

Desarrollo de la conciencia fonológica del Francés asistido por software

Software aided development of the French phonological awareness

Jhair Daniel Flores Ante*, Miguel De-la-Torre[†], Rosa Lidia Navarro Gómez[‡],
Omar Alí Zatarain Durán[†], Wilson Castro[§]

*Maestría en Ingeniería de Software, Centro Universitario de Los Valles, Ameca, México
jhair.flores9292@alumnos.udg.mx

[†]Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México
Email: {miguel.dgomora, omar.zatarain}@academicos.udg.mx

[‡]Departamento de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad de Guadalajara, México
Email: rosa.navarro3301@academicos.udg.mx

[§]Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú
Email: wcastro@unf.edu.pe

Resumen— Uno de los retos para el aprendiz de una lengua extranjera, es adquirir las habilidades para una comunicación oral efectiva, entre ellas se encuentra la pronunciación. La Conciencia Fonológica (CF) promueve el desarrollo de habilidades que pueden apoyar la mejora de la pronunciación. En este artículo se describen los resultados de la búsqueda documental realizada para encontrar las aplicaciones que ayudan a desarrollar la conciencia fonológica, y se discuten los retos que han sido abordados parcialmente, o aún no se reportan. Entre los retos encontrados se incluye el limitado o poco documentado desarrollo de aplicaciones orientadas a desarrollar la CF a nivel fonémico, así como estrategias de evaluación y retroalimentación generalizadas que no siempre corresponden con el nivel de CF del aprendiz. En particular, se enfatiza la carencia de un software para el desarrollo de la CF del Francés a nivel fonémico, y se propone como una línea transdisciplinar de investigación y desarrollo.

Index Terms—Aprendizaje de idiomas asistido por software; articulación fonémica; aprendizaje máquina; comet-ocep; conciencia fonológica.

Resumen—An important challenge for a student learning a second language is the development of phonological awareness (FA) of the new language. FA is essential to develop the correct articulation of sounds different from those of their native language. In this paper, the results of the documentary search to find the applications that support FA are described, and the challenges that have been partially addressed, or are not yet reported, are discussed. Among the challenges encountered is the limited or poorly documented development of applications aimed at developing FA at the phonemic level and limited evaluation strategies that do not consider the FA in general. In particular, the lack of software for the development of French FA at the phonemic level is emphasized, and it is proposed as a transdisciplinary line of research and development.

Index Terms—Software aided language learning; pronunciation; machine learning; comet-ocep; phonological awareness.

I. INTRODUCCIÓN

Entre las dificultades que presenta quien desea aprender una lengua extranjera (LE), está la entonación y la manera de articular los sonidos propios de la lengua meta. Aun cuando pronuncie perfectamente su lengua materna, lo más común es que la lengua meta tenga un conjunto de sonidos completamente diferentes, que le exijan un uso del aparato fonador a la que no se ha acostumbrado. A manera de ejemplo, los sonidos vocálicos del español solo son cinco (*e.g.* a, e, i, o, u), y la acentuación solo modifica la entonación de las palabras. Sin embargo, en lenguas como el Francés, los acentos y las diferentes combinaciones de vocales modifican la pronunciación (*e.g.* é, è) y en ocasiones producen sonidos distintos (*e.g.* ai, eau, ou) [1].

El desarrollo de la habilidad para reconocer y utilizar los sonidos y otros segmentos de una lengua (*i.e.* fonemas), comprende un trabajo de reconocimiento y manipulación de los distintos segmentos del lenguaje. A esta habilidad formalmente se le denomina como conciencia fonológica (CF). Algunos autores distinguen dos niveles de desarrollo de la CF: niveles silábico y fonémico. Dentro del nivel fonémico, el nivel más complejo de desarrollar es el reconocimiento y articulación de los fonemas vocálicos [2], [3]. En este sentido, aprender a articular los fonemas vocálicos de una LE, requiere un esfuerzo consciente por parte del aprendiz para mover los músculos del aparato fonador de manera adecuada. Esto únicamente se logra a través de una constante práctica y continua corrección por un experto en la lengua.

Entre los esfuerzos que se han hecho para facilitar el aprendizaje de LE, está el desarrollo de aplicaciones que permiten apoyar la labor de corrección del profesor mediante diferentes técnicas. Así, se pueden encontrar aplicaciones para el aprendizaje de lenguas en general, tanto las habilidades de lecto-escritura, como la articulación de palabras o frases, o la evaluación de características obligatorias en el lenguaje hablado [4]-[6]. Sin embargo, de acuerdo a lo encontrado, el desarrollo de la CF a nivel silábico en el aprendizaje del Francés aún es un reto por abordar.

En este trabajo se propone el desarrollo de una aplicación móvil utilizando técnicas de reconocimiento de voz para el desarrollo de la CF a nivel fonémico y silábico en el aprendizaje del Francés. Los retos que esta aplicación representa yacen principalmente en la

personalización del aprendizaje, y en el modelado de los distintos fonemas que se pretende que el aprendiz mejore. Asimismo, en el manuscrito se describe el proceso seguido para la recolección de requerimientos, basado en la revisión de trabajos relacionados, así como en la elaboración de prototipos descartables. Las actividades desarrolladas se basan en el modelo COMET-OCEP, que está diseñado para procesos de investigación y desarrollo (R&D por sus siglas en Inglés) [7], [8]. En el proceso se incluyen la revisión documental como etapa explícita para la recolección de requerimientos, así como el desarrollo de prototipos descartables. La revisión documental mencionada incluye no solo libros, artículos de investigación y divulgación, sino también la documentación de librerías y sistemas relacionados no documentados en documentos formales de investigación (productos comerciales).

El resto del manuscrito está organizado primero describiendo la metodología de investigación y desarrollo que comienza con una revisión de documentos que incluyen publicaciones de trabajos relacionados (Sección II). En seguida se detalla el proceso formal seguido para encontrar de los sistemas existentes para el desarrollo de la conciencia fonológica, siguiendo una revisión documental basada en la metodología PRISMA (Sección III). En seguida se presenta una discusión sobre los trabajos encontrados y se describe la propuesta de solución que integra las características más relevantes de los sistemas actuales, así como las propuestas por los autores (Sección IV). Finalmente, se exponen las conclusiones, y se especifican las líneas de trabajo por abordar en la investigación en el área, y el desarrollo del sistema propuesto (Sección V).

II. METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE

Para el desarrollo del software propuesto se siguió el proceso de software diseñado para investigación y desarrollo (R&D, por sus siglas en Inglés) denominado COMET-OCEP [7], [8]. A este proceso se le agregó de manera explícita la tarea de revisión de trabajos relacionados, que responde a requerimientos particulares a través de la experiencia descrita en artículos, conferencias, libros y demás documentos que describan sistemas similares o relacionados. Aunque en el ámbito académico esta etapa pudiera parecer obvia, en el ámbito de la producción de software no siempre es el caso. Si bien la consulta de documentación oficial de las librerías, o la consulta en foros es una práctica común, el análisis de artículos y documentos formales con revisión por pares no siempre es considerada en un desarrollo. La propuesta de incorporar la revisión de documentos formales a la recolección de requerimientos en conjunto con la elaboración de prototipos descartables, es una apuesta a que el diseñador del software tenga una comprensión más amplia del entorno de las nuevas tecnologías. De esta manera se impulsa a la toma informada de decisiones desde las etapas tempranas, a nivel del análisis de requerimientos y del diseño de la arquitectura.

La Figura 1 muestra el proceso de software seguido en el desarrollo de la aplicación. En la primera fase (**fase de diseño**), orientada a la investigación, se tienen tres etapas. 1) La *etapa de modelado de requerimientos* se apoya de una revisión de documentos formales, y la elaboración de prototipos descartables que llevan a una comprensión más profunda de las necesidades del *stakeholder*. 2) En la *etapa de modelado de análisis* se toma como entrada el documento de especificación de requerimientos de software obtenido de la etapa de modelado de requerimientos, y se definen los modelos estático y dinámico del sistema. 3) En la *etapa de modelado de diseño* se establece la arquitectura del sistema basada en el SRS y los modelos estático y dinámico del sistema, utilizando patrones de arquitectura y distintos diagramas UML. La segunda fase (**fase de construcción**) está orientada al desarrollo de una versión utilizable del software, y sigue las cuatro etapas del proceso OCEP, alimentadas por los insumos generados en la fase de diseño [7], [8].

II-A. Revisión documental

La revisión documental realizada para identificar los retos aún no abordados se organizó como una revisión de literatura siguiendo una versión simplificada de la metodología PRISMA [9]. El primer paso consiste en la *definición del protocolo de revisión*, que incluye la definición de las preguntas de investigación, la delimitación del alcance de la revisión, el establecimiento de los criterios de inclusión y exclusión, así como la conducción de la búsqueda en las bases de datos definidas. El segundo paso consiste en la *ejecución de la búsqueda*, que incluye la selección de los trabajos primarios y la definición de los trabajos de análisis. Finalmente, el tercer paso consiste en la *discusión de los resultados*, que incluye establecer el esquema de caracterización, y el análisis propio de los resultados obtenidos.

Protocolo de revisión

El tema principal a resolver con la revisión tiene que ver con los sistemas y aplicaciones móviles que se han propuesto para la corrección de la pronunciación en aprendices de una segunda lengua. Para diseñar un sistema que desarrolle la conciencia fonológica, primero es necesario conocer las técnicas que se han utilizado en aplicaciones similares. En este sentido, se estableció la pregunta de investigación y se desprenden cuatro preguntas específicas.

Pregunta de investigación: ¿Cuáles son los sistemas de reconocimiento de voz aplicados al aprendizaje de idiomas que existen en artículos indizados, y cuáles son sus características más relevantes?

Preguntas específicas:

- ¿Se han propuesto software o aplicaciones de soporte al desarrollo de la conciencia fonológica?
- ¿Qué técnicas de procesamiento, extracción de características y clasificación se utilizan para detección de la pronunciación correcta o incorrecta en las aplicaciones de aprendizaje de idiomas?
- ¿Cuáles son las plataformas de desarrollo más comúnmente utilizadas en las aplicaciones de detección de la corrección de la pronunciación?
- ¿Cuáles son los elementos metodológicos y propuestas, que se pueden reutilizar en una aplicación de soporte al desarrollo de la conciencia fonológica?

La cadena de búsqueda se formuló en Inglés para una cobertura global, de acuerdo a la metodología PICO [10]. En la Tabla I se muestran las palabras clave elegidas después de un proceso de prueba y error, con distintas palabras para cada elemento, y la cadena de búsqueda resultante. El proceso iterativo para definir las palabras clave se realizó sobre el buscador de *Scopus*, y se detuvo cuando la cadena de búsqueda arrojó las referencias más relevantes para contestar las preguntas de investigación.

Tabla I
PALABRAS CLAVE PARA LA BÚSQUEDA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PICO, Y LA CADENA DE BÚSQUEDA RESULTANTE

| Elemento | Pregunta | Palabra clave |
|--|--|---------------------|
| (P) Población | ¿Quién? | software |
| (I) Intervención | ¿Qué o cómo? | voice |
| (C) Comparación | ¿Comparado con qué? | "language learning" |
| (O) Salida | ¿Qué estás tratando de lograr / mejorar? | pronunciation |
| Cadena de búsqueda resultante | | |
| software AND voice AND "language learning" AND pronunciation | | |

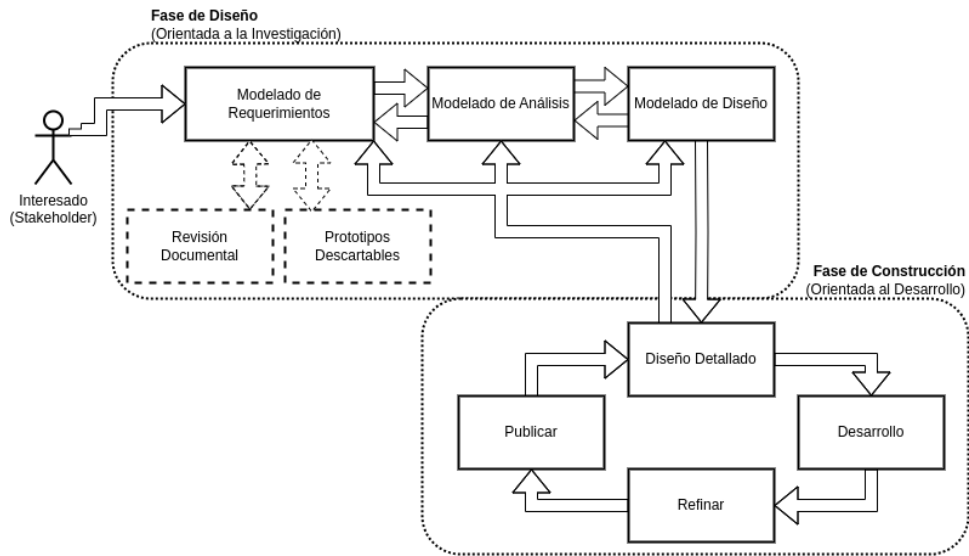


Figura 1. Proceso utilizado en la producción de aplicaciones en un entorno de investigación y desarrollo (R&D)

La cadena de búsqueda se adaptó de acuerdo a la sintaxis de cada base de datos utilizada, como se muestra en la Tabla II.

Tabla II
CADENA DE BÚSQUEDA ADAPTADA A LA SINTAXIS DE CADA BASE DE DATOS CONSULTADA.

| Base de datos | Cadena de búsqueda |
|----------------|--|
| Scopus | TITLE-ABS-KEY (software AND voice AND “language learning” AND pronunciation) |
| Science direct | software AND voice AND (“language learning”) AND pronunciation |
| WOS | software AND voice AND “language learning” AND pronunciation (All Fields) |
| Springer Link | software AND voice AND (“language learning”) AND pronunciation |

Para la ejecución de la búsqueda de artículos se consideraron las bases de datos nombradas en el artículo [9]. El presente estudio se limita a las cuatro fuentes de información mostradas en la Tabla II. El periodo de búsqueda incluye publicaciones desde el año 2017 hasta en el idioma Inglés, y filtrando para el área de computación.

Criterios de inclusión y exclusión

Para la selección de los artículos primarios se consideraron los siguientes criterios de inclusión tomando en cuenta nuestras necesidades planteadas en las preguntas de investigación:

- CI1** Su aportación está en el área del conocimiento de Ciencias de la Computación.
- CI2** En el artículo se propone o describe el desarrollo de un software, tecnología, técnica o librería orientada al aprendizaje de la correcta articulación de un idioma.
- CI3** El artículo constituye una revisión sistemática de desarrollos de software y librerías orientadas al aprendizaje de la correcta pronunciación de un idioma.

Los criterios de exclusión considerados para descartar los artículos en cada uno de los filtros fueron los siguientes cinco:

- CE1** El artículo no está publicado en una revista revisada por pares. Se excluyen los libros, capítulos de libros y manuscritos derivados de conferencias, symposiums y congresos.
- CE2** El artículo no está escrito en idioma Inglés.
- CE3** El artículo trata de aprendizaje de idiomas, pero no tiene que ver con la fonética o con la articulación correcta del idioma.
- CE4** El artículo no trata de aprendizaje de idiomas.
- CE5** No propone una aplicación con reconocimiento de voz para corrección oral en el aprendizaje de lenguas.

Conducción de búsqueda

Para identificar los artículos primarios a utilizar fueron analizados bajo los siguientes filtros de selección, considerando aquellos que cumplen con los criterios de inclusión, y no presentan los criterios de exclusión. El **primer filtro** consistió en eliminar estudios duplicados. El **segundo filtro** es la revisión del título, aplicando los CI y CE. Los estudios en los que exista duda, se pasan a la siguiente revisión. El **tercer filtro** consiste en la revisión del resumen o abstract aplicando los CI y CE. Si en algún estudio aún existe duda, se pasa a la siguiente revisión. Finalmente, en el **cuarto filtro**: las publicaciones restantes fueron leídas en su totalidad y se realizó un análisis minucioso de su contenido, aplicando los CI y CE.

III. EJECUCIÓN DE BÚSQUEDA

Los resultados de la búsqueda en la literatura en las diferentes bases de datos que se muestran en la Tabla III. Después de aplicar los filtros planteados en la estrategia de búsqueda, se identificaron 6 estudios primarios, los cuales se analizaron a profundidad.

Tabla III
TABLA DE RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA DESPUÉS DE APLICAR LOS CUATRO FILTROS

| Base de datos | Resultado | Primer filtro | Segundo filtro | Tercer filtro | Cuarto filtro |
|----------------|-----------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Scopus | 4 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| Science Direct | 25 | 25 | 14 | 9 | 5 |
| Wiley | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Web of Science | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Total | 33 | 32 | 19 | 12 | 6 |

Tabla IV
CLASIFICACIÓN RESULTANTE DEL ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS PRIMARIOS

| Referencia | [11] | [12] | [13] | [14] | [15] | [16] |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|--|----------------------|-------------------------------------|
| Modelado de la voz | HMM | Sin información | Sin información | HMM | HMM | HMM |
| Características de audio | MFCC, STFT | Sin información | Sin información | Vector Quantization | Sin información | MFCC, frame energy y pitch readings |
| Librerías/ Tecnologías | Sin información | Android | API Speech Recognizer, Speech and Text, Unity, Android | WebVoiceCtl, ASP speech recognition module | FPGA | DSPCore, LibriSpeech |
| ¿Qué reconocen? | Palabras, pronunciación | Palabras | Palabras | Palabras, frases, enunciados | Palabras y Fone- mas | Palabras y Fonemas |
| Plataforma | Sistema conceptual | Propuesta conceptual aplicación móvil | Aplicación de juego | móvil, Web | Red 5G | Aplicación móvil |

La Tabla IV presenta los resultados del análisis de las fuentes primarias, haciendo énfasis en el modelo acústico utilizado por los autores, las características de audio utilizadas, las librerías o tecnologías empleadas para el desarrollo de la aplicación, el objeto de reconocimiento (palabras, frases, etc., y el tipo de plataforma para el que se realizó el desarrollo).

De acuerdo a la Tabla IV, se encontró que la mayoría de las investigaciones encontradas emplean los modelos ocultos de Markov (HMM) para representar las características fonéticas de palabras o sonidos. En algunas referencias no se hace mención sobre el modelo utilizado. En relación con las características de audio utilizadas, se encontraron dos trabajos que reportan haber utilizado los coeficientes cepstrales de frecuencia de Mel (MFCC), y un caso que utiliza vectores de cuantización. La mitad de artículos revisados no proporcionan información al respecto. Sin embargo, en cuanto al objetivo de reconocimiento, todos los artículos coinciden en reconocer palabras, lo que significa que trabajan a nivel léxico. En el caso del reconocimiento del mandarín, también se considera el tono debido a que es una lengua tonal [17]. En cuanto al último criterio, se encontraron únicamente tres coincidencias en el desarrollo de aplicación móvil como plataforma, y se tiene una aplicación web, y un desarrollo sobre la red 5G.

IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En los sistemas que se proponen en los estudios primarios se pueden identificar en común tres módulos para procesar el audio. El primero se puede nombrar como de pre-procesamiento, y está encargado de filtrar, eliminar silencios, segmentar el audio de interés, y en general, acondicionar la señal de voz (audio) previo al procesamiento. El segundo módulo es el de extracción de características, que se encarga de obtener una representación de la señal propicia para entrenar el modelo de reconocimiento. Finalmente, el tercer módulo es el de clasificación, ya sea que esté previamente entrenado como el que proporcionan las librerías de reconocimiento de voz, o tenga que entrenarse con datos específicos de la aplicación.

En los estudios primarios se presentan etapas genéricas de pre-procesamiento, como suavizado, filtrado y aproximación [16]. Estas etapas se combinan con algoritmos de segmentación y eliminación de silencios, así como estimación del ritmo del habla para complementar la información de las características para clasificación. En el caso del reconocimiento de frases, se considera también la identificación de la estructura para separar las distintas palabras enunciadas durante una intervención del locutor. De igual manera, dependiendo del lenguaje para el que está diseñada la aplicación, se utilizan algoritmos específicos, como en el caso de las lenguas tonales como el Mandarín [17].

Entre los estudios primarios también se identifica que el modelo más utilizado para representar la voz en los sistemas de reconocimiento de voz, es el modelo oculto de Markov (HMM). Aunque no en todos los trabajos se presentan detalles del entrenamiento de los HMM, en [18] se menciona el uso del algoritmo Baum-Welch para estimación de parámetros sus parámetros. En los trabajos que no se menciona el modelo matemático, se establece que se usan librerías o utilerías estándar como las utilizadas en aplicaciones Android (API Speech Recognizer). Por lo general, no se reporta un entrenamiento especial o un dataset específico para las aplicaciones propuestas. Sólo en [17] se utilizan algoritmos para el análisis del tono en la lengua Mandarín. Aunque HMM es el modelo más utilizado, los algoritmos de reconocimiento automático de voz también incluyen redes neuronales, clasificadores probabilísticos, y esquemas de toma de decisiones como los modelos de combinaciones de Gaussianas (GMM), y las máquinas de soporte vectorial (SVM) [16].

En este sentido, la propuesta de un sistema de reconocimiento de voz para soporte al aprendizaje de idiomas, a nivel fonémico, debería considerar los tres módulos de procesamiento de audio: pre-procesamiento, extracción de características y clasificación. También es relevante considerar el uso de técnicas estándares para cada uno de los módulos, las cuales son comúnmente elegidas en el desarrollo de aplicaciones, como las incluidas en librerías utilizadas para investigación y desarrollo.

V. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se analizan los trabajos realizados durante los últimos años, respecto a las aplicaciones propuestas para el aprendizaje de la articulación de sonidos en el aprendizaje de lenguas, y el desarrollo de la consciencia fonológica. En general se reconocen tres módulos esenciales en la etapa de reconocimiento de voz, que incluyen el pre-procesamiento, la extracción de características y la clasificación. La ventaja de esta modularización es que es común encontrar librerías con implementaciones para cada uno de los módulos, y el uso de estas librerías es sugerido para su implementación.

En cuanto al trabajo futuro, es relevante la implementación de prototipos descartables para evaluar y comparar las técnicas, algoritmos y plataformas existentes, con la finalidad de establecer la mejor configuración. El aprendizaje de lenguas debe ser interactivo, combinando los diferentes niveles (fonémico, silábico, léxico y textual). La propuesta de una aplicación para la corrección a nivel fonémico es una etapa, y se visualiza el desarrollo de sistemas de retroalimentación en los demás niveles. Finalmente, una vez desarrollada la aplicación completa, es importante considerar la evaluación del uso de la aplicación en un ambiente educativo, para observar el efecto de la retroalimentación en grupos de aprendizaje de idiomas.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Puyal, «Oralidad y enseñanza-aprendizaje del francés a hispanohablantes,» *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, vol. 19, n.º 2, págs. 47-73, 2005.
- [2] C. Schuele y D. Boudreau, «Phonological awareness intervention: beyond the basics,» *Language, speech and hearing services in school*, vol. 39, n.º 1, 2008.
- [3] C. . Arenas, C. Hernández, M. M., D. Rojas, M. Scaramelli y L. Tobar, *Jugando con los Sonidos 1*. Caligrafix, 2014.
- [4] Babbel, *Babbel*, es.babbel.com, 2023.
- [5] Duolingo, *Duolingo*, es.duolingo.com, 2023.
- [6] N. Mirea y K. Bicknell, «Using LSTMs to Assess the Obligatoriness of Phonological Distinctive Features for Phonotactic Learning,» en *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019, págs. 1595-1605.
- [7] J. Fonseca, M. De-la-Torre, S. Cervantes, E. Granger y J. Mejia, «COMET-OCEP: A Software Process for Research and Development,» en *New Perspectives in Software Engineering*, J. Mejia, M. Muñoz, Á. Rocha e Y. Quiñonez, eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, págs. 99-112.
- [8] J. Fonseca-Bustos, M. Á. De la Torre Gómora y S. Cervantes Álvarez, «Software Engineering Process for Developing a Person Re-identification Framework,» en *2018 7th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS)*, 2018, págs. 69-77.
- [9] T. Dyba, T. Dingsoyr y G. K. Hanssen, «Applying Systematic Reviews to Diverse Study Types: An Experience Report,» en *First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2007)*, IEEE, sep. de 2007.
- [10] M. Eriksen y T. Frandsen, «The impact of patient, intervention, comparison, outcome (PICO) as a search strategy tool on literature search quality: a systematic review,» *J Med Libr Assoc.*, vol. 106, n.º 4, págs. 420-431, 2018.
- [11] Z. Ge, S. R. Sharma y M. J. Smith, «Improving mispronunciation detection using adaptive frequency scale,» *Computers & Electrical Engineering*, vol. 39, n.º 5, págs. 1464-1472, 2013, ISSN: 0045-7906.
- [12] W. S. Yue y N. A. M. Zin, «Voice Recognition and Visualization Mobile Apps Game for Training and Teaching Hearing Handicaps Children,» *Procedia Technology*, vol. 11, págs. 479-486, 2013.
- [13] R. Wibawa, A. Lokacarya, F. Kurniawan e Y. Udjaja, «Japanese language learning game “Miryoku” using android-based speech recognizer API,» *Procedia Computer Science*, vol. 216, págs. 547-556, 2023.
- [14] Y. Zhai, «Design of Oral English Training System Based on Big Data Content Recommendation Algorithm,» *Procedia Computer Science*, vol. 208, págs. 420-426, 2022.
- [15] Z. Wang y Q. Wu, «Research on automatic evaluation method of Mandarin Chinese pronunciation based on 5G network and FPGA,» *Microprocessors and Microsystems*, vol. 80, pág. 103 534, feb. de 2021.
- [16] N. Bogach, E. Boitsova, S. Chernonog et al., «Speech Processing for Language Learning: A Practical Approach to Computer-Assisted Pronunciation Teaching,» *Electronics*, vol. 10, n.º 3, pág. 235, ene. de 2021.
- [17] Z. Wang y Q. Wu, «Research on automatic evaluation method of Mandarin Chinese pronunciation based on 5G network and FPGA,» *Microprocessors and Microsystems*, vol. 80, pág. 103 534, 2021, ISSN: 0141-9331.
- [18] Y. Zhai, «Design of Oral English Training System Based on Big Data Content Recommendation Algorithm,» *Procedia Computer Science*, vol. 208, págs. 420-426, 2022, 7th International Conference on Intelligent, Interactive Systems and Applications, ISSN: 1877-0509.