño final sobre la utilización de algún animal o personaje específico.

Sin embargo, en el caso del conjunto de juguetes, edificios y vehículos, la mayoría de los niños seleccionó la imagen correspondiente a un castillo, lo que derivó en la selección de la imagen temática representativa para SATEL. En la Figura 4.4 se muestra el diseño de la interfaz de inicio de SATEL.



Figura 4.4. Interfaz de inicio de SATEL

Como funcionalidad de soporte, SATEL cuenta con una interfaz de registro de usuarios, en la cual se solicita el nombre y apellido del niño, además de su fecha de nacimiento, ver Figura 4.5.

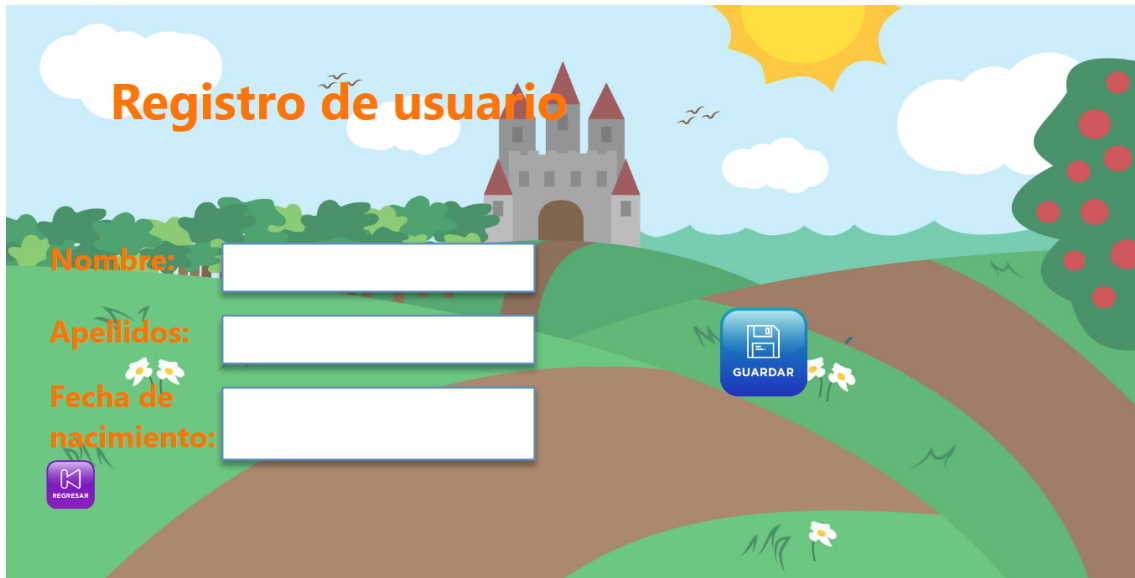


Figura 4.5 Interfaz de registro de SATEL.

Posterior al registro del usuario se procede a la selección del módulo a utilizar: diagnóstico o atención, ver Figura 4.6. Una vez seleccionado el módulo requerido, actividad realizada por el terapeuta o aplicador de la intervención, el usuario verá una de las interfaces presentadas en las Figuras 4.7 y 4.8.



Figura 4.6 Interfaz de selección de módulos y usuario.

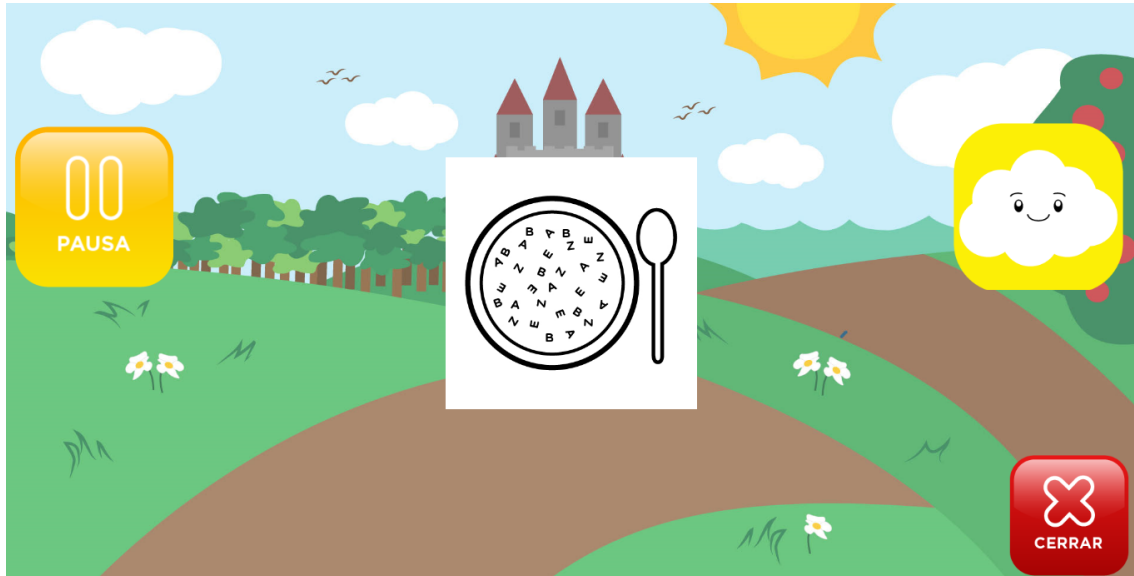


Figura 4.7 Interfaz del módulo de diagnóstico.

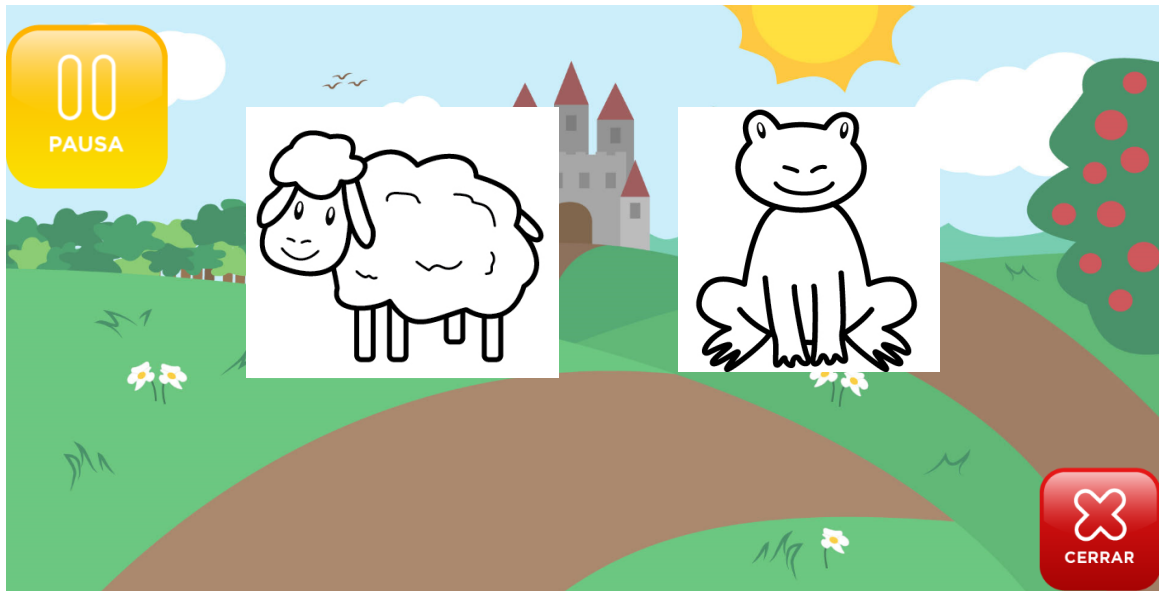


Figura 4.8 Interfaz del módulo de atención.

4.3 SATEL 1.0

Una vez realizada la síntesis de la información del dominio de interés, y seleccionadas las actividades a realizar en diagnóstico y atención, se procedió a realizar la arquitectura requerida por SATEL y el flujo de los módulos propuestos. A continuación se describe la arquitectura y funcionalidad de la primera versión de SATEL.

4.3.1 Arquitectura

En la Figura 4.9 se muestra el diseño de la arquitectura de SATEL que simplifica el proceso de interacción entre los componentes del sistema. La arquitectura consta de tres niveles o capas que son: el nivel de *Usuario*, nivel de *Aplicación* y nivel de *Base de datos*.

En el nivel de *Usuario* se encuentran los componentes que interactúan directamente con el usuario, incluyendo las interfaces de diagnóstico, atención, registro y el sensor Kinect. El usuario interactúa con las interfaces para utilizar los módulos proporcionados por SATEL, así como para llevar a cabo su registro. Una vez que el usuario ha seleccionado un módulo, el sensor Kinect queda en espera de la emisión de sonidos por parte del usuario.

En el nivel de *Aplicación* se encuentran los componentes que utiliza SATEL para realizar los procedimientos necesarios de diagnóstico y atención. Una vez que el usuario emite algún sonido, SATEL, por medio de las librerías *Microsoft.Speech.Kinect*, *Microsoft.Speech.AudioFormat* y *Microsoft.Speech.Recognition*, procesa la información y la compara con la gramática definida en *SpeechGrammar.xml* para determinar si el usuario se encuentra proporcionando respuestas correctas o incorrectas. En el nivel de *Base de Datos* se encuentran los componentes que permiten el almacenamiento de la información proporcionada por el usuario.

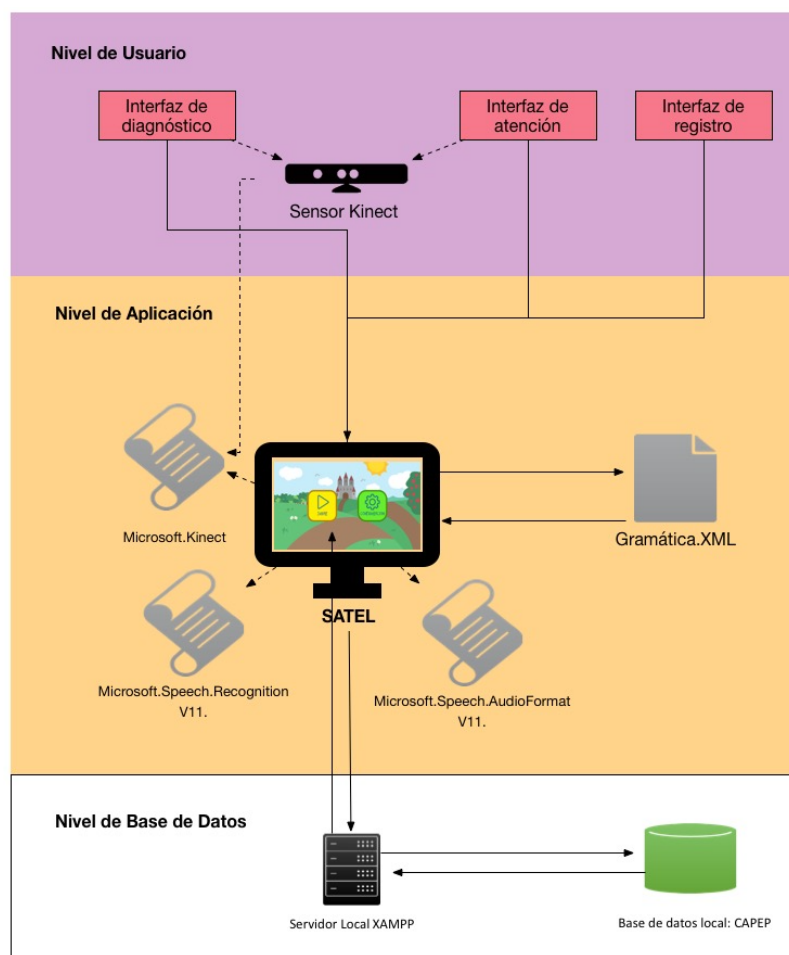


Figura 4.9. Arquitectura de SATEL.

4.3.2 Algoritmos

Tradicionalmente, en las terapias de TEL convencionales, las actividades de diagnóstico y atención se realizan mediante intervenciones presenciales terapeuta-infante utilizando imágenes en papel. Las terapeutas de lenguaje muestran al niño cada una de las imágenes esperando que éste mencione de manera espontánea la palabra correspondiente; si la actividad atendida es diagnóstico, sólo evalúan el conocimiento y pronunciación del niño; por otra parte, si se encuentran en la actividad de atención, la maestra proporciona retroalimentación sobre los errores cometidos por el niño. A continuación se muestran los algoritmos desarrollados en SATEL para atender las actividades de interés.

Los algoritmos implementados para el módulo de diagnóstico y atención requieren como insumo el archivo de gramática *SpeechGrammar.xaml*, en el cual se almacena el conjunto de palabras definidas para el módulo de diagnóstico, cada palabra está relacionada con una de las imágenes propuestas; todo esto con un orden predefinido, respetando el mismo orden de aparición de las imágenes. De igual forma, sucede con el algoritmo de atención, que requiere del archivo de gramática mencionado. El algoritmo 1 describe el funcionamiento del módulo de diagnóstico.

Algoritmo 1. Algoritmo propuesto para el módulo de diagnóstico

1. Se toma la primera imagen del conjunto definido en el archivo de gramática *SpeechGrammar.xaml*.
2. El objeto *Sensor* de la clase *KinectSensor* se activa y queda en espera hasta escuchar algún sonido.
3. Por medio de la librería *Microsoft.Speech.AudioFormat*, se convierte el sonido recibido, por la instancia del objeto *Sensor* a una cadena de caracteres que recibe el nombre de *Result.Semantics.Value*.
4. Se obtiene un índice de confianza indicando la claridad percibida en la pronunciación. Este valor es almacenado para entrenar al sistema en la detección de palabras correctas e incorrectas.
 - 4.1. Mediante un cálculo de promedio de los índices de confianza de cada palabra contenida en *SpeechGrammar.xaml*, se determina si el niño se encuentra realizando una pronunciación correcta o incorrecta al comparar dicho cálculo con el índice de confianza de la pronunciación realizada. Para cada una las palabras definidas en *SpeechGrammar.xaml*, que corresponden a las imágenes presentadas según el orden predeterminado, se realiza una comparación con las cadenas de caracteres obtenidas en *Result.Semantics.Value*.
 - 4.1.1. Si *Result.Semantics.Value* coincide con la palabra correspondiente a la imagen mostrada, se guardará en la base de datos como una respuesta correcta y se mostrará la siguiente imagen según el orden.
 - 4.1.2. Si *Result.Semantics.Value* no coincide con la palabra correspondiente a la imagen mostrada, se guardará en la base de datos como una respuesta incorrecta y se mostrará la siguiente imagen según el orden.
5. Una vez presentadas todas las imágenes, se mostrarán los resultados obtenidos: cantidad de palabras correctas, cantidad y palabras que resultaron incorrectas.

Por medio del diagrama de flujo de la Figura 4.10 se presenta de forma visual el proceso de la actividad de diagnóstico.

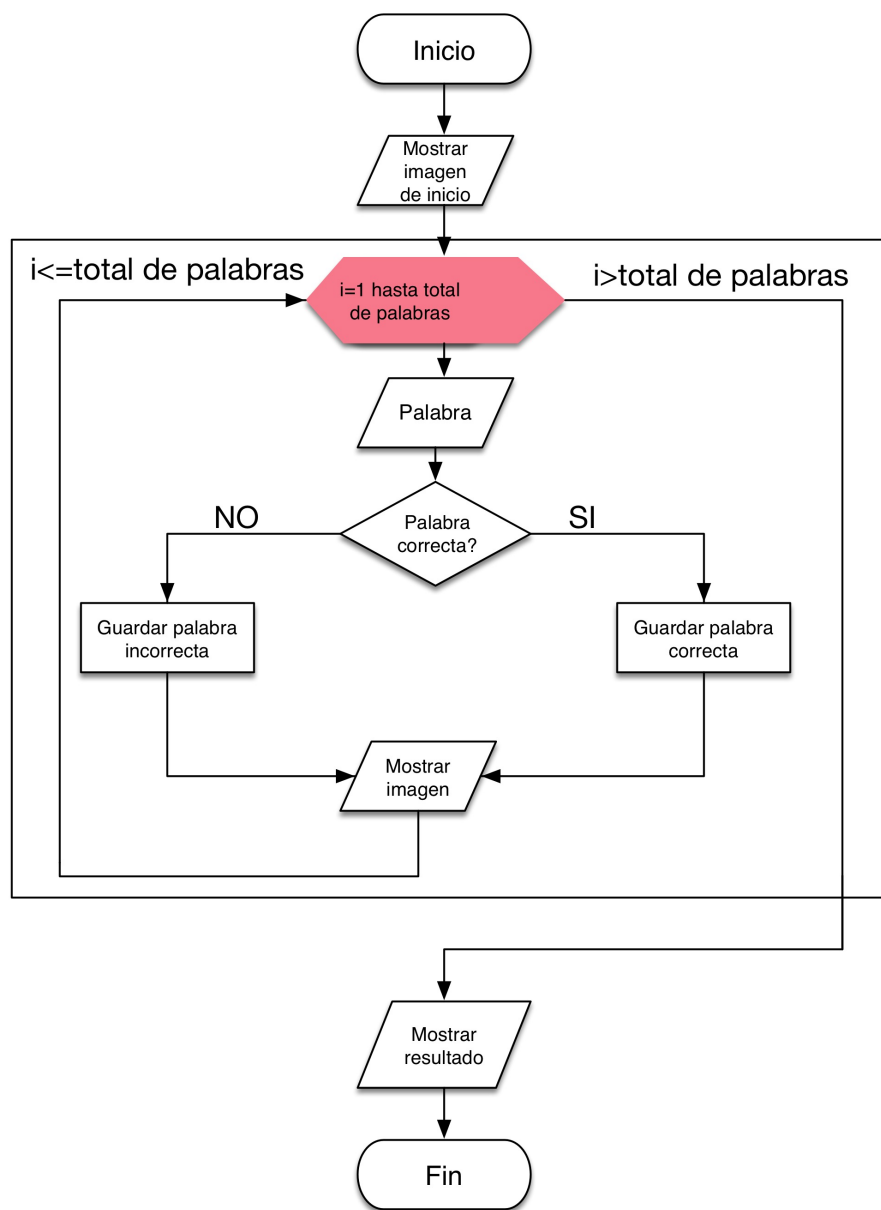


Figura 4.10. Diagrama de flujo módulo de Diagnóstico

Similar al funcionamiento de la actividad anterior, el algoritmo 2 muestra los procedimientos requeridos en el módulo de atención.

Algoritmo 2. Algoritmo propuesto para el módulo de atención

1. Se toman las primeras dos imágenes del conjunto definido en el archivo de gramática *SpeechGrammar.xml*.

2. El objeto *Sensor* de la clase *KinectSensor* se activa y queda en espera hasta escuchar algún sonido.
3. Por medio de la librería *Microsoft.Speech.AudioFormat* se convierte el sonido recibido por la instancia del objeto *Sensor* a una cadena de caracteres que recibe el nombre de *Result.Semantics.Value*.
4. Se obtiene un índice de confianza indicando la claridad percibida en la pronunciación. Este valor es almacenado para entrenar al sistema en la detección de palabras correctas e incorrectas.
 - 4.1. Mediante un cálculo de promedio de los índices de confianza de cada palabra contenida en *SpeechGrammar.xaml*, se determina si el niño se encuentra realizando una pronunciación correcta o incorrecta, al comparar dicho cálculo con el índice de confianza de la pronunciación realizada.
 - 4.2. Para cada una las palabras definidas en *SpeechGrammar.xaml*, que corresponden al par de imágenes presentadas según el orden predeterminado, se realiza una comparación con las cadenas de caracteres obtenidas en *Result.Semantics.Value*.
 - 4.2.1. Si *Result.Semantics.Value* coincide con la palabra correspondiente a la imagen resaltada con un marco de color rojo, se guardará en la base de datos como una respuesta correcta y se resaltará la segunda imagen. Una vez realizada la comparación para la segunda imagen se mostrará el siguiente par de imágenes.
 - 4.2.2. Si *Result.Semantics.Value* no coincide con la palabra correspondiente a la imagen resaltada con un marco de color rojo, se guardará en la base de datos como una respuesta incorrecta y se resaltará la segunda imagen. Una vez realizada la comparación para la segunda imagen se mostrará el siguiente par de imágenes.
5. Presentados todos los pares de imágenes, se mostrarán los resultados obtenidos: cantidad de palabras correctas, cantidad de palabras incorrectas y las palabras que resultaron incorrectas.

Por medio del diagrama de flujo de la Figura 4.11 se presenta de forma visual el proceso del módulo de atención.

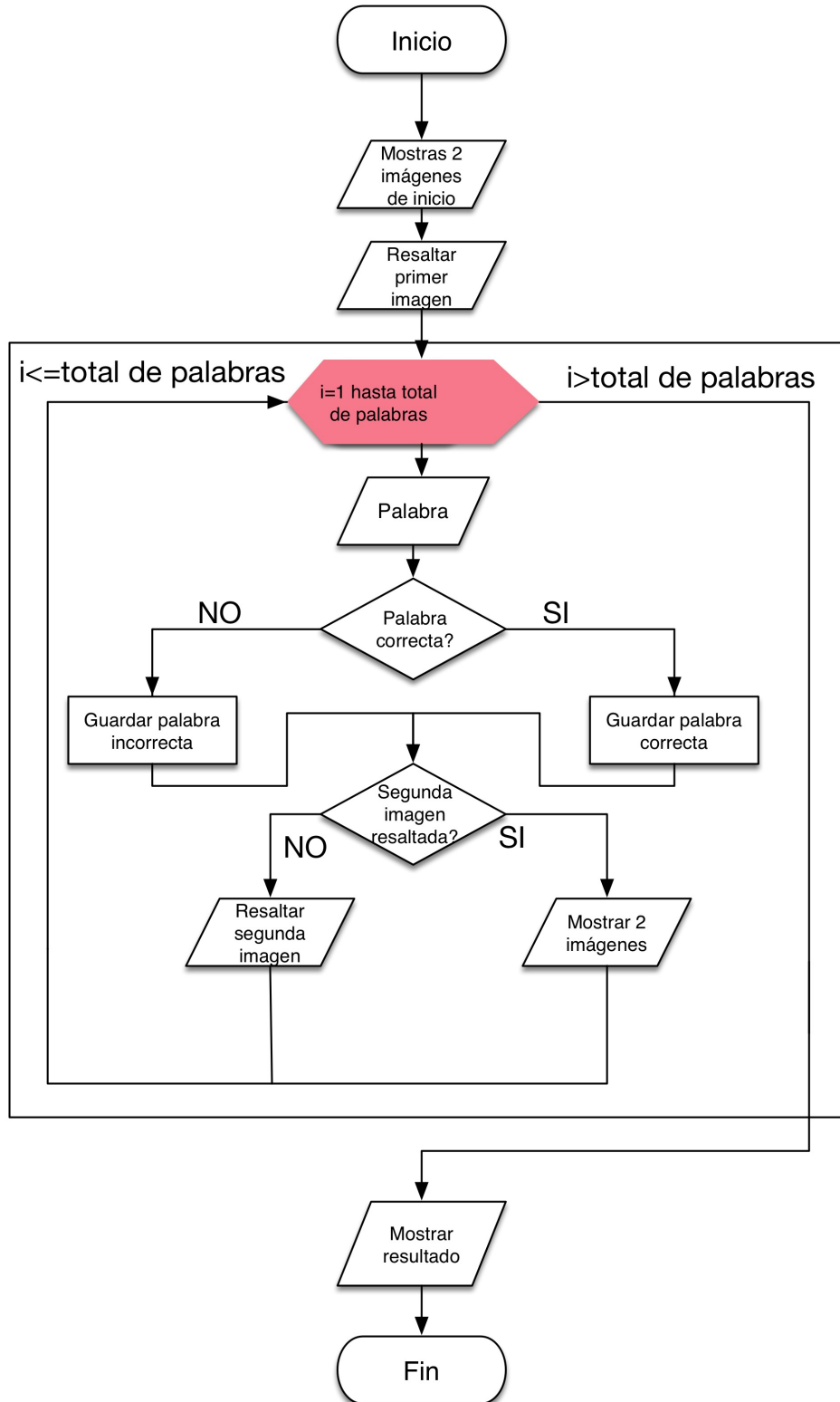


Figura 4.11. Diagrama de flujo módulo de Atención

4.4 SATEL 2.0

Como producto de los resultados obtenidos en la primera etapa de evaluaciones de SATEL, descritos en el Capítulo 5, sección 5.1, se diseñó e implementó la base de conocimiento del sistema mediante una ontología. Aunado a lo anterior, se realizaron cambios sustanciales para mejorar la confiabilidad de las estimaciones de pronunciaci3nes correctas e incorrectas realizadas mediante SATEL, abarcando la detecci3n de la pronunciaci3n tanto en el m3dulo de diagn3stico como en el de atenci3n, dando como resultado la segunda versi3n del sistema propuesto SATEL.

4.4.1 Dise1o del modelo de aprendizaje adaptativo

Mediante el an3lisis de los datos obtenidos directamente de los participantes en la primera etapa de evaluaciones (ni1os y terapeutas), la observaci3n de los investigadores y un cuestionario adicional (Ap3ndice C), se dise1o un modelo de aprendizaje adaptativo para proporcionar una instrucci3n personalizada a los usuarios de SATEL. Hoy en d3a, el aprendizaje adaptativo es un tema de investigaci3n relevante; sin embargo, todav3a no se utiliza a menudo en la pr3ctica [26]. El objetivo del aprendizaje adaptativo es personalizar las instrucciones con base en varios factores, como el contexto, los dispositivos utilizados, y las peculiaridades de cada estudiante; permitiendo personalizar desde el contenido del dominio y la presentaci3n del sistema, hasta la secuencia de instrucciones [27]. El dise1o propuesto para el modelo del dominio de inter3s, considera adaptar la secuencia y el contenido inicial de las terapias, de acuerdo a los requisitos espec3ficos de cada ni1o al utilizar SATEL. Al observar la complejidad del dominio y la alta dependencia de los expertos, para entender y validar el modelo propuesto, se decidi3 utilizar ontolog3as para la representaci3n del conocimiento del experto, lo cual permiti3 establecer una comprensi3n y estructura com3n del conocimiento entre terapeutas y computadoras [28]. Para el desarrollo e implementaci3n del modelo del dominio se utiliz3 el lenguaje est3ndar de representaci3n de ontolog3as OWL y la herramienta de c3digo abierto Prot3g3, utilizada ampliamente en el modelado y representaci3n de ontolog3as.

A continuaci3n se presenta la informaci3n obtenida de las fuentes indicadas, que fue primordial en la elaboraci3n del modelo de conocimiento de SATEL.

Resultados obtenidos del cuestionario aplicado a terapeutas de SATEL.

1. El nivel de complejidad de las palabras se relaciona con el tipo de fonemas y la cantidad de s3labas (longitud de la palabra) que las forman.
2. Las terapeutas del CAPEP dividen los fonemas del idioma espa1ol en cuatro niveles de complejidad.
 - Nivel I. Fonemas voc3licos (a, e, i, o, u).
 - Nivel II. Fonemas conson3nticos (b, k, d, f, g, j, l, m, n, p, s, t, y).
 - Nivel III. Fonemas conson3nticos (r, rr).
 - Nivel IV. Fonemas compuestos (dra, fra, gra, pra, tra, bla, kla, fla, glo, pla, tla).
3. La clasificaci3n de la articulaci3n de fonemas se basa en las categor3as del Alfabeto Fon3tico Internacional: bilabial, dental, alveolar, etc. [29].
4. El tiempo recomendado para una sesi3n de terapia es de entre cinco y siete minutos.
5. Edad de los ni1os y niveles de complejidad dominada:

- a) Los niños entre 2 y 2.5 años de edad deben ser competentes en el uso de palabras que se encuentran dentro de los niveles de complejidad I y II.
- b) A partir de los 5 años, los niños deben ser competentes en el uso de palabras compuestas por los fonemas de los niveles de complejidad III y IV.

4.4.2 Descripción de la ontología de SATEL

El diseño de la ontología propuesta se generó a partir de los datos obtenidos de los participantes del estudio (niños y terapeutas de lenguaje). En la figura 4.12 se muestra el diagrama de clases de la ontología resultante.

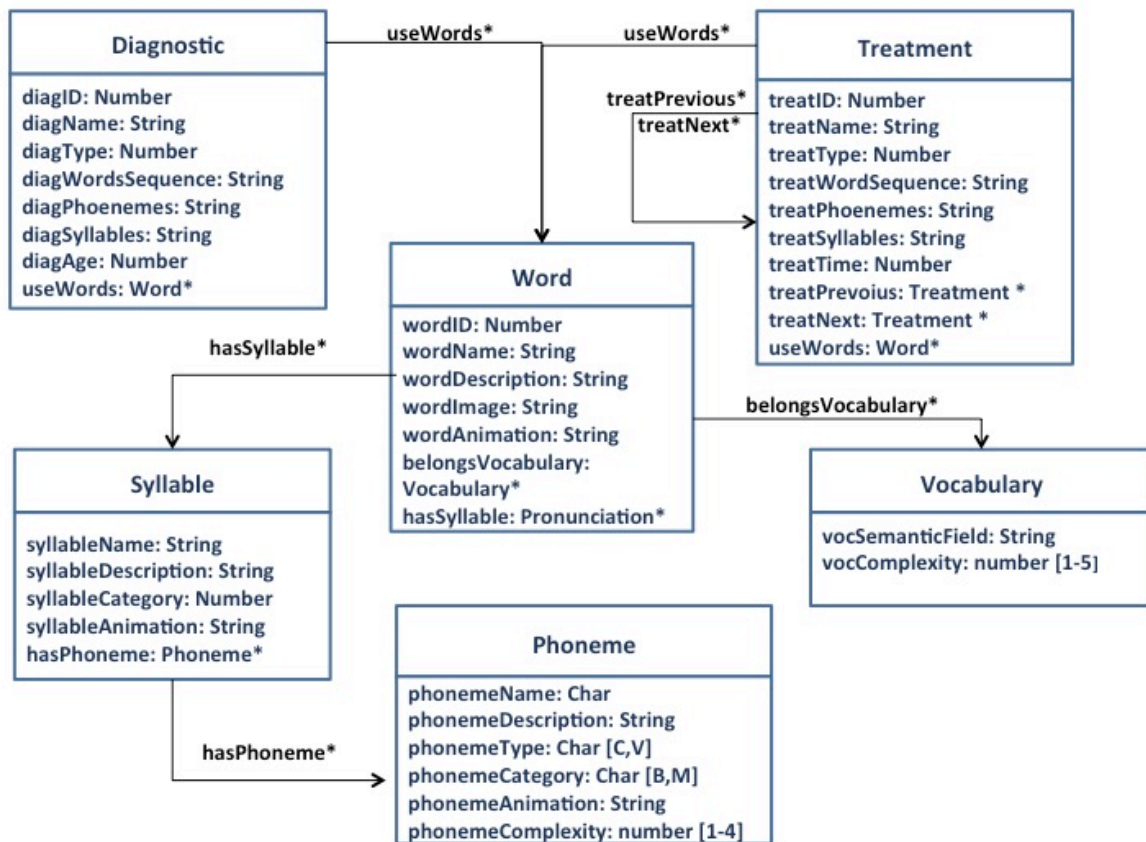


Figura 4.12. Diseño de la ontología para SATEL.

La ontología mencionada se compone de tres niveles o capas de clases: el nivel superior que comprende las clases de diagnóstico y atención, el nivel básico o central con las clases palabra y vocabulario, y finalmente el nivel inferior o nivel simbólico donde se encuentran las clases fonema y sílaba.

En el nivel superior se cubren los aspectos y elementos eje dentro del dominio ontológico, siendo éstas las actividades consideradas de alto nivel: diagnóstico y atención de TEL. La clase Diagnóstico (Diagnostic) incluye los atributos descriptivos y variables a considerar de acuerdo a las necesidades específicas de cada niño, como son los fonemas,

sílabas y palabras. Del mismo modo, la clase Atención (Treatment) presenta los fonemas, sílabas y palabras a fortalecer durante la intervención, así como la atención previa y próxima a abordar en caso de éxito, éxito parcial o no alcanzar los resultados esperados. Ambas clases están conectadas a la clase Palabra (Word) mediante el atributo *useWords*, que permite establecer la relación entre las clases del nivel superior y las palabras utilizadas para los procesos de atención o diagnóstico.

El nivel central incluye los diferentes tipos de intervenciones dirigidas por el sistema SATEL y la selección de palabras utilizadas en las terapias de TEL. La clase Palabra incluye los elementos básicos de la base del conocimiento; esto es, todas las palabras seleccionadas para ser usadas en el diagnóstico y/o atención. El atributo *wordAnimation* se utiliza para indicar la animación que proporciona la retroalimentación de pronunciación para cada palabra. Todas las palabras se pueden utilizar para mejorar la pronunciación y el vocabulario, es por esto que dicha clase se encuentra relacionada con las clases Vocabulario (Vocabulary) y Sílabas (Syllable) mediante los atributos *hasVocabulary* y *hasSyllable*. La relación de la clase Palabra y Sílabas es fundamental, ya que la composición de las palabras es por medio de la unión de una o varias sílabas, que a su vez se componen por entidades aún más pequeñas, los fonemas, que nos llevan al último nivel de la ontología, el nivel simbólico.

El nivel inferior o simbólico incluye la clase básica Fonema (Phoneme), que en conjunto con la clase Sílabas, construyen las entidades dentro de la clase Palabra. Similar a la clase Palabra, el atributo *Animation* se utiliza para indicar los archivos multimedia de cada fonema o sílabas específico.

4.4.3 Arquitectura de SATEL 2.0

Debido a los cambios realizados a la versión 1.0 de SATEL, se generó una nueva arquitectura para plasmar el proceso de interacción entre los componentes de SATEL 2.0. La nueva arquitectura se compone de los 3 niveles presentes en SATEL 1.0 y un nuevo nivel, el referente al conocimiento del experto (ver Figura 4.13).

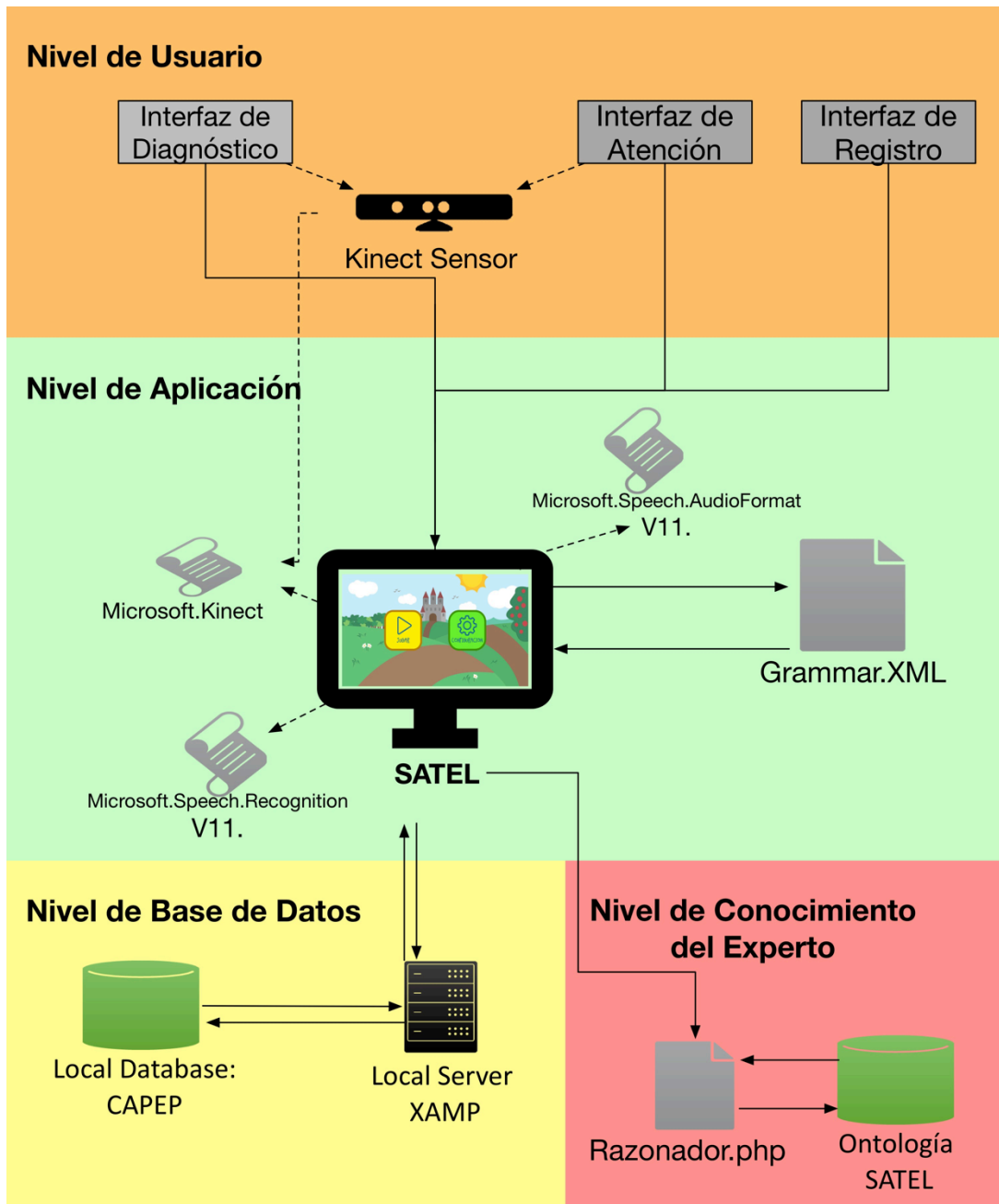


Figura 4.13. Arquitectura de SATEL 2.0.

De igual forma que en SATEL 1.0, en el nivel de *Usuario* de SATEL 2.0, se encuentran los componentes que interactúan directamente con el usuario, las interfaces de diagnóstico, atención, registro y el sensor Kinect. En el nivel de *Aplicación*, de nuevo se encuentran los componentes que utiliza SATEL para realizar los procedimientos necesarios de diagnóstico y atención, mediante el uso de las librerías *Microsoft.Speech.Kinect*, *Microsoft.Speech.AudioFormat* y *Microsoft.Speech.Recognition*. Estas librerías se utilizan para procesar la información emitida por el usuario y proceder a realizar la comparación con la gramática definida en *SpeechGrammar.xml*. En el nivel de *Base de Datos* se encuentran los componentes que permiten el almacenamiento de la información

proporcionada por el usuario al interactuar con SATEL. Finalmente en el nivel de *Conocimiento del experto* se concentra la información obtenida directamente de los terapeutas de lenguaje para llevar a cabo el diagnóstico y la atención de niños con TEL.

4.4.4 Algoritmos de SATEL 2.0

Una vez diseñada e implementada la ontología que representa el conocimiento del experto terapeuta de lenguaje, y diseñada la arquitectura de interacción de los componentes de SATEL 2.0 se procedió a actualizar los algoritmos a utilizar en el proceso de los módulos de atención y diagnóstico.

4.4.4.1 Algoritmo para módulo de Diagnóstico

Con el fin de aumentar la confiabilidad del módulo de diagnóstico, se mejoró el algoritmo utilizado en el proceso para la detección de palabras correctas e incorrectas. De igual manera que en los algoritmos utilizados en la versión 1.0 de SATEL, se requiere el archivo de gramática *SpeechGrammar.xaml*, archivo que almacena el conjunto de palabras definidas para la detección de pronunciación al utilizar el módulo de diagnóstico. Dichas palabras están relacionadas con cada una de las imágenes propuestas en esta actividad y mantienen un orden predefinido, el mismo orden de aparición de las imágenes.

El algoritmo del módulo de diagnóstico de SATEL 1.0, realizaba un promedio de los índices de confianza almacenados para cada una de las palabras, que permitía determinar el límite entre las palabras que se aceptaban como correctas e incorrectas, sin embargo este cálculo se veía afectado por los puntajes extremos almacenados. Para solucionar el problema de los índices de confianza extremos, en SATEL 2.0 se calcularon las posiciones del primer y tercer cuartil en los índices de confianza ordenados ascendentemente. Finalmente, el cálculo del promedio de índices de confianza para cada palabra se realizó con los elementos contenidos dentro del intervalo conformado por la posición del cuartil 1 y el 3.

Algoritmo 3. Algoritmo propuesto para el módulo de diagnóstico en SATEL 2.0

1. Se toma la primera imagen del conjunto definido en el archivo de gramática *SpeechGrammar.xaml*.
2. El objeto *Sensor* de la clase *KinectSensor* se activa y queda en espera hasta escuchar algún sonido.
3. Por medio de la librería *Microsoft.Speech.AudioFormat* se convierte el sonido recibido, por la instancia del objeto *Sensor* a una cadena de caracteres que recibe el nombre de *Result.Semantics.Value*.
4. Se obtiene un índice de confianza indicando la claridad percibida en la pronunciación. Este valor es almacenado para entrenar al sistema en la detección de palabras correctas e incorrectas.
5. Para determinar si una palabra es correcta o incorrecta se realizan los siguientes puntos.
 - 5.1. Se realiza un ordenamiento de menor a mayor de los índices de confianza de cada palabra contenida en *SpeechGrammar.xaml*, y se determinan las posiciones del primer y tercer cuartil. Una vez determinadas las posiciones de los cuartiles, se realiza un cálculo de promedio de los índices de confianza mencionados, con los elementos contenidos dentro del rango establecido por las posiciones de los

cuartiles. Para determinar si el niño se encuentra realizando una pronunciación correcta, se realiza una comparación del cálculo de promedio y el índice de confianza de la pronunciación realizada. Si en la comparación el índice de confianza es igual o mayor al cálculo de promedio se procede a la siguiente comparación.

- 5.2. Para cada una de las palabras definidas en *SpeechGrammar.xml*, que corresponden a las imágenes presentadas según el orden predeterminado, se realiza una comparación con las cadenas de caracteres obtenidas en *Result.Semantics.Value*.
 - 5.2.1. Si *Result.Semantics.Value* coincide con la palabra correspondiente a la imagen mostrada, se guardará en la base de datos como una respuesta correcta y se mostrará la siguiente imagen según el orden.
 - 5.2.2. Si *Result.Semantics.Value* no coincide con la palabra correspondiente a la imagen mostrada, se guardará en la base de datos como una respuesta incorrecta y se mostrará la siguiente imagen según el orden.
6. Una vez presentadas todas las imágenes, se mostrarán los resultados obtenidos: cantidad de palabras correctas, cantidad de palabras incorrectas y palabras que resultaron incorrectas.

4.4.4.2 Algoritmo para módulo de Atención

Al igual que en el algoritmo de diagnóstico, en el módulo de atención también se realizaron mejoras en cuanto a la confiabilidad de la precisión en la detección de la pronunciación del niño. Además, el proceso del módulo de atención se complementó con la unión de la ontología de representación del conocimiento del experto para la toma de decisiones en cuanto a las palabras que el niño deberá de trabajar en una terapia.

Algoritmo 4. Algoritmo para módulo de atención en SATEL 2.0

1. Al inicio del proceso realizado en el módulo de atención se realiza una consulta a la base de datos, para solicitar la información sobre el desempeño del último diagnóstico realizado por el niño; específicamente, las palabras pronunciadas incorrectamente.
2. Por medio de *servicios web* se envían las palabras incorrectas al archivo *razonador.php*, que utiliza el *Algoritmo 5* para descomponerlas en sílabas y en fonemas. En el razonador se realiza un proceso de conteo para determinar los fonemas que se repiten con mayor frecuencia, que serán considerados como aquellos que representan mayor dificultad al niño. Finalmente, una vez terminado el proceso del *Algoritmo 5*, el *razonador.php* regresa la información requerida para continuar con el proceso del módulo de atención.
3. Se recibe un arreglo con cinco palabras para trabajar en el módulo de atención, dicho arreglo proviene del razonador al ejecutar el *Algoritmo 5*.
4. Se crea el archivo de gramática *SpeechGrammar.xml* donde se almacena el conjunto de palabras y sílabas definidas para el módulo de atención, relacionadas con cada una de las imágenes propuestas para la identificación de la pronunciación.
5. Se muestra la primera imagen correspondiente a la primera palabra del conjunto de cinco palabras.
6. La instancia del objeto *Sensor* de la clase *KinectSensor* se activa y queda en espera de escuchar algún sonido.

7. Por medio de la librería *Microsoft.Speech.AudioFormat* convierte el sonido recibido por la instancia del objeto *Sensor* a una cadena de caracteres que recibe el nombre de *Result.Semantics.Value*.
8. Se obtiene un índice de confianza indicando la claridad percibida en la pronunciación. Este valor es almacenado para entrenar al sistema en la detección de palabras y sílabas correctas e incorrectas.
9. Para determinar si una palabra o sílaba es correcta e incorrecta se realizan los siguientes puntos:
 - 9.1. Se realiza un ordenamiento de menor a mayor de los índices de confianza de cada palabra y sílabas contenidas en *SpeechGrammar.xml*, y se determinan las posiciones del primer y tercer cuartil. Una vez determinadas las posiciones de los cuartiles, se realiza un cálculo de promedio de los índices de confianza mencionados, con los elementos contenidos dentro del rango establecido por las posiciones de los cuartiles. Para determinar si el niño se encuentra realizando una pronunciación correcta, se realiza una comparación del cálculo de promedio y el índice de confianza de la pronunciación realizada. Si en la comparación el índice de confianza es igual o mayor al cálculo de promedio se procede a la siguiente comparación.
 - 9.2. Para cada una de las palabras o sílabas definidas en *SpeechGrammar.xml*, que corresponden a las imágenes presentadas, se realiza una comparación con las cadenas de caracteres obtenidas en *Result.Semantics.Value*.
 - 9.2.1. Si *Result.Semantics.Value* coincide con la palabra o sílaba correspondiente a la imagen mostrada, se guardará en la base de datos como una respuesta correcta y se mostrará la siguiente imagen.
 - 9.2.2. Si *Result.Semantics.Value* no coincide con la palabra correspondiente a la imagen presentada, se guardará en la base de datos como una respuesta incorrecta y se reproducirá una animación donde se muestra al niño como decir la palabra que representa la imagen.
 - 9.2.3. Se esperará de nuevo una respuesta proporcionada por el niño, si ésta es una respuesta incorrecta, se dividirá dicha palabra por sílabas y se le mostrará una animación de cómo pronunciar cada una de ellas. Se espera que el niño proporcione la pronunciación de dichas sílabas, almacenando si se trata de una pronunciación correcta o incorrecta.
10. Una vez mostrado el conjunto de las 5 imágenes y sus respectivas sílabas, en caso de que haya sido necesario que el niño las proporcionara, se mostrarán los resultados obtenidos, que constan principalmente de una matriz de botones representando todos los fonemas del alfabeto español, que al presionarlos muestran la animación correspondiente a cada fonema y su pronunciación. A modo de retroalimentación se resalta de color rojo los fonemas en los cuales el niño ha presentado mayor dificultad para pronunciar y que deberá seguir practicando.



Figura 4.14. Interfaz de recomendación de fonemas en atención para SATEL 2.0.

Algoritmo 5. Algoritmo razonador de conocimiento del experto

1. Se reciben de la base de datos de usuarios de SATEL las palabras incorrectas del último diagnóstico realizado por el niño y se guardan en un arreglo.
2. Se realiza la separación de las palabras por sílabas, utilizando la ontología, la cual recibe como parámetro el arreglo de palabras.
3. Una vez separadas la palabras por sílabas, utilizando la base de conocimiento en la ontología, se realiza la separación por fonemas para identificar aquellos que se repiten con mayor frecuencia, lo que nos permitirá detectar cuál o cuáles son los de mayor dificultad para el niño.
4. Una vez identificado el o los fonemas con mayor dificultad, se realiza una nueva consulta a la ontología, enviando como parámetro cada fonema detectado, permitiéndonos obtener todas las palabras donde se encuentra dicho fonema que puedan ser utilizadas en el proceso de atención.
5. Del conjunto de palabras obtenidas se guardan cinco en un arreglo. Dichas palabras pertenecen al grupo de palabras que se tomarán en el proceso de atención para trabajarlas con el niño. Además de las palabras a trabajar, se obtienen las sílabas y fonemas que las conforman.
6. Por último, se envía a SATEL el arreglo con la información descrita en el punto anterior.

En relación al nuevo proceso que se lleva a cabo en el módulo de atención, se desarrolló una nueva presentación de la interfaz de este módulo, que permite atender las necesidades de este proceso (ver Figura 4.15), y mediante un avatar animado, se muestran ejemplos de pronunciación correctas de palabras, fonemas y sílabas.

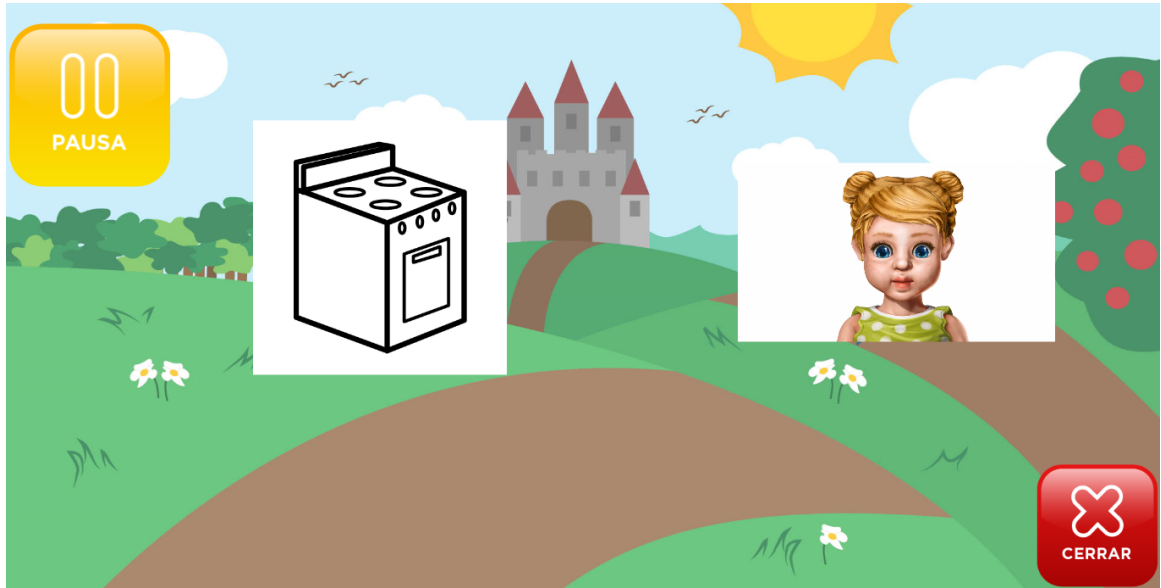


Figura 4.15. Interfaz de atención en SATEL 2.0.

Capítulo 5

Resultados de evaluaciones de SATEL

Una vez concluido el proceso de diseño y desarrollo de cada una de las versiones de SATEL, se llevaron a cabo sus respectivas evaluaciones. Para la primera versión, se evaluaron los módulos de diagnóstico y atención. A partir de los resultados, se desarrolló una segunda versión de SATEL, la cual da solución a los problemas de desempeño y mejoras de interfaz detectados en la primera versión.

El objetivo de la segunda evaluación realizada a SATEL consistió en identificar la existencia de mejoras en el desempeño y nivel de aceptación por los usuarios del sistema en los módulos de diagnóstico y atención. A continuación se muestran los resultados de las dos etapas evaluadas.

5.1 Evaluaciones de SATEL 1.0

La evaluación de SATEL 1.0 se desarrolló en 2 fases, la primera de ellas con un niño de 8 años de edad, sin problemas identificados de TEL. La segunda fase se realizó con niños diagnosticados con TEL, atendidos en CAPEP unidad Ensenada.

5.1.1 Evaluación formativa con niño de 8 años

Inicialmente se realizaron pruebas de laboratorio con un niño de 8 años sin problemas de lenguaje, que en el momento de la intervención asistía a una escuela regular (ver Figura 5.1). La finalidad de esta evaluación fue identificar problemas con el diseño, interfaz, y las imágenes presentadas en los módulos de diagnóstico y atención.



Figura 5.1. Niño de 8 años utilizando SATEL

El niño utilizó los dos módulos de SATEL, diagnóstico y atención. El uso de ambos módulos le tomó un tiempo aproximado de 10 minutos con cada uno de ellos. De las pruebas realizadas se llegó a las siguientes conclusiones y observaciones, descritas por separado para cada uno de los módulos:

5.1.1.1 Módulo de *Diagnóstico*

Las respuestas incorrectas proporcionadas por el niño se debieron a situaciones de confusión generadas por las imágenes utilizadas. Las acciones tomadas para corregir las confusiones detectadas para algunas de las imágenes fueron las siguientes: 1) rediseñar imágenes confusas, y 2) para imágenes que no era posible rediseñar se proporcionó ayuda audible (pista), dando indicaciones al niño para que repita una palabra específica.

5.1.1.2 Módulo de *Atención*

Las respuestas incorrectas proporcionadas por el niño en este módulo se debieron a confusión generada por la complejidad de las imágenes. Las acciones tomadas en el módulo de Atención fueron eliminar las imágenes confusas y rediseñar las que se consideraron factibles de mejora.

5.1.2 Evaluación formativa con niños de CAPEP

El objetivo de esta evaluación fue determinar la precisión del sistema en la detección de pronunciaciones tanto correctas como incorrectas, valorar si la secuencia propuesta en cada una de las actividades era adecuada para la población objetivo, y finalmente identificar posibles errores. Esta evaluación formativa se llevó a cabo con 17 niños que actualmente asisten a CAPEP (ver Figura 5.2). Los niños que utilizaron SATEL fueron diagnosticados con diversos problemas de lenguaje, tales como poco vocabulario y dificultades de pronunciación. Aunado a lo anterior, el presentar menor edad que el usuario de 8 años, derivó en que les llevara un poco más de tiempo el terminar las actividades presentadas en el sistema.



Figura 5.2. Niño de CAPEP utilizando SATEL

Finalmente, del análisis y las observaciones realizadas en esta evaluación, para cada uno de los módulos presentados en SATEL, se determinaron las conclusiones presentadas a continuación.

5.1.2.1 Módulo de *Diagnóstico*

A cada uno de los niños que participaron le tomó cerca de 15 minutos terminar la actividad del módulo de diagnóstico. De los resultados obtenidos y las observaciones realizadas, se determinó agregar una funcionalidad extra para permitirle al niño contar con dos oportunidades de pronunciar una palabra correctamente. Esta funcionalidad se incorporó en SATEL 2.0.

5.1.2.2 Módulo de *Atención*

En el módulo de *Atención*, aun cuando se identificó como una actividad relativamente sencilla para el niño de 8 años en la primera etapa de pruebas de SATEL, fue de gran dificultad para los niños de CAPEP, ya que les generaba confusión el que se presentaran dos imágenes al mismo tiempo. En la nueva versión de SATEL se consideró modificar este módulo para presentar a los niños una imagen a la vez, además de proporcionar retroalimentación sobre la correcta pronunciación de las palabras.

5.1.3 Análisis de precisión en la detección de pronunciación

Dado que el módulo de atención presentó gran dificultad para los niños de CAPEP, no se obtuvieron datos en la detección de la pronunciación que se pudieran analizar para comprobar la efectividad de SATEL 1.0; tanto en la clasificación de pronunciaciones correctas o incorrectas proporcionadas por el niño. Sin embargo, en el módulo de diagnóstico el escenario fue diferente, ya que los niños pudieron realizar esta actividad de forma funcional.

El análisis de la información recolectada automáticamente por SATEL, y las grabaciones de video de los niños que utilizaron el sistema durante la primera etapa de evaluaciones, arrojaron los datos mostrados en la tabla 5.1. Considerando el tiempo requerido para analizar el total de las intervenciones realizadas, se determinó realizar dicho análisis con una muestra representativa; lo cual se llevó a cabo con el 44% de los participantes. La selección de las intervenciones en las que se llevaría a cabo la grabación de video se realizó de manera aleatoria.

El análisis de los resultados sobre el desempeño en general de SATEL, se realiza evaluando su *exactitud* al identificar pronunciaciones correctas e incorrectas. La exactitud es una medida estadística que nos indica la proporción de identificaciones correctas (tanto verdaderos positivos como verdaderos negativos) con relación al total de evaluaciones realizadas por el sistema. El cálculo de la exactitud del sistema se realizó utilizando la siguiente fórmula (donde VP representa *verdaderos positivos*, FP *falsos positivos*, VN *verdaderos negativos* y FN *falsos negativos*):

$$Exactitud = \frac{VP + VN}{VP + FP + VN + FN}$$

Adicionalmente, se estimó por separado la precisión de SATEL al identificar pronunciaciones correctas o incorrectas. Es decir el nivel de confianza obtenido al determinar que una pronunciación fue categorizada como correcta, así como incorrecta. La precisión la estimamos mediante la siguiente fórmula:

$$Precisión = \frac{VP}{VP + FP}$$

Tabla 5.1. Exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas para el módulo de diagnóstico.

USUARIO	Exactitud	Falsos		Falsos	
		Positivos	Precisión	Negativos	Precisión
1	94.23%	1 de 1	0.00%	2 de 51	96.00%
2	86.50%	5 de 10	50.00%	2 de 42	95.00%
3	90.38%	3 de 4	25.00%	2 de 48	95.83%
4	98.00%	1 de 1	0.00%	0 de 51	100.00%
5	96.10%	1 de 5	80.00%	1 de 47	97.80%
6	94.20%	3 de 6	50.00%	0 de 46	100.00%
7	90.38%	4 de 8	50.00%	1 de 44	97.70%
8	86.50%	6 de 14	57.14%	0 de 38	100.00%
	92.04%	24 de 49	39.02%	8 de 367	97.79%

Fuente: Elaboración propia.

SATEL 1.0 presentó una exactitud general de 92.04% en la detección de pronunciaciones tanto correctas como incorrectas. Con un promedio de 39.02% en la precisión al detectar pronunciaciones acertadas y de 97.79% en la precisión al detectar pronunciaciones erróneas. Con la intención de mejorar estos porcentajes, sobre todo disminuir los falsos positivos detectados en esta evaluación, se procedió a realizar la segunda versión de SATEL, con algoritmos más acertados y la inclusión de una ontología para la representación del conocimiento del experto.

5.2 Evaluaciones de SATEL 2.0

De igual forma que en las evaluaciones de SATEL 1.0, en SATEL 2.0 se evaluaron los módulos de diagnóstico y de atención. A continuación se muestran los resultados de dichas evaluaciones.

5.2.1 Evaluación formativa del módulo de diagnóstico

Un total de 26 niños, 20 niños y 6 niñas, de entre 4 y 6 años de edad, pertenecientes a CAPEP unidad Ensenada, evaluaron el módulo de diagnóstico de SATEL. La finalidad de esta evaluación fue identificar las mejoras realizadas tanto al proceso de identificación de

pronunciaciones como a los algoritmos utilizados en este módulo. De las pruebas realizadas se obtuvieron los datos de la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas para el módulo de diagnóstico de SATEL 2.0

USUARIO	Exactitud	Falsos		Falsos	
		Positivos	Precisión	Negativos	Precisión
1	100.00%	0 de 5	100.00%	0 de 15	100.00%
2	90.00%	1 de 8	87.50%	1 de 12	91.60%
3	100.00%	0 de 0	100.00%	0 de 20	100.00%
4	95.00%	1 de 6	83.30%	0 de 14	100.00%
5	95.00%	1 de 5	80.00%	0 de 15	100.00%
6	90.00%	1 de 4	75.00%	1 de 16	93.75%
7	95.00%	0 de 0	100.00%	1 de 20	95.00%
8	90.00%	1 de 5	80.00%	1 de 15	93.33%
9	90.00%	0 de 6	100.00%	2 de 14	85.71%
10	95.00%	1 de 3	66.66%	0 de 17	100.00%
11	90.00%	0 de 7	100.00%	2 de 13	84.61%
12	95.00%	1 de 7	85.71%	0 de 13	100.00%
13	90.00%	1 de 11	90.90%	1 de 9	88.88%
14	90.00%	1 de 7	85.71%	1 de 13	92.30%
15	95.00%	1 de 4	75.00%	0 de 16	100.00%
16	94.23%	3 de 8	62.50%	0 de 44	100.00%
17	92.30%	2 de 9	77.77%	2 de 43	95.34%
18	100.00%	0 de 2	100.00%	0 de 25	100.00%
19	100.00%	0 de 6	100.00%	0 de 14	100.00%
20	100.00%	0 de 5	100.00%	0 de 15	100.00%
21	100.00%	0 de 0	100.00%	0 de 20	100.00%
22	95.00%	1 de 8	87.50%	0 de 12	100.00%
23	90.00%	0 de 4	100.00%	2 de 16	87.50%
24	100.00%	0 de 7	100.00%	0 de 13	100.00%
25	95.00%	0 de 11	100.00%	1 de 9	88.88%
26	90.00%	0 de 9	100.00%	2 de 11	81.81%
	94.48%	16 de 147	89.91%	17 de 444	95.34%

Fuente: Elaboración propia.

La exactitud general en la detección de pronunciaciones tanto correctas como incorrectas en la versión de SATEL 2.0 fue de 94.48%, superior en 2.44 puntos porcentuales comparado con la versión previa. Podemos observar una mejora significativa en la detección de pronunciaciones correctas, con un promedio en su precisión de 89.91% en comparación con 39.02% de la versión anterior. Finalmente, en la detección de pronunciaciones erróneas se observa un reducción en el porcentaje de 2.45 puntos porcentuales, pero se mantiene un desempeño adecuado del 95.34%.

5.2.2 Evaluación formativa del módulo de atención

La evaluación formativa del módulo de atención se realizó con 15 estudiantes de CAPEP unidad Ensenada, 11 niños y 4 niñas de entre 4 y 6 años de edad. El objetivo de esta evaluación fue identificar la precisión en la identificación de pronunciaciones del módulo de atención.

Tabla 5.3. Exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas para el módulo de atención de SATEL 2.0

USUARIO	Exactitud	Falsos Positivos	Precisión	Falsos	
				Negativos	Precisión
1	94.44%	0 de 2	100.00%	1 de 16	93.75%
2	100.00%	0 de 0	100.00%	0 de 21	100.00%
3	100.00%	0 de 2	100.00%	0 de 19	100.00%
4	94.44%	0 de 5	100.00%	1 de 13	92.30%
5	100.00%	0 de 4	100.00%	0 de 10	100.00%
6	100.00%	0 de 1	100.00%	0 de 20	100.00%
7	95.00%	0 de 1	100.00%	1 de 19	94.73%
8	94.11%	0 de 4	100.00%	1 de 13	92.30%
9	100.00%	0 de 1	100.00%	0 de 21	100.00%
10	94.44%	0 de 2	100.00%	1 de 16	93.75%
11	100.00%	0 de 5	100.00%	0 de 10	100.00%
12	93.75%	0 de 2	100.00%	1 de 14	92.85%
13	100.00%	0 de 3	100.00%	0 de 19	100.00%
14	100.00%	0 de 3	100.00%	0 de 16	100.00%
15	100.00%	0 de 3	100.00%	0 de 10	100.00%
	97.75%	0 de 38	100.00%	6 de 237	97.31%

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los datos almacenados automáticamente por SATEL 2.0 y los videos de los estudiantes trabajando con el módulo de atención, arrojó que la exactitud en la detección de las pronunciaciones, tanto correctas como incorrectas, es de 97.75%, mostrando un 100% de precisión en la detección de buena pronunciación y 97.31% en la detección de pronunciaciones erróneas. Considerado por los autores del sistema como un desempeño destacable por la versión dos de SATEL

5.2.3 Evaluación de usabilidad de SATEL 2.0.

Para evaluar la usabilidad de SATEL 2.0 se generó una encuesta basada en las cuatro preguntas utilizadas en el instrumento *Usability Metric for User Experience (UMUX)* [30], adoptado ampliamente por investigadores en el área de Interacción Humano-Computadora, el cual permite conocer la percepción del usuario en cuanto a la experiencia de funcionalidad obtenida al interactuar con una aplicación o sistema. Adicional a las cuatro preguntas presentadas en UMUX, se añadieron dos ítems más, estas preguntas tienen la intención de conocer aspectos en el área de experiencia de usuario (percepción del ambiente). Concretamente, con el objetivo de investigar si el usuario utilizaría el sistema

nuevamente y si lo recomendaría a otros usuarios. La tabla 5.4 muestra las preguntas pertenecientes al instrumento UMUX.

Tabla 5.4. Instrumento para la evaluación de usabilidad mediante la experiencia de usuario, *Usability Metric for User Experience (UMUX)*.

1.1.1.1 Cuestionario UMUX	
1.	Las capacidades/funcionalidades de este sistema cubren mis necesidades. Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 Totalmente de acuerdo
2.	Usar este sistema fue una experiencia frustrante. Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 Totalmente de acuerdo
3.	Este sistema fue fácil de usar. Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 Totalmente de acuerdo
4.	Tuve que invertir mucho tiempo corrigiendo detalles del sistema. Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 Totalmente de acuerdo

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5.5 se muestran los aspectos adicionales que fueron de nuestro interés conocer con relación a experiencia de usuario.

Tabla 5.5. Aspectos adicionales para la evaluación de experiencia de usuario de SATEL 2.0

5.	Saber si al niño le gustaría usar el sistema nuevamente.
6.	Saber si el niño recomendaría a sus conocidos utilizar este sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, la aplicación del totalidad de estas preguntas presenta demasiada dificultad de comprensión para niños de entre 4 y 7 años de edad, por lo que se tomó la decisión de adaptarlas a un nivel de comprensión más simple, que fuera fácil de entender y responder por los niños. Lo anterior se realizó con la supervisión y recomendaciones de las terapeutas de lenguaje de CAPEP. A continuación, se muestra el resultado del instrumento generado mediante la adaptación de cada una de las preguntas presentadas en UMUX y las preguntas adicionales agregadas.

Tabla 5.6. Adaptación de UMUX para niños de 4 a 7 años.

	UMUX y adicionales		UMUX Adaptado
1.	Las capacidades/funcionalidades de este sistema cubren mis necesidades.	1.	¿Entendiste lo que viste?/ ¿Entendiste lo que te puse?
2.	Usar este sistema fue una experiencia frustrante.	2.	¿Te gustó?
3.	Este sistema fue fácil de usar.	3.	¿Estuvo fácil?
4.	Tuve que invertir mucho tiempo corrigiendo detalles del sistema.	4.	¿Los dibujos pasaron muy rápido?
5.	Saber si al niño le gustaría usar el sistema nuevamente	5.	¿Quieres jugar otra vez?
6.	Saber si el niño recomendaría a sus conocidos utilizar este sistema	6.	¿Crees que tus amigos quieran venir a jugar como tú?

Fuente: Elaboración propia.

De la aplicación del instrumento generado se obtuvieron los siguientes resultados para cada uno de los módulos de SATEL 2.0.

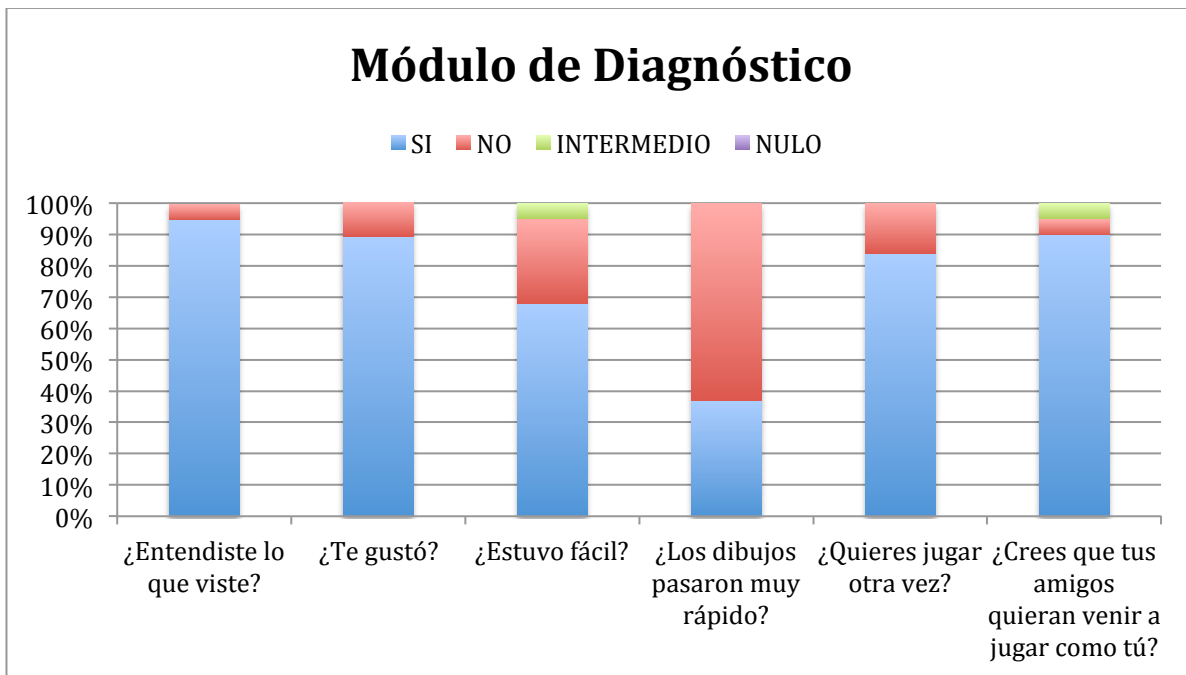


Figura 5.3. Resultados de evaluación de usabilidad en SATEL 2.0 para el módulo de diagnóstico

En esta evaluación, aplicada al módulo de diagnóstico de SATEL 2.0 se observa una gran aceptación por parte de los niños, mostrando cerca del 90% de respuestas positivas para las preguntas 1, 2, 5 y 6. En la pregunta 3, aproximadamente el 70% de los niños contestaron que el sistema les pareció fácil de utilizar. Finalmente, en la pregunta 4, ¿Los

dibujos pasaron muy rápido?, de nuevo, cerca del 70% de los encuestados contestaron que NO.

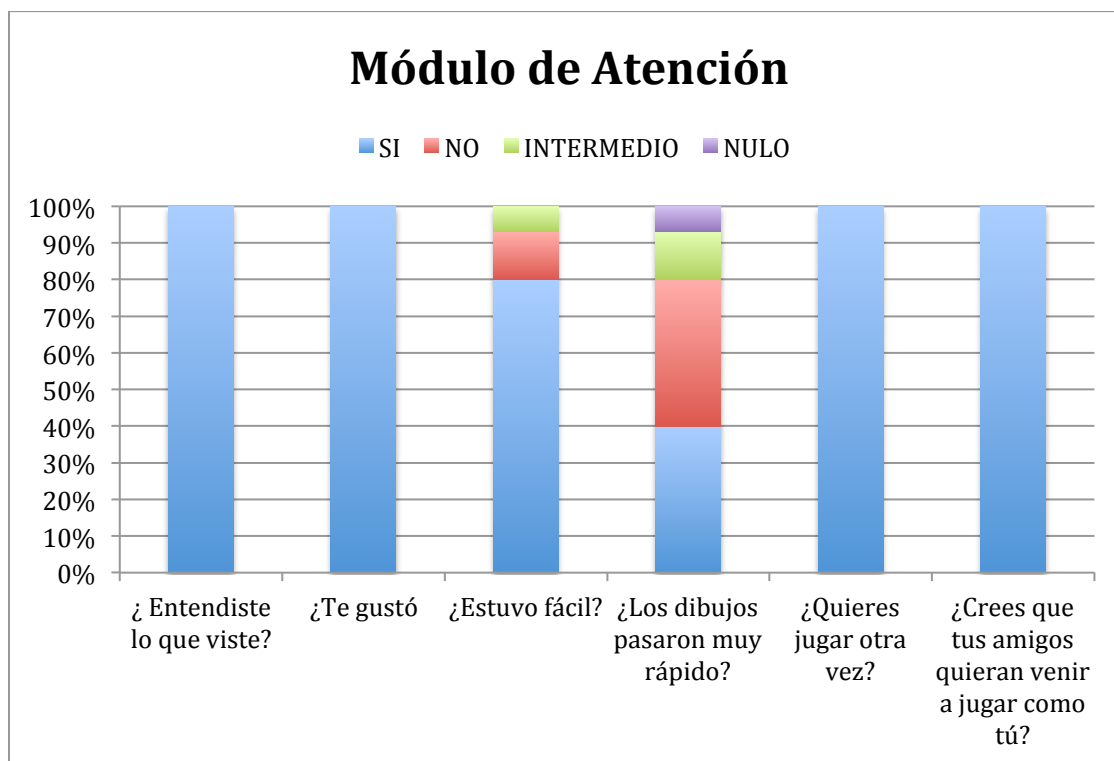


Figura 5.4. Resultados de evaluación de usabilidad en SATEL 2.0 para módulo de atención

Finalmente, los resultados de la evaluación de usabilidad para el módulo de Atención de SATEL 2.0 arrojaron que el 100% de los encuestados contestaron afirmativamente las preguntas 1, 2, 5, y 6. En la pregunta 3 se observó que el 80% de los niños contestó que el sistema les pareció fácil de usar. En la pregunta 4 se obtuvieron respuestas variadas, sin embargo, en este caso, el 40% de los niños afirmó que los dibujos no pasaron rápido.

5.2.4 Evaluación cualitativa de SATEL 2.0

Con el propósito de conocer la percepción de las terapeutas de lenguaje acerca del Sistema de Apoyo a Terapias de Lenguaje, se desarrolló un instrumento cualitativo para la recolección de información en un formato tipo encuesta. Dicho instrumento nos permitió conocer la percepción personal de las encuestadas, así como su opinión sobre el interés y motivación que mostraron sus respectivos estudiantes al utilizar el sistema, según la observación de cada terapeuta y su conocimiento previo del comportamiento de cada niño en las terapias convencionales.

Las preguntas utilizadas en el instrumento generado consistieron de una combinación de preguntas abiertas, escala Likert de 5 puntos y cuestionamientos del tipo cierto-falso. La encuesta se muestra a continuación, mientras que el instrumento original lo podemos observar en el apéndice D.

Que tan de acuerdo está con lo siguiente:

1. En general, el sistema SATEL es una herramienta útil para apoyar a niños con TEL.
2. La actividad de diagnóstico de TEL, sería favorecida con el uso de SATEL.
3. La actividad de atención de TEL, sería favorecida con el uso de SATEL.

Al usar SATEL los niños:

4. Se mostraron motivados.
5. Les fue sencillo entender las instrucciones de uso.
6. Les fue sencillo manipular el sistema.
7. Les agradó el diseño del sistema.
8. Estarían interesados en usar nuevamente el sistema.
9. ¿Qué otros estímulos para el módulo de atención de TEL le gustaría que incluyera SATEL?
10. ¿Qué le cambiarías al sistema (cambios o adiciones)?
11. ¿Algo más que desee agregar?
12. ¿Considera adecuado el proceso de identificación de fonemas a reforzar durante la actividad del módulo de atención?

La figura 5.5 muestra los resultados obtenidos en las preguntas de la 1 a la 8. Dichos resultados muestran un alto porcentaje en la aceptación de las terapeutas de lenguaje tanto en el módulo de diagnóstico como en el módulo de atención. En las preguntas 5 y 6 se muestra que el 100% de las encuestadas está de acuerdo en que a los niños les resultó sencillo entender y manipular el sistema. En la pregunta 7, el 100% de las terapeutas comentó que están totalmente de acuerdo en que les agradó el diseño del sistema. Finalmente, en la pregunta 8, el 80% del total de las terapeutas encuestadas afirmaron estar *totalmente de acuerdo* y *de acuerdo* en utilizar de nuevo el sistema.

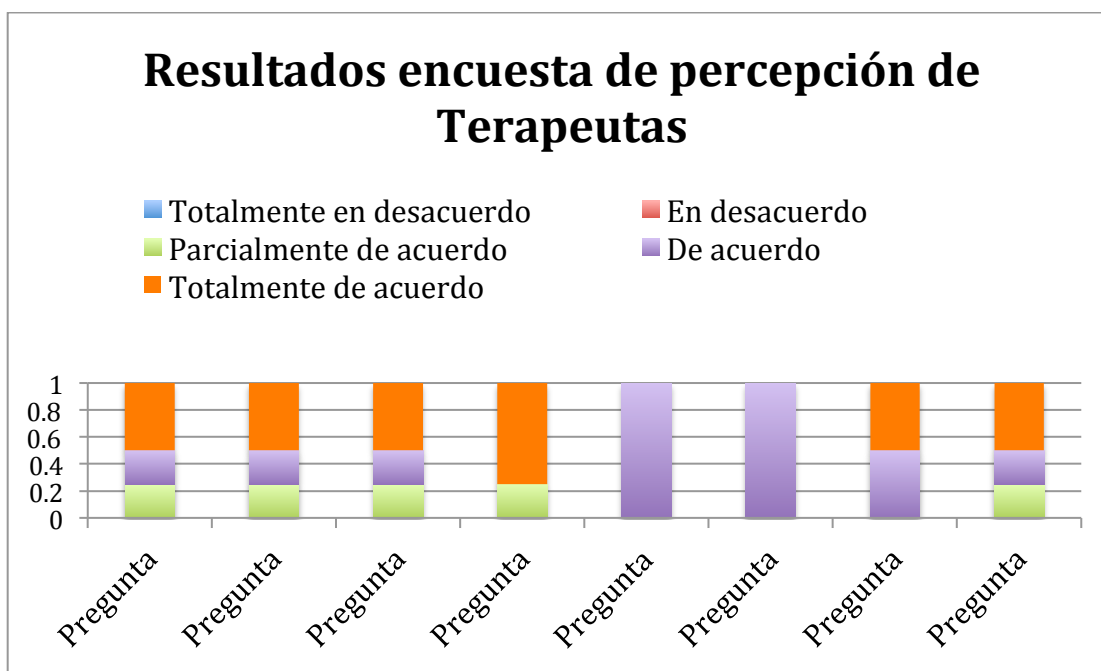


Figura 5.5. Resultados obtenidos de aplicación de instrumento de percepción a terapeutas de lenguaje

Las respuestas obtenidas en la sección de preguntas abiertas del instrumento (de la 9 a la 11), incluyen comentarios acerca de considerar nuevas actividades, así como de rediseñar los dibujos presentados en los módulos de SATEL.

Tabla 5.7. Respuestas de la sección de preguntas abiertas del instrumento.

	Respuestas
9. ¿Qué otros estímulos para la atención de TEL le gustaría que incluyera SATEL?	“Me gustaría agregarle un micrófono“, “Me gustaría que se existiera la opción de seguir el proceso de manera manual”.
10. ¿Qué le cambiarías al sistema (cambios o adiciones)?	“Dibujos más llamativos”, “Dibujos a color”, “Cambiar algunos dibujos”.
11. ¿Algo más que desee agregar?	“Ejercicios de soplo, lengua y labios”, “Incluir aspectos semánticos”, “Me gustaría incluir otras actividades intermedias”.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la pregunta 12, acerca de la adecuada identificación de fonemas a reforzar durante el proceso de atención, mostraron que cerca del 80% de las terapeutas de lenguaje consideran adecuado el proceso de identificación de los fonemas a reforzar.

5.2.5 Comentarios adicionales de las terapeutas

Durante las evaluaciones de los módulos de SATEL, tanto en la primera etapa como en la segunda, las terapeutas de lenguaje realizaron recomendaciones y comentarios con el objetivo de mejorar los procesos realizados en las dos versiones de SATEL. De igual forma, proporcionaron algunas experiencias sobresalientes con algunos de los niños al utilizar el sistema.

Algunos de los comentarios adicionales proporcionados por las terapeutas de lenguaje se muestran a continuación:

- ◆ “Este sistema está muy padre”.
- ◆ ”Está muy padre la retroalimentación del módulo de atención, les permite a los niños conocer la pronunciación de cada imagen”.
- ◆ ”Simplifica el trabajo”.
- ◆ ”Me impresionó que uno de los niños trabajó muy bien con el sistema cuando normalmente no quiere trabajar”.
- ◆ ”Está muy padre la retroalimentación de los fonemas, pero en las grabaciones con fonemas como la *s* y la *f* se escucha un poco de ruido de aire”.
- ◆ ”Carlos (nombre ficticio), generalmente llora cuando lo llevamos a trabajar a algunas de las terapias, pero cuando le dijimos que iba a estar en la computadora no lloró y trabajó muy bien con el sistema”.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo de tesis describe el sistema SATEL, una herramienta computacional destinada a complementar y reforzar las terapias de Trastorno Específico de Lenguaje, específicamente dedicada a atender a los niños que presentan problemas de pronunciación. El sistema implementado difiere en el aspecto funcional comparándolo con aplicaciones previamente desarrolladas, las cuales están igualmente orientadas a apoyar en la atención de este problema de lenguaje. SATEL se diferencia al ser una aplicación más completa, al integrar las dos principales actividades realizadas por terapeutas de lenguaje: diagnóstico y atención. De igual forma, se describen la arquitectura del sistema y los algoritmos implementados para atender ambas actividades. Por otra parte, en este trabajo se presenta el proceso de diseño e implementación de una ontología para representar el conocimiento de expertos terapeutas de lenguaje, base de conocimiento aplicada en el módulo de atención, permitiendo atender las dificultades presentes en cada niño de acuerdo a sus necesidades particulares. Adicionalmente, presentamos los resultados de dos evaluaciones formativas realizadas con niños TEL. Finalmente, se describe el proceso de diseño y desarrollo de SATEL, y el análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados obtenidos en las evaluaciones finales en todas sus etapas.

6.1 Conclusiones

De acuerdo con la investigación realizada, tanto en fuentes bibliográficas nacionales como internacionales, acerca de los trabajos relacionados con tecnología de información en apoyo de las terapias para niños con TEL, se identificó como un área de oportunidad el innovar en la atención de esta problemática. En particular, detectamos dos aspectos principales a atender: la tecnología utilizada y las aplicaciones implementadas en atención a esta problemática.

El uso de tecnología para la atención de terapia de lenguaje se limita al manejo de simulaciones y material multimedia. Sin embargo, en los trabajos de investigación disponibles en la literatura, no se está explotando el potencial de sistemas inteligentes, ni se utilizan dispositivos comunes en entornos recreativos como lo es el sensor Kinect. En la presente investigación se consideró el uso de esta tecnología como complemento en el apoyo del diagnóstico y la atención de niños que se enfrentan al TEL.

Con relación a los estudios disponibles en la literatura, podemos concluir que no es un campo muy explorado, ya que fueron pocas las investigaciones enfocadas directa o indirectamente en el estudio de este trastorno. Sin embargo, dieron pauta para determinar los factores iniciales a considerar, tanto para la implementación como en la evaluación de nuevos desarrollos.

Particularmente, con base en las preguntas de investigación que dirigieron el estudio: ¿Qué técnica de representación de conocimiento, actual o propuesta, modela eficientemente el conocimiento de terapeutas expertos de lenguaje que atienden problemas de fonética?, y ¿Cuál es el nivel de apoyo que se puede alcanzar con una herramienta para el diagnóstico y atención de TEL?, se logró un resultado aceptable de acuerdo con nuestras expectativas y se llegaron a las siguientes conclusiones.

Para la primera pregunta, encontramos que dada la necesidad de interactuar constantemente con los terapeutas de lenguaje, para revisiones de los conceptos del dominio concretados, era necesaria una técnica que fuera entendible tanto para una persona sin conocimientos de computación como para la computadora, al momento de representar el conocimiento en lenguaje máquina; por lo tanto, se consideró que la técnica que cubría este requerimiento es la representación de conocimiento mediante *Ontologías*. El utilizar ontologías permitió representar el conocimiento mediante estructuras que hicieron una analogía de cómo el ser humano representa internamente su comprensión y entendimiento de las cosas. Adicionalmente, el utilizar esta técnica permitió actualizar la base de conocimiento de forma automática y en tiempo real, al agregar, eliminar o modificar aserciones, tal como lo hace el ser humano en su interacción diaria con la realidad.

Por otra parte, la segunda pregunta de investigación se respondió mediante los resultados obtenidos en las evaluaciones de SATEL, considerando su nivel de exactitud y precisión en la detección de pronunciaciones, las encuestas de usabilidad aplicadas a los niños, y el cuestionario aplicado a las terapeutas. Dado que SATEL 2.0 obtuvo un porcentaje de exactitud para el módulo de diagnóstico de 94.48 y para el módulo de atención de 97.75, concluimos que SATEL es confiable en la detección de pronunciaciones correctas e incorrectas.

Con relación a los aspectos de usabilidad y aceptación de SATEL, entre el 90% y 100% de los niños que utilizaron el sistema demostraron una aceptación favorable tanto para el módulo de diagnóstico como para el módulo de atención; lo que determina la aceptación por parte de los niños al recibir el apoyo de SATEL en las actividades realizadas para su diagnóstico y atención. Finalmente, el resultado de las preguntas dirigidas a las terapeutas, aplicadas mediante el instrumento de intervención con enfoque cualitativo, las cuales refieren a la aceptación de los módulos de diagnóstico y atención por parte de ellas mismas como herramienta de apoyo en sus terapias, revela la confirmación de que SATEL apoya en gran medida a las actividades utilizadas en el diagnóstico y atención de niños con TEL.

A diferencia de SATEL, las investigaciones orientadas al diagnóstico de TEL tienen un alto grado de subjetividad, ya que las aplicaciones implementadas generalmente solo interactúan con el terapeuta o responsable del menor, y es este mismo quien se encarga de introducir la información referente a las habilidades de lenguaje del niño. La mayoría no obtiene la información necesaria directamente del niño por lo que no evalúa su habilidad en diversas áreas del lenguaje en forma objetiva. Adicionalmente, no cuentan con las herramientas y el conocimiento necesario para proveer la atención requerida una vez realizada la evaluación.

En el caso de las investigaciones dirigidas a la atención de niños que presentan TEL, los estudiantes interactúan con las aplicaciones mediante la utilización del teclado o ratón de las computadoras, siendo poca su interacción mediante la voz. Aun cuando algunas de ellas trabajan proporcionando retroalimentación de pronunciaciones correctas o involucrando al estudiante repitiendo o imitando palabras en voz alta, no perciben si la pronunciación del niño es correcta y acreditan tareas una vez que el terapeuta cree que se ha alcanzado el objetivo.

Tanto las actividades como la retroalimentación, en las investigaciones dirigidas a la atención, están predefinidas y no se presentan de acuerdo a las necesidades del niño, además no se lleva un registro automático acerca del trabajo de cada usuario.

Una característica a notar de todas las investigaciones del área es que apoyan el diagnóstico o la atención, no ambas, ya sea brindando apoyo al terapeuta en el diagnóstico del TEL o complementando la terapia utilizada con el niño, dejando de lado la simbiosis requerida entre estas dos actividades interconectadas. SATEL cuenta con la integración de las actividades de diagnóstico y atención. Posee la capacidad de conocer las necesidades del niño, al obtener directamente información proporcionada por la evaluación inicial del módulo de diagnóstico. Mientras que, mediante el módulo de atención, SATEL genera la toma de decisiones en cuanto a las actividades más convenientes para atender específicamente las necesidades de cada niño. Lo anterior utilizando *ontologías*, emulando la toma de decisiones de las terapeutas mediante el modelado de su conocimiento en una forma entendible para los expertos, ventaja particular de la representación de conocimiento mediante esta técnica. Así mismo, la retroalimentación presentada es personalizada de acuerdo a las dificultades que presente cada niño.

6.2 Trabajo futuro

La personalización de la atención a problemas de TEL se considera una de las tareas más importantes para el trabajo futuro. Nuestro objetivo es extender el trabajo actual en la estructura de conocimiento de dominio propuesta (ontología TEL), con la intención de abarcar más áreas de atención requeridas por los niños que presentan TEL, permitiéndonos incrementar las capacidades de contenido adaptativo al cubrir diversas vertientes de esta situación de lenguaje. Además, mejoraremos la funcionalidad del sistema SATEL incorporando los resultados obtenidos de cada niño al utilizar el módulo de atención, generando nuevo contenido para sesiones posteriores.

Finalmente, la funcionalidad de SATEL se vería incrementada al considerar algunos de los puntos siguientes como trabajo futuro:

- Implementar un módulo de análisis de resultados de forma gráfica (analítica de aprendizaje), que permita el seguimiento de la evolución de los niños, dirigido a los terapeutas.
- Extender la evaluación actual, realizando un estudio con nuevos niños que presentan TEL.
- Mejorar algunas de las funcionalidades presentes actualmente a SATEL, como la grabación de audio, la calidad de las imágenes y la cantidad de imágenes disponibles en el banco actual.
- Estudiar la factibilidad de migración del sistema para ser utilizado mediante dispositivos móviles.
- Implementar la funcionalidad que permita actualizar de forma automática la base de conocimiento de la ontología, esto basado en la interacción realizada con diversos niños. Las actualizaciones factibles pudieran ser la identificación de palabras con mayor o menor complejidad, definir la secuencia óptima de palabras para cierto perfil de usuario, entre otros.
- Realizar un estudio sobre el impacto en el lenguaje de los niños que usan SATEL.

Apéndice A

Entrevista

A.1 Entrevista de exploración en el área de diagnóstico y atención de TEL.

En este apéndice se presenta la entrevista inicial de exploración, donde el objetivo principal es obtener información sobre cómo se realiza el diagnóstico y atención de niños que presentan TEL, además de explorar el dominio de interés.

Protocolo de Entrevista: Maestra.

Preámbulo (objetivos y aseguramiento de confidencialidad):

Hola buenos días mi nombre es Karla Ivette Arce Ruelas, egresada de la carrera de Ciencias Computacionales de UABC, actualmente me encuentro estudiando una maestría en el programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería. El propósito del estudio de investigación es recopilar información necesaria para realizar una aplicación que pueda apoyar en las terapias que los niños con TEL llevan a cabo para su atención.

El equipo de investigación que encabeza este estudio se especializa en temas referentes a computación y al desarrollo de tecnología de acuerdo al estudio de las necesidades de una comunidad. Su apoyo y retroalimentación es muy importante para nosotros. La presente entrevista tiene intereses estrictos de investigación y la información recopilada de entrevistas, cuestionarios y grabaciones serán de uso confidencial. Es importante mencionar que **NO** es objetivo de la entrevista evaluarlo a usted, simplemente nos gustaría conocer el proceso de diagnóstico y atención que llevan a cabo con los niños que presentan TEL.

La entrevista nos tomará alrededor de 30 minutos aproximadamente.

Calentamiento

1. ¿Me podrías platicar un poco sobre las características de tus niños?
2. ¿Cómo se lleva a cabo la atención hacia los niños? (Grupal o individual)
 - a. ¿Cuál es la edad promedio de los niños de tu grupo?
3. ¿Qué actividades realizas en un día típico con los niños?
4. Me puedes platicar un poco acerca de TEL,
 - a. Existen niveles o categorías de TEL?

Preguntas de diagnóstico.

5. ¿Cuál es el primer paso en la detección de un niño con TEL?
6. ¿Cuáles son las principales características que notan en estos niños?
7. ¿Qué aspectos consideran para hacer un diagnóstico, qué criterios toman en cuenta?

8. ¿Cómo realizan el diagnóstico de manera grupal o individual?
9. ¿Qué técnicas de diagnóstico utilizan?
10. ¿Qué instrumentos de diagnóstico utilizan?
11. ¿Cuál es el proceso que llevan a cabo para diagnosticar un caso de TEL?
12. ¿Qué resultados obtenidos en el diagnóstico son los que permiten diagnosticar un caso de TEL?
13. ¿Aproximadamente en cuando tiempo se realiza el diagnóstico?

Preguntas de Atención.

14. ¿En qué consiste la atención para TEL?
15. ¿Qué técnicas utilizan para tratar a un niño con TEL?
16. ¿Qué instrumentos utilizan para apoyar en la atención de los niños?
17. ¿Cómo determinan que atención necesita un niño con TEL?
18. ¿Qué aspectos se consideran al momento de determinar que atención debe de llevar un niño?
19. ¿Cómo realizan la atención de manera grupal o individual?
20. ¿Cómo deciden la duración de la atención?
21. ¿Cómo determinan que las actividades propuestas para la atención están desarrollando una mejora en el niño?
22. ¿Qué acciones llevan a cabo si la atención no está funcionando?
23. ¿Cómo determinan que un niño ha concluido con el proceso de atención?
24. ¿Aproximadamente cuando tiempo dura un proceso de atención?
25. ¿Usan alguna metodología para el diagnóstico o atención?

Preguntas de Tecnología.

26. ¿Utilizan alguna tecnología para apoyar en el diagnóstico o atención de los niños que presentan TEL?

Cierre.

27. Muchas gracias por su tiempo. ¿Algo más que desee agregar?

Apéndice B

Prueba estandarizada

B.1 Prueba estandarizada nombrada *exploración lingüística del niño preescolar*

Este apéndice muestra la prueba estandarizada que lleva por nombre exploración lingüística del niño preescolar, utilizada por las terapeutas de lenguaje de CAPEP para el diagnóstico de TEL.

DEPARTAMENTO DE EDUCACION PREESCOLAR
CENTRO DE ATENCION PSICOPEDAGOGICA DE EDUCACION
PREESCOLAR

EXPLORACION LINGUISTICA DEL NIÑO PREESCOLAR

1.- FICHA DE IDENTIFICACION

Nombre del niño _____
Dirección _____ Teléfono _____
Fecha de nacimiento _____ Edad _____ años _____ meses.
Nacido en: _____ Padre _____ Madre _____
Lugar donde ha permanecido más de seis meses _____

Otras lenguas además del español _____
Cuestionario aplicado por: _____ Rev. _____
Fecha de aplicación _____ Fecha de revaloración _____

2.- CONVERSACION

Preguntas	Revaloración
¿ Cómo te llamas? _____	_____
¿ Cuantos años tienes? _____	_____
¿ Dónde vives? _____	_____
¿ Cómo se llama tu papá? _____	_____
¿ Cómo se llama tu mamá? _____	_____
¿ Cómo se llama tu maestra? _____	_____
Diálogo dirigido	
¿ A que te gusta jugar? _____	_____
_____	_____
_____	_____
¿ Qué programa de televisión te gusta mas? _____	_____
_____	_____
_____	_____
¿ A dónde fuiste el domingo de paseo? _____	_____
_____	_____
_____	_____

3.- COMPRENSION

Discriminación fonológica - repetición de palabras; revaloración

Ej. beso - peso _____

1.- mono - moño _____

2.- sopa - kopa _____

3.- sarro - jarro _____

4.- pantera-bandera _____

5.- paleta - pelota _____

Observaciones de la conducta del niño _____

Figura B.1. Prueba estandarizada nombrada *Exploración lingüística del niño preescolar I.*

Memoria auditiva repetición de oraciones: Revaloración
 Ej: El avión es café _____
 1.- Mi gato te araña _____
 2.- Un gusanito sube al árbol _____

 3.- Catalina tiene una muñeca nueva _____

 4.- El sábado en el parque monté en un caballito _____

 5.- Me gusta el sol que calienta en la mañana de invierno _____

Comprensión de ordenes
 Ej. Dame la taza y la copa _____
 1.- Toma el coche rojo y metelo en la caja _____

 2.- Pon el plato encima de la taza y la copa encima del plato _____

 3.- Toma tres fichas y ponlas abajo de tu silla _____

 4.- Toma la pelota grande, abre la puerta y echala afuera _____

 5.- Mira: aquí hay tres papelitos; guarda uno en tu bolsa, otro me lo das y -
 el otro lo tiras al bote de la basura _____

6.- Observaciones: _____
 Preguntas de razonamiento Revaloración
 1.- ¿Qué haces cuándo tienes hambre? _____

 2.- ¿Qué haces cuándo tienes sueño? _____

 3.- ¿Qué haces cuándo tienes frío? _____

 4.- ¿Qué haces cuándo has perdido algo? _____

 5.- ¿Qué haces antes de atravesar la calle _____

4.- UTILIZACION DEL LENGUAJE

Revaloración articulatoria

Vocales		Consonantes		Velares	Dentoalveolares
Val	Rev	labiales			
___ i ___	___	___ aba ___	___	___ aka ___	___ als ___
___ e ___	___	___ ama ___	___	___ aga ___	___ ara ___
___ a ___	___	___ afa ___	___	___ aja ___	___ arra ___
___ o ___	___	___ apa ___	___	Palatales	___ ada ___
___ u ___	___			___ aya ___	___ ana ___
				___ aña ___	___ asa ___
				___ acha ___	___ ata ___

Revaloración en otra hoja *

*

Figura B.2. Prueba estandarizada nombrada *Exploración lingüística del niño preescolar II*.

Descripción y preguntas sobre imágenes. ("dime todo lo que se te ocurra en este dibujo")

1.- Las tazas _____

¿Dónde están las tazas? _____

¿De que tamaño es ésta (grande - pequeña) _____

¿Cuántas tazas son? _____

¿Para que sirven? _____

2.- ¿Cómo están la puerta? _____

La travesura

Dime todo lo que se te ocurra de éste dibujo ¿Qué están haciendo?

¿Qué esta pasando? _____

¿Esta contenta la mamá? _____

¿Por qué la mamá está regañando al niño? _____

¿Qué hay en la mesa? _____

3.- ¿Dónde está el barco? _____

El viento

Dime todo lo que se te ocurra de este dibujo ¿Qué esta pasando?

4.- ¿Por qué se le cayó el gorro a la niña? _____

¿Hace frio o calor? _____

¿Por qué sabes que hace frío? _____

¿Qué le va a pasar al gorro? _____

5.-OBSERVACION DEL APARATO FONOARTICULADOR

Explorar el estado físico de:

Lengua _____	Frenillo (s) _____	Labios _____
Paladar _____	Velo del paladar _____	
Amigdalas _____	Piezas dentarias _____	
	Coaptación _____	

Malos hábitos _____

Anotar cualquier anomalía o alteración _____

Resultados de O.D.F. (rev.) _____

Observaciones (conducta, actitud de los padres) _____

Figura B.3. Prueba estandarizada nombrada *Exploración lingüística del niño preescolar*

III.

	REVALORACIÓN		
	ESPONTANEO	P.INDIRECTA	IMITACION
1. foka			
2. estufa			
3. vela			
4. kandado			
5. limón			
6. pantalón			
7. kalsón			
8. pastel			
9. oso			
10. peskado			
11. silla			
12. lápiz			
13. kampana			
14. llanta			
15. kuchara			
16. gato			
17. tortuga			
18. muñeka			
19. jitomates			
20. dedo			
21. uña			
22. niño			
23. kara			
24. nariz			
25. oreja			
26. ojo			
27. amariyo			
28. rrata			
29. perro			
30. sigarro			
31. barko			
32. kuerno			
33. tenedor			
34. pátano			
35. flores			
36. blusa			
37. chikles			
38. globo			
39. fresas			
40. brazo			
41. krus			
42. tigre			
43. tren			
44. kuadro			
45. primo			
46. abión			
47. piano			
48. dientes			
49. bailando			
50. indio			
51. peine			
52. saraxia			

Figura B.4. Prueba estandarizada nombrada *Exploración lingüística del niño preescolar* IV.

Conversación: _____	_____
Comprensión: _____	_____
Discriminación: _____	_____
Memoria Auditiva: _____	_____
Comprensión de Ordenes: _____	_____
Preguntas de razonamiento _____	_____
Utilización del lenguaje _____	_____
Realización articulatoria _____	_____
Nominación sobre imágenes _____	_____
Fonemas I M F. S. F.	Fonemas I M F. S. F.
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
otros: _____	otros: _____
_____	_____
_____	_____
Articulación: Lenguaje espontáneo	_____
_____	_____
_____	_____
Descripción de laminas	_____
_____	_____
_____	_____
Observación de laminas:	_____
_____	_____
_____	_____
Conclusiones:	Conclusiones :
_____	_____

Figura B.5. Prueba estandarizada nombrada *Exploración lingüística del niño preescolar V.*

Apéndice C

Cuestionario adicional

C.1 Cuestionario adicional para terapeutas de lenguaje.

En este apéndice se muestra el cuestionario adicional aplicado a las terapeutas de lenguaje con el objetivo de conocer detalladamente la toma de decisiones realizada por ellas al momento de realizar la actividad de atención con niños que presentan TEL.

Cuestionario adicional: Maestra.

El objetivo de este cuestionario es identificar cómo se realiza el proceso de atención mediante la exploración de las actividades que usualmente realizan las terapeutas dentro de una sesión de atención.

1. ¿Qué par de imágenes deben mostrarse al niño al inicio de la atención?
2. Si respondió correctamente el par de imágenes, ¿qué nuevas imágenes debe mostrarle el sistema?
 - a. ¿Debe mostrarse nuevas imágenes de palabras de mayor dificultad pero del mismo fonema?
 - b. ¿Debe mostrar imágenes de palabras de fonemas similares?
 - c. ¿Debe mostrar imágenes de palabras de fonemas más complejos?
3. Si respondió solo una imagen correctamente, ¿qué debe suceder?
 - a. ¿Debe presentar imágenes de palabras del mismo fonema pero más sencillas?
 - b. ¿Debe presentar retroalimentación de la forma correcta de pronunciar dicha palabra?, ¿Debe preguntar de nuevo la misma?
 - c. ¿Debe dar una pista sobre la imagen?
4. Si respondió incorrectamente las 2 imágenes, ¿qué sucede?
 - a. ¿Debe presentar imágenes de palabras del mismo fonema pero de menor complejidad?
 - b. ¿Debe presentar retroalimentación de la forma correcta de pronunciar dichas palabras?
 - c. ¿Debe presentar imágenes de un campo semántico diferente?
5. ¿La complejidad de las palabras está relacionada con los fonemas o la complejidad de las palabras es independiente del fonema?
6. ¿Los fonemas se categorizan por niveles de complejidad?
7. ¿La complejidad de fonemas/palabras varía por usuario?
8. Tipos de retroalimentación:
 - a. ¿Debe presentar un avatar demostrando la correcta pronunciación de palabras?
 - b. ¿Debe dar pista de la imagen?
 - i. Con audio.

- ii. Con animación.
 - c. ¿Debe presentar recompensa de audio o animación en caso de 2 respuestas correctas?
- 9. La retroalimentación presentada al niño debe depender de:
 - a. ¿Si la respuesta es incorrecta porque no conoce la palabra?
 - b. ¿Si la respuesta es incorrecta porque no puede pronunciar correctamente?
- 10. ¿Cuál es el número de imágenes que se pueden mostrar al niño en una sesión para poder mantener el interés?

Apéndice D

Encuesta

D.1 Entrevista de exploración en el área de diagnóstico y atención de TEL.

El apéndice D muestra la encuesta aplicada a las terapeutas de lenguaje con el propósito de conocer su percepción acerca del *Sistema de Apoyo a Terapias de Lenguaje* (SATEL), su aceptación, y la aceptación por parte de los niños, así como el interés y motivación que mostraron al utilizar este sistema.

**Encuesta sobre el uso del *Sistema de Apoyo a Terapias de Lenguaje*
Universidad Autónoma de Baja California – Facultad de Ciencias**

Nombre: _____ Años de experiencia en TEL: _____

Muchas gracias por tomarse el tiempo para contestar esta encuesta. El propósito es conocer su percepción acerca del *Sistema de Apoyo a Terapias de Lenguaje* (SATEL), con relación al interés y motivación que mostraron sus estudiantes al utilizar este sistema. Su opinión es de gran relevancia para la realización de este estudio, el cual forma parte de la tesis de maestría del autor del sistema.

Es importante mencionar que **NO** es el objetivo de la entrevista evaluarla a usted, simplemente, nos gustaría conocer su opinión sobre la interacción de los niños con SATEL. Si tiene preguntas acerca de la encuesta o desea dar un comentario, favor de comunicarlo al correo electrónico a karla.arce@uabc.edu.mx.

Indique con una **X** la celda que mejor describa su opinión respecto a las siguientes aseveraciones:

Parte I. ¿Qué tan de acuerdo está con lo siguiente?

Opinión personal de SATEL.

		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Parcialmente de	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	En general, el sistema SATEL es una herramienta útil para apoyar a niños con TEL.					
2.	La actividad de diagnóstico de TEL, sería favorecida con el uso de SATEL.					
3.	La actividad de atención de TEL, sería favorecida con el uso de SATEL.					
Percepción de uso de SATEL.						
Al usar SATEL, los niños:						
4.	Se mostraron motivados.					
5.	Les fue sencillo entender las instrucciones de uso.					
6.	Les fue sencillo manipular el sistema.					
7.	Les agradó el diseño del sistema.					
8.	Estarían interesados en usar nuevamente el sistema.					

Cambios y mejoras.

9. ¿Qué otros estímulos para el módulo de atención de TEL le gustaría que incluyera SATEL?

10. ¿Qué le cambiarías al sistema (cambios o adiciones)?

11. ¿Algo más que desee agregar?

Parte II. Desempeño de SATEL

A Continuación se presenta una matriz con los resultados obtenidos de las intervenciones de *diagnóstico y atención* realizadas mediante el uso de SATEL. El objetivo de esta actividad es que usted evalúe: 1) el desempeño de SATEL en el *diagnóstico* generado, y 2) el análisis interno realizado por el sistema para proveer la actividad de *atención*.

Las claves **Bajo**, **Medio** y **Alto** representan el nivel de dominio identificado en cada niño al pronunciar cierto fonema. Para cada uno de sus estudiantes, indique cuáles de estas evaluaciones las considera incorrectas proporcionando su valoración personal.

• **Diagnóstico**

Nivel en c/fonema	b	k	s	ch	d	f	g	j	l	ll	m	n	ñ	p	r	rr	t	y	z
Gael Alexander	M	B	B		B	M			B			B	B				B		M
Derek Humberto	M	B	B		B	B			B		M	B	B				B		M
Marcos	M	B	B		M	B			B		M	B	B				B		M
Daila	M	B	B		B	M			B			B	M				M		M
Dan Carlo	M		B			M			B		M	M					M		
Randy	M		B		M	B			B		M	B	B				B		
Melissa	M	B	B		B	B			B			B	B				B		M
Magno		B	B		B	B			B		M	B	M				M		M
Ivar	M	B	B		B	B			B		M	B	B				B		M
Juan Pablo	M	B	B		B	B			B		M	B	M				M		M
Daniel		B	B		B	M			B		M	B					M		M
Tenoch		B	B		B	M			B			B	M				M		M
Joselyn	M	B	B		M	B			B		M	B	B				B		M
Jesús		B	B			B			M			M					M		M
Sofía	M	B	B		M	M			B			B	B				B		M

- **Atención**

A continuación se muestra un par de escenarios (mediante tablas), que representan el proceso realizado internamente por SATEL al evaluar la pronunciación de palabras y sílabas para identificar fonemas que deben ser reforzados: 1) el sistema solicita pronunciar cada palabra, si la palabra es pronunciada incorrectamente se solicita pronunciarla nuevamente; 2) si una palabra se pronuncia en dos ocasiones incorrectamente, se solicita pronunciar las sílabas que la componen; 3) con base a la pronunciación incorrecta de sílabas, se determinan los fonemas a reforzar mediante nuevas palabras.

Escenario Estudiante-1

Palabra	Sílaba	Fonema identificado	Evaluación pronunciación	Puntaje-base pronunciación
Calzón			incorrecto	0.3378
Calzón			incorrecto	0.0424
	Cal	k.l.	incorrecto	0.3237
	Zon	n.z.	incorrecto	0.3803
Vela			incorrecto	0.0077
Vela			incorrecto	0.0835
	Ve	b.	incorrecto	0.2869
	La	l.	incorrecto	0.0000
Limón			incorrecto	0.2321
Limón			correcto	0.6844
Lobo			incorrecto	0.3201
Lobo			correcto	0.5537
Pantalón			correcto	0.4071

Escenario Estudiante-2

Palabra	Sílaba	Fonema identificado	Evaluación pronunciación	Puntaje-base pronunciación
Jabón			incorrecto	0.0281
Jabón			incorrecto	0.0557
	Ja	j.	correcto	0.8660
	Bon	b.n.	incorrecto	0.3784
Candado			correcto	0.6349
Pantalón			correcto	0.5649
Limón			incorrecto	0.5972
Limón			incorrecto	0.5265
	Li	l.	correcto	0.4900
	Mon	m.n.	incorrecto	0.0401
Cuna			incorrecto	0.0770
Cuna			incorrecto	0.0278
	Cu	k.	incorrecto	0.0673
	na	n.	incorrecto	0.0000

12. ¿Considera adecuado el proceso de identificación de fonemas a reforzar durante la actividad del módulo de atención? Si _____ No _____ Indecisa _____

Muchas gracias por su tiempo y atención.

Bibliografía

- [1] Jackson-Maldonado, D., 2011. *La identificación del Trastorno Específico de Lenguaje en Niños Hispano-hablantes por medio de Pruebas Formales e Informales*. Revista Neuropsicología Neuropsiquiatría y Neurociencias, vol. 11, no. 1, pp. 33-50.
- [2] Peñafiel, K., 2010. *Evaluación e intervención logopédica de dislalias funcionales en niños y niñas de primero a tercer año de educación básica*, Escuela Fiscal Mixta Panamá (tesis pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- [3] Vaquerizo-Madrid, J., Estévez-Díaz, F., and Pozo-García, A., 2005. *El lenguaje en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad: competencias narrativas*. Revista de Neurología, vol. 41, pp. 583-589.
- [4] Valeriano-Vázquez, M., Méndez-Ramírez, M., Hernández-López, X., and Bustos-Saldaña, R., 2011. *Alteraciones del lenguaje en niños de occidente de México*. E-journal de Medicina Familiar y Atención Primaria Internacional, vol. 5, no.1, pp. 13-20.
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2013). *Las personas con discapacidad en México, una visión al 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, pp. 37-51.
- [6] Instituto Nacional de la Sordera y otros Trastornos de la Comunicación(EU), 2011. *El trastorno específico del lenguaje*. Instituto Nacional de la Sordera y otros Trastornos de la Comunicación, sitio web: <http://www.nidcd.nih.gov/health/spanish/pages/specific-language-impairment-spanish.aspx#5>. [16 Jun 2017].
- [7] Centro de Atención Psicopedagógica de Educación Preescolar, 2014. *Que es C.A.P.E.P.*. Centro de Atención Psicopedagógica de Educación Preescolar, sitio web: <http://www.paginasprodigy.com/preescolarvm/qscapep.htm>. [16 Jun 2017].
- [8] Toki, E., Pange, J., and Mikropoulos, T., 2012. *An Online Expert System for Diagnostic Assessment Procedures on Young Children's Oral Speech and Language*. Procedia Computer Science, vol. 14, no. 14, pp. 428 – 437.
- [9] Massaro, D., 2003. *A computer-animated tutor for spoken and written language learning*. ResearchGate, pp. 172-175.
- [10] Toki, E., Pange, J., 2010. *E-learning activities for articulation in speech language therapy and learning for preschool children*. Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 2, no. 2, pp. 4274–4278.
- [11] King, S., Davis, L., Lehman, J., and Ruddy, B., 2011. *A Model for Treating Voice Disorders in School-Age Children within a Video Gaming Environment*. Journal of Voice, vol. 26, no. 5, pp. 656-663.
- [12] Timbi-Sisalima, C., Robles-Bykbaev, V., Guiñansaca-Zhagüi, E., CapónAlbarracín, M., & Ochoa-Arévalo, G., 2015. *ADACOF: una aproximación educativa basada en TIC para el aprendizaje digital de la articulación del código fonético en niños con discapacidad*. Perfiles Educativos, vol. 37, no.149, pp. 187-202.
- [13] Ferguson, S., Johnston, A., Ballard, K., Tan, C., and Perera-Schulz, D., 2012. *Visual Feedback of Acoustic Data for Speech Therapy: Model and Design Parameters*. ACM, vol. 7, pp. 135-140.

- [14] Shahin, M., Ahmed, B., Parnandi, A., Karappa, V., McKechnie, J., Ballard, K. J., and Gutierrez-Osuna, R., 2015. *Tabby Talks: An automated tool for the assessment of childhood apraxia of speech*. ScienceDirect, vol. 70, pp. 49-64.
- [15] Pentiu, S. G., Schipor, O. A., Danubianu, M., Schipor, M. D., and Tobolcea, I., 2010. *Speech Therapy Programs for a Computer Aided Therapy System*. Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, vol. 7, no. 103, pp. 87–90.
- [16] Woolf, B., 2009. *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing e-Learning*. Elsevier, Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers.
- [17] Flórez-Fernández, H., 2007. *Construcción de ontologías OWL*. Vínculos. Ciencia Tecnología y Sociedad: un enlace hacia el futuro, vol. 4, no. 1, pp. 19-34.
- [18] Codina, L., Rovira, C., 2006. *La web semántica*. En: Tramullas, J. (ed.). Tendencias en documentación digital. Gijón: Ediciones Trea, pp. 9-54.
- [19] Getting Started with Protégé, 2017. Recuperado de: <http://bmir-stage.stanford.edu/doc/owl/getting-started.html>.
- [20] Noy, N., McGuinness, D., 2001. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford University.
- [21] Hayes, N., Keegan, S. and Goulding, E., 2012. Evaluation of the Speech and Language Therapy Service of Tallaght West Childhood Development Initiative. Dublin: Childhood Development Initiative (CDI).
- [22] Boyle, J., McCartney, E., Forbes, J., and O'hare, A., 2007. *Language therapy manual*. Health Technology Assessment 2007, vol. 11, no. 25.
- [23] Sierra, E., García-Martínez, R., Cataldi, Z., Britos, P. and Hossian, A., 2006. *Towards a Methodology for the Design of Intelligent Tutoring Systems*. Research in Computing Science Journal, vol. 20, pp. 181-189.
- [24] Miller, S., 1992. *Political Implications of Participatory Design*, PCD'92: Proceedings of the Participatory Design Conference, Edited by Muller, M., Kuhn, S., and Meskill, J., Computer Professionals for Social Responsibility, pp. 93-100.
- [25] Kautz, K., 2010. *Participatory Design Activities and Agile Software Development*. Human Benefit Through the Diffusion of Information Systems Design Science Research, vol. 318, pp. 303–316.
- [26] Zliobaite, I., Bifet, A., Gaber, M., Gabrys, B., Gama, J., Minku, L., and Musial, K., 2012. *Next challenges for adaptive learning systems*. SIGKDD Explorations, vol. 14, no. 1, pp. 48-55.
- [27] Liu, F., 2007. Personalized learning using adapted content modality design for science students. In *Proceedings of the 14th European conference on Cognitive ergonomics: invent! explore!*, ACM, pp. 293–296.

- [28] Gascuena, J., Fernandez-Caballero, A., and Gonzalez, P., 2006. *Domain Ontology for Personalized E- Learning in Educational Systems*. Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies.
- [29] InternationalPhoneticAlphabet.org, 2016. International Phonetic Alphabet, [Online], Available: <http://www.internationalphoneticalphabet.org/ipa-sounds/ipa-chart-with-sounds/> [16 Jan 2017].
- [30] Finstad, K., 2010. *The Usability Metric for User Experience*, Interacting with Computers, vol. 22, no. 5, pp. 323-327.