

CAPÍTULO I

Estudio bibliométrico de las herramientas de *machine learning* para ayudar a personas con discapacidad auditiva

Isaangie Betancourt Rodríguez
Universidad Politécnica Salesiana
ibetancourtr@est.ups.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8094-6602>

Bertha Naranjo Sánchez
Universidad Politécnica Salesiana
bnaranjo@ups.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4386-2335>

Introducción

La discapacidad auditiva constituye un desafío considerable que afecta a una gran cantidad de individuos en todo el mundo, y se encuentra aún más presente en Latinoamérica. Representa una desventaja en la comunicación y la participación social de las personas con esta discapacidad (Naranjo, 2022).

Esta discapacidad influye negativamente en la calidad de vida de las personas que la poseen, puesto que presentan dificultades para relacionarse con la sociedad, identificar un sonido, conversar y com-

prender, afectando especialmente en los aspectos sociales, emocionales y educacionales (Botina-Monsalve *et al.*, 2018).

En cuanto a la accesibilidad, las personas con discapacidad auditiva pueden encontrar obstáculos en diferentes contextos. Los medios de comunicación (como la televisión, el cine y los vídeos en línea) a menudo carecen de subtítulos o de sistemas de transcripción, lo que dificulta el acceso a la información y al entretenimiento (Sánchez y Peña, 2023). Además, las señales de alarma auditivas en situaciones de emergencia pueden ser inaudibles para estas personas, lo que pone en peligro su seguridad.

Las personas con discapacidad auditiva han desarrollado su propio lenguaje, conocido como lengua de señas, que les ha permitido establecer un canal de comunicación con su entorno social (Naranjo, 2017). Por lo general, este tipo de lengua la dominan solo las personas que poseen esta discapacidad y sus familiares (Andrade Guaraca, 2022).

La lengua de señas es importante para establecer la comunicación entre personas con discapacidad auditiva (Botina-Monsalve *et al.*, 2018) y favorece la inclusión educativa de personas con esta discapacidad (Naranjo, 2022).

Las dificultades ya mencionadas se traducen en desventajas tanto en entornos personales como profesionales. En la era digital actual, las tecnologías basadas en el aprendizaje automático han surgido como una poderosa herramienta para ayudar a superar estas barreras. Estas tecnologías aprovechan los avances en el reconocimiento de voz, el procesamiento del lenguaje natural y la traducción automática para ofrecer soluciones innovadoras y accesibles.

Sin embargo, a pesar del potencial y las oportunidades que ofrecen estas últimas herramientas, es importante comprender el estado actual de su implementación en el continente sudamericano, así como los desafíos y barreras que podrían limitar su adopción y utilización

efectiva. Además, es fundamental evaluar el impacto y la eficacia de estas soluciones en términos de mejora de la calidad de vida y la inclusión de las personas con discapacidad auditiva en la región.

Este estudio, se enfoca en un análisis bibliométrico detallado de las herramientas de Aprendizaje Automático destinadas a las personas con discapacidad auditiva. Se examinan investigaciones y desarrollos relevantes en este campo, destacándose las aplicaciones y soluciones que se han concebido.

Se identifican ventajas, como la mejora palpable en la comunicación y accesibilidad, pero a su vez se exploran minuciosamente las desventajas y limitaciones asociadas. Dicho análisis no solo ofrece una visión panorámica del estado actual de la investigación, sino que también arroja luz sobre la implementación y el impacto de estas soluciones en la región.

En última instancia, a través de la investigación, se pretende contribuir al conocimiento y la comprensión profunda de cómo las herramientas pueden potenciar la inclusión y elevar la calidad de vida de las personas con discapacidad auditiva especialmente, dentro del continente latinoamericano.

Revisión de la literatura

Aprendizaje de máquina

El ‘Machine Learning’ —conocido en español también como “Aprendizaje automatizado” o “Aprendizaje de Máquina”— es una rama de la Inteligencia Artificial (IA) que permite a las máquinas aprender, sin que estas sean expresamente programadas para ello. Se trata un método indispensable para hacer sistemas capaces de identificar patrones entre los datos para hacer predicciones (Franco y Ramos, 2019; Cuevas *et al.*, 2021).

Su único propósito era que los ordenadores aprendan. Para ello se utilizaron distintas técnicas y metodologías estadísticas, matemáticas y lógicas, que posibilitan que las técnicas de Aprendizaje de Máquina manejen e interpreten enorme cantidad de datos.

Se originó como una disciplina independiente en el campo de la IA en la década de los 50. El padre de la IA, Alan Turing, fue uno de los primeros en plantear la idea de que las máquinas son capaces de aprender como un humano. Su término fue acuñado por Arthur Samuel, en 1959, para describir cómo las máquinas podían aprender a través de la experiencia —por ejemplo, en una partida de ajedrez— y mejorar su rendimiento sin ser programadas explícitamente para cada situación (Ramírez, 2018).

El Machine Learning y sus componentes de Deep Learning y redes neuronales, todos encajan como subconjuntos concéntricos de IA. La IA procesa datos para tomar decisiones y hacer proyecciones. Los algoritmos de Machine Learning permiten que la IA no solo procese esos datos, sino que los use para aprender y ser más inteligente, sin necesidad de programación adicional.

El aprendizaje automático crea modelos para resolver tareas específicas. Hay diferentes tipos de modelos:

- Modelos geométricos: se construyen en un espacio con diferentes dimensiones. Si hay una línea recta que separa los datos en grupos, se llaman datos separables linealmente. El límite de decisión se describe con una ecuación como $w \cdot x = t$, donde w es un vector que apunta a la línea, x es un punto en la línea y t es un umbral.
- Modelos probabilísticos: intentan entender cómo se distribuyen las probabilidades de las características para predecir valores específicos. La estadística bayesiana es importante para desarrollar este tipo de modelos.
- Modelos lógicos: convierten las probabilidades en reglas organizadas, y forman árboles de decisión.

TIPOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

El Aprendizaje de Máquina se ha convertido en un área atractiva para la biotecnología, debido a su adaptación a los diversos tipos de análisis y datos, así como a la diversidad de experimentos que se pueden realizar, tras utilizar estos algoritmos (Franco y Ramos, 2019). Estas técnicas se pueden clasificar en cuatro tipos: supervisados, no supervisados, semi-supervisados y por refuerzo.

Aprendizaje supervisado

En este tipo de aprendizaje, un algoritmo crea una función que relaciona entradas con salidas esperadas, usando ejemplos previamente etiquetados. Dicho aprendizaje requiere obligatoriamente de conjuntos de datos con etiqueta. Pedimos al modelo qué es lo que queremos que aprenda. Es útil en campos como la biología computacional.

Según su etiqueta, puede ser de clasificación (etiquetas discretas; quiere decir que una etiqueta se encuentra dentro de otra y con una cantidad determinada) o regresión (valores reales).

Aprendizaje no supervisado

Aquí, el algoritmo se adapta a observaciones sin conocimiento previo. Se distingue fácilmente del aprendizaje supervisado debido a que trabaja con datos sin etiquetas (por lo que no hay manera de predecir un elemento ágilmente), usándolos para extraer conocimiento o agrupar por similitud. Puede reducir la dimensionalidad de datos.

Los algoritmos definen similitud y se aplican a datos genómicos, por ejemplo.

- Aprendizaje semi-supervisado: se basa en retroalimentación del entorno. Los sistemas aprenden mediante ensayo y error, como en el aprendizaje por refuerzo. Se aplica en decisiones basadas en valor y se utiliza en áreas como la robótica.

- **Aprendizaje por refuerzo:** este método recompensa comportamientos deseables y penaliza los no deseados. Los agentes aprenden a través de la interacción con su entorno y ensayo y error. Se aplica en juegos, robótica y optimización de recursos.

Evolución de las herramientas para ayudar a personas con discapacidad auditiva

Según (Pascuali, 2007, como se citó en Alain y Vejarano, 2016):

La comunicación es la relación comunitaria humana consistente en la emisión-recepción de mensajes entre interlocutores, en estado de total reciprocidad, siendo por ello un factor esencial de convivencia y elemento determinante de las formas que asume la sociabilidad del hombre. (p.20)

Es de suma importancia, para los tiempos tecnológicos actuales, que las personas con discapacidad auditiva puedan comunicarse con cualquiera sin hacer esfuerzo; la comunicación es una pieza fundamental para su entorno social y buena convivencia.

Ahora bien, se detallan tres aspectos importantes respecto a las desventajas presentadas por causa de los problemas de audición:

- **Limitaciones en la comunicación:** en el ámbito de la comunicación, las personas con discapacidad auditiva se enfrentan a bastantes desafíos y barreras en las interacciones cotidianas. La falta de audición dificulta la participación plena en conversaciones, la comprensión de discursos o presentaciones, el seguimiento de instrucciones orales y la comunicación en entornos ruidosos. Debido a la poca comprensión y conciencia sobre la discapacidad auditiva por parte de otras personas, aquello puede llevarlos en situaciones de aislamiento social, dificultades en el aprendizaje y limitaciones en el desarrollo de habilidades sociales.

- Barreras educativas: la falta de recursos y adaptaciones en el sistema educativo complica el acceso a la educación para las personas con discapacidad auditiva. Aún existe ese grupo de personas que no consiguen acceso a programas especializados o no cuentan con profesores capacitados en lengua de señas u otros métodos de comunicación adaptados.
- Dependencia de otros: pese a los avances tecnológicos de asistencia auditiva, como audífonos e implantes cocleares, todavía existen personas con discapacidad auditiva que no pueden adquirir dichas herramientas por ser muy costosas, y tienen que depender en gran medida de otros para comunicarse y recibir información.

Antes de las soluciones tecnológicas y herramientas, el estilo de vida de las personas con discapacidad auditiva era bastante diferente y a menudo se enfrentaban a desafíos significativos en su día a día.

Dentro de nuestra línea evolutiva del desarrollo de las herramientas para personas con discapacidad auditiva, se destacan las siguientes significativas:

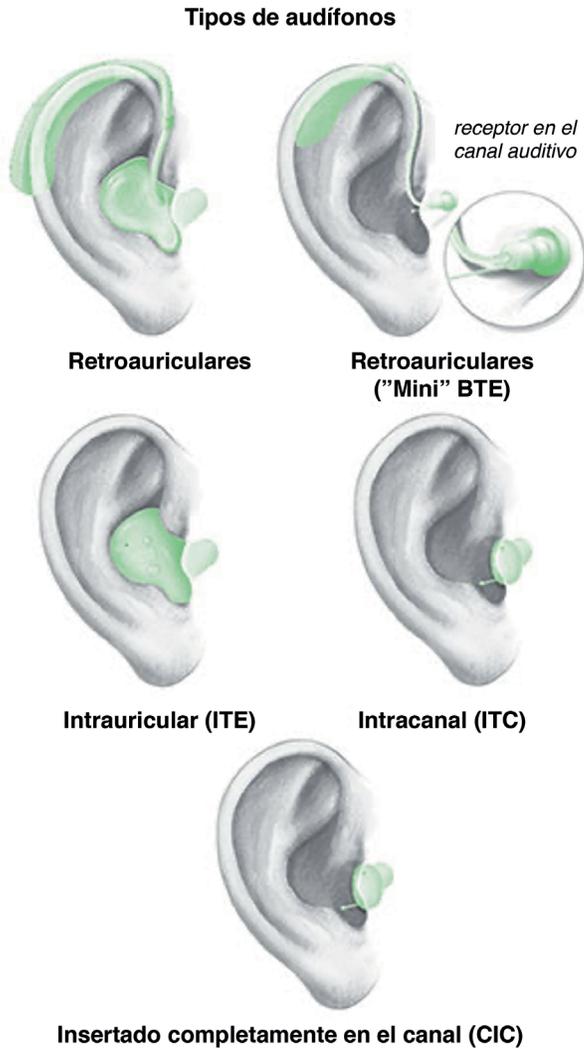
- 1760: el inventor italiano Alessandro Volta crea el primer dispositivo eléctrico para ayudar a las personas con pérdida auditiva. Su invento, conocido como “órgano eléctrico”, consistía en una batería conectada a electrodos que se colocan en los oídos (Manrique *et al.*, 2014).
- 1855: el físico francés Jean-Maurice Émile Bécclère inventa el audífono acústico. Este dispositivo era un tubo de madera que amplificaba el sonido y se colocaba en la oreja del usuario (Del Carmen Albineda Ávila, 2004).
- 1878: el teléfono, inventado por Alexander Graham Bell, se utiliza como una herramienta para ayudar a las personas con discapacidad auditiva. Bell fue motivado por su esposa y madre, ambas con una discapacidad auditiva, a trabajar en soluciones para mejorar la comunicación (Gorman y Carlson, 1990).

- 1898: Miller Reese Hutchison inventa el audífono de carbono, que utiliza un micrófono de carbono para amplificar el sonido. Este avance permitió una amplificación más efectiva y clara (Mueller, 2000).
- 1948: el primer audífono de transistores es desarrollado por los ingenieros de la empresa Maico. Dicho avance tecnológico permitió una reducción significativa en el tamaño de los audífonos, haciéndolos más portátiles y cómodos de usar (García-Ordaz, 2023).
- 1961: Ingeborg y Georg Von Békésy desarrollan la audiometría de impedancia, una técnica que permite evaluar la función del oído medio y detectar problemas de audición en personas con discapacidad auditiva (Suaza Medina y Calderón Anaya, 2014).
- 1973: la compañía 3M lanza al mercado el primer audífono completamente en el canal auditivo (CIC). Estos dispositivos se colocan en el canal auditivo, lo que los hace prácticamente invisibles desde el exterior (Pascoe, 1999).
- 1980: la tecnología de procesamiento de señales digitales (DSP) comienza a utilizarse en audífonos. Esto permite un procesamiento más preciso y personalizado del sonido, mejorando la calidad y claridad del sonido amplificado (Rodríguez Montoya, 2019).
- 1996: la compañía Cochlear Limited lanza el implante coclear Nucleus 24, que proporciona estimulación eléctrica directa al nervio auditivo y se convierte en uno de los implantes cocleares más utilizados en el mundo (Ramsden *et al.*, 2005).
- 2006: se lanza el primer audífono de conducción ósea completamente implantable, conocido como el Bone Anchored Hearing Aid (BAHA). Este dispositivo transmite el sonido a través de vibraciones óseas, proporcionando una opción de tratamiento para personas con pérdida auditiva conductiva o mixta (Snik *et al.*, 2004).

- 2012: Google lanza Google Sound Search, una aplicación basada en Machine Learning que permite identificar canciones y proporcionar información sobre la música que se está reproduciendo en tiempo real (Diez, 2012).
- 2014: la empresa Oticon introduce el primer audífono con tecnología de Machine Learning, llamado Oticon Opn. Este audífono utiliza algoritmos de Machine Learning para analizar el entorno sonoro y mejorar la experiencia auditiva de los usuarios al reducir el ruido de fondo y resaltar los sonidos de interés (Beck y LeGoff, 2017).
- 2016: Starkey Hearing Technologies lanza Livio AI, un audífono que utiliza Machine Learning y sensores integrados para proporcionar una experiencia auditiva mejorada. Este audífono puede detectar caídas, medir la actividad física y monitorear la salud cerebral, brindando múltiples funciones además de la amplificación de sonido (Rahme *et al.*, 2021).
- 2018: la empresa Nuheara presenta los auriculares IQbuds Boost, que utilizan Machine Learning para adaptar la amplificación del sonido a las necesidades auditivas individuales de los usuarios. Aquellos auriculares pueden personalizarse para mejorar la audición en entornos específicos y ofrecer una experiencia auditiva más personalizada (Dacus y Rawool, 2020).

Un auricular para personas sordas es un aparato el cual usa frecuencias de radio en FM, para transmitir señales de audio directamente al oído de la persona. Dicho dispositivo no solo capta la voz, pueden captar incluso, el ruido existente en una habitación —como por ejemplo un salón de clases, convirtiendo el sonido en un ruido muy molesto para la persona (Alain y Vejarano, 2016).

Figura 1
Tipos de audífonos



Nota. Tomado de <https://bit.ly/4d7v1v2>

Si bien, existen otras herramientas de asistencia auditiva tradicionales, como soluciones no siempre son suficientes para superar por completo las barreras comunicativas y de accesibilidad. Es aquí donde las herramientas basadas en Inteligencia Artificial y Machine Learning pueden desempeñar un papel fundamental al proporcionar alternativas tecnológicas, con fin de mejorar la comunicación y la accesibilidad de las personas con discapacidad auditiva.

HERRAMIENTAS CON EL MÉTODO DE MACHINE LEARNING EN LATINOAMÉRICA

La discapacidad auditiva es una condición que afecta a millones de personas en todo el mundo, que incluye a la población de Latinoamérica.

En el contexto específico de este último, donde la diversidad cultural y lingüística presenta desafíos adicionales, las herramientas y aplicativos basados en inteligencia artificial pueden desempeñar un papel crucial para facilitar la comunicación y la inclusión de las personas con discapacidad auditiva. Estas soluciones pueden incluir sistemas de transcripción en tiempo real, aplicativos de traducción de lengua de señas, asistentes virtuales accesibles y otras tecnologías adaptadas a las necesidades de la región.

Sin embargo, a pesar del potencial y las oportunidades que ofrecen estas herramientas, es importante comprender el estado actual de su implementación en el continente sudamericano, así como los desafíos y barreras que podrían limitar su adopción y utilización efectiva. Además, es fundamental evaluar el impacto y la eficacia de estas soluciones en términos de mejora de la calidad de vida y la inclusión de las personas con discapacidad auditiva en la región.

En la era digital actual, las tecnologías basadas en el aprendizaje automático han emergido como una poderosa herramienta para ayudar a superar estas barreras. Estas tecnologías aprovechan los avances en el reconocimiento de voz, el procesamiento del lenguaje

natural y la traducción automática para ofrecer soluciones innovadoras y accesibles.

A continuación, mencionemos algunas aplicaciones o herramientas que trabajan con Machine Learning en Latinoamérica, las cuales continúan en fase de desarrollo, para los usuarios que buscan reducir los problemas de audición, detallando sus ventajas y desventajas respectivamente. Esto aporta al conocimiento y la comprensión de las posibilidades que ofrece el aprendizaje de máquina, para promover la inclusión y mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad auditiva.

Sistema de captura de gestos con LeapMotion y redes neuronales para su clasificación

Para 2017, Colombia presentó un prototipo funcional que permite capturar y “memorizar” datos para el entrenamiento del sistema de una forma fácil, mediante una interfaz. Gracias a eso, la persona con discapacidad auditiva podrá crear gestos de manera predeterminada (Muñoz García, 2017).

Mientras esto se encontraba en desarrollo, se ha evaluado las capacidades de un dispositivo de captura de movimiento útil que se conecta mediante USB, llamado “Leap Motion” (para reconocer cada dedo de la mano, sin importar la posición y/o ángulo de esta), y la eficiencia de las técnicas del aprendizaje de máquina utilizadas para identificar patrones físicos dentro la lengua de señas colombiana.

Luego del dispositivo “Leap Motion”, le siguen otras herramientas muy importantes. Se requirió de una metodología llamada Kanban —para elaborar tareas de desarrollo y de diseño— un sistema de *database* bajo el nombre de MondoDB —para crear una base de datos no relacional— y unos cuantos *frameworks* de Javascript (angular.js, synaptic.js, y leap.js, etc.).

Figura 2
Gesture control



Nota. Tomado de Muñoz García, 2017.

Una vez recopilados los datos a través de su sensor, son manipulados para proceder al entrenamiento de las redes neuronales. Con un testeo, se han comparado los dos modelos: las clasificaciones *multi-etiqueta* (ML) y *multi-clase* (MC).

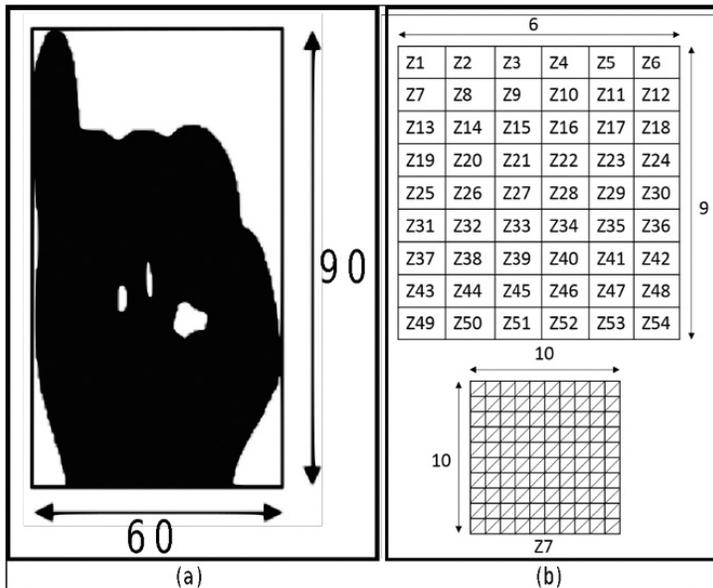
Clasificación automática de las vocales en la lengua de señas (Colombia)

Dada la cantidad innumerable de gestos estáticos y dinámicos necesarios para representar palabras o una expresión —y varía de acuerdo con el idioma o región (especialmente, entre los países de Latinoamérica)— reconocer la lengua de señas se volvió sumamente complejo. En el caso de Colombia, nuevamente, se trabajó en otra herramienta capaz de identificar los gestos de las manos para ser interpretados como caracteres de la lengua de seña del país (Bolina-Monsalve *et al.*, 2018).

Como resultado, se adquirieron 151 imágenes por clase, incluyendo una única clase no vocal con escenas diferentes. Una vez capturados o detectados los elementos, se procedió a separar el objeto en cuestión del resto de la escena utilizando información de colores; y por último, se extrajeron características que permitieron leer y definir el gesto equivalente a cada vocal.

Figura 3

Redimensión del objeto conexo; extracción de 54 características



Nota. Tomado de <https://bit.ly/3SemuhJ>

Se probaron múltiples clasificadores para cada conjunto mediante el uso de la validación cruzada, para así adquirir un desempeño superior al 90 % en la mayoría de los clasificadores.

Clasificación y reconocimiento de gestos de la mano basado en el abecedario de la lengua de señas (Perú)

El principal objetivo fue desarrollar dos arquitecturas: una de Red neuronal convolucional (Convolutional Neural Network, CNN) y otra de Codificador automático de eliminación de ruido apilado (Stacked Denoising Autoencoder, SDAE), para que realicen la tarea de clasificar y reconocer un compilado de gestos estáticos de la mano, basados en un abecedario dactilológico de lengua de señas de Perú —los cuales son obtenidos a partir de una base de datos previamente desarrollada. Se ha buscado que un sistema informático haga el reconocimiento y clasificación de una forma más precisa, ante invariaciones de: escala, rotación y traslación; y que estas sean robustas ante los ruidos y/o alteraciones de iluminación.

El reconocimiento de gestos de las manos es un área de investigación bastante activa en visión por computador, interacción hombre-computadora, aprendizaje por computadora y robótica, ayudando en el proceso de traducir la lengua de señas para las personas con problemas de audición. Al mismo tiempo, esto puede convertirse en una herramienta útil en los ámbitos de educación.

Para llevarlo a cabo, se requirió primordialmente de un GPU —cuyo propósito es acelerar el entrenamiento de las redes profundas— además de contar con las técnicas usuales del aprendizaje de máquina, que son extracción y clasificación. Al final de este proyecto, se comparan los resultados de precisión y error adquirido entre las dos arquitecturas de red profunda ya diseñadas (CNN y SDAE; Flores Campana, 2017).

Sistema de reconocimiento de gestos de la mano, basado en visión artificial (para estudiantes escolares con discapacidad auditiva)

Se centra en crear un sistema de reconocimiento de gestos de la mano para estudiantes escolares con problemas auditivos en la

ciudad de Lima, Perú. Gracias a este sistema, se llega a mejorar los procesos de aprendizaje del alumno.

El proyecto tiene como base: el conocimiento la lengua de señas peruana, los conceptos de las redes neuronales, deep learning, el lenguaje informático Python, cámaras de profundidad de campo, procesamiento de imágenes y comunicación inalámbrica.

Se esperó que el diseño de este sistema embebido portátil permita reconocer gestos de la mano y convertirlas a texto de manera constante y autónoma (Aliaga Olivares, 2019).

Herramienta de apoyo para la interpretación de la lengua de señas mexicana (HILSEM)

Este sistema cumple el propósito de traducir un conjunto determinado y claro de palabras en lengua de señas mexicana a voz en el idioma español (Castro Estévez y Cruz García, 2014).

La herramienta hace uso de la tecnología Kinect, no obstante, también requiere el soporte de ciertas herramientas, como:

- Unity 3D (plataforma de desarrollo y motor de videojuegos multiplataforma).
- C# (lenguaje de programación que compila aplicaciones, las cuales son ejecutadas posteriormente en .NETFramework).
- MySQL (programa de administración de base de datos).
- Monodevelop (ambiente de desarrollo integrado proporcionado con Unity).

Sistema de reconocimiento de vocales de la lengua de señas de México

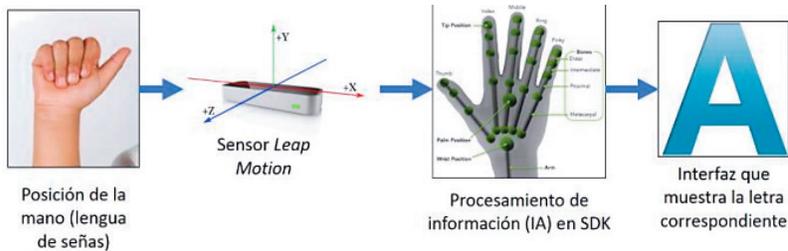
No cabe la menor duda de que la lengua de señas es también un medio de comunicación importante e indispensable para pequeñas comunidades de personas con discapacidad auditiva, que necesitan a diario intercambiar palabras e ideas dentro de sus interacciones sociales. Luego de la aparición de sensores de reconocimiento de

gestos, como Kinect, surge cierto interés por utilizarlos para interpretar la lengua de señas.

La lengua de señas tiene poco alcance a nivel global, para ser entendido por la mayoría de las personas. Debido a ello, en México, una vez más se planteó desarrollar un sistema confiable y manejable para el reconocimiento de la lengua de señas (propias de su país), y de esta forma, proveer una plataforma de interfaz natural que facilite la comunicación para ese grupo de personas.

Figura 4

Diagrama de bloques del flujo de información



Nota. Tomado de <https://bit.ly/3LstEv5>

Mediante el sensor antes mencionado “Leap Motion Controller”, se consigue detectar las posturas y los movimientos de las manos con fina precisión. El sistema tiene la tarea de captar, leer la información que recibe con las imágenes (gracias al sensor), para finalmente interpretar las vocales de la lengua de señas mexicana con los gestos estáticos de los dedos.

Con el propósito de lograr el reconocimiento de los gestos, equivalentes a las vocales, se usó el modelo de perceptrón multicapa con una interfaz visual en tiempo real. Posteriormente, la red neuronal fue entrenada correctamente por un experto en lengua de señas, para lograr así la habilidad de reconocimiento de hasta 100 % (Cuecuecha-Hernández *et al.*, 2018).

METODOLOGÍA Y MATERIALES

Para llevar a cabo el exhaustivo análisis bibliométrico, que investigó el uso de herramientas de Machine Learning bajo el contexto de la discapacidad auditiva y su impacto en la mejora de su calidad de vida, se consideró seguir una metodología dividida en tres etapas claves: búsqueda de fuentes de información, registro de información y cálculo de indicadores bibliométricos.

Fuentes de información

Se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas en diversas bases de datos académicas —por ejemplo, Web of Science y Scopus. Las palabras clave principales utilizadas para la investigación, incluyeron términos en inglés, relacionados con ‘Aprendizaje de Máquina’ (*Machine Learning*), ‘Herramientas’ (*Tools*) y ‘Discapacidad Auditiva’ (*Hearing Impairment*). Se probó antes la tercera palabra clave mencionada, por separado, para establecer una cantidad de documentos que tengan en común el tema principal.

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar las publicaciones pertinentes, como artículos científicos, conferencias y revisiones relevantes publicados en los últimos cuatro años.

Por último, se realizaron búsquedas manuales en revistas especializadas por examinar las listas de referencias de los artículos seleccionados con fin de identificar cualquier estudio adicional relevante.

Registro de información

La información relevante extraída de las fuentes seleccionadas se registró de forma sistemática. Para empezar, se crea una base de datos para almacenar y organizar los registros bibliográficos de cada artículo seleccionado, el cual incluye información primordial: el título del artículo, los autores, el año de publicación, el título de la revista o la conferencia, y las palabras clave.

Además, se recolectaron datos adicionales, como el número de citas recibidas por cada artículo y la afiliación institucional de los autores. Este registro exhaustivo permitió un análisis riguroso de los datos bibliométricos.

Cálculo de indicadores bibliométricos

Una vez registrada la información bibliográfica, se calcularon varios indicadores bibliométricos para analizar la producción científica en el campo de las herramientas de Machine Learning para personas con discapacidad auditiva.

Estos indicadores incluyeron medidas como el recuento de publicaciones por año, la distribución de citas recibidas por los artículos, el análisis de coautoría y la identificación de las principales instituciones y autores más influyentes en el campo. Los cálculos fueron llevados a efecto, gracias al uso de un software especializado en bibliometría —como VOSviewer y CiteSpace— el cual permite visualizar y analizar las relaciones y patrones en la red de coautoría y citas.

Luego de concluir el proceso metodológico, se procedió a hacer un recuento estadístico de los datos, con la finalidad de conseguir los indicadores bibliométricos.

Resultados

A continuación, mediante gráficos, se presentan los resultados obtenidos del estudio bibliométrico sobre el uso de herramientas de Machine Learning, en el contexto de la discapacidad auditiva y su impacto en la mejora de la calidad de vida de las personas con esta condición.

Producción científica (estimación de la distribución por año)

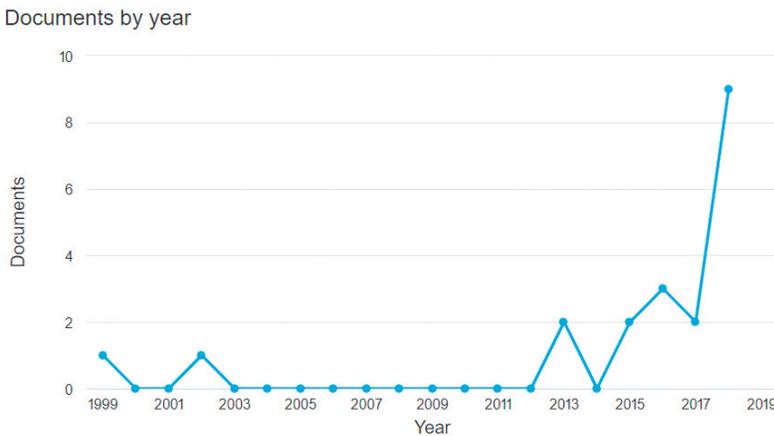
Después de aplicar los filtros correspondientes, se recopiló y analizó un total de 166 documentos (artículos científicos, conferen-

cias y revisiones pertinentes) relacionados con el tema. Estos estudios fueron publicados en el período desde 1999 hasta la fecha actual, resultando finalmente 101 en total.

La figura 5 revela la distribución anual de las publicaciones, lo que permite observar las tendencias de investigación en el campo.

Figura 5

Publicaciones por año (desde 1999 hasta 2018)



Nota. Elaborado en www.scopus.com

Durante el desarrollo de este estudio bibliométrico, se pudo identificar patrones significativos en términos de autores prominentes y países líderes en la investigación en este campo.

Estimación de publicaciones por autores y países

Dentro del conjunto de publicaciones examinadas, se identificaron autores que han realizado contribuciones destacadas en el campo de las herramientas de Machine Learning para la discapacidad auditiva.

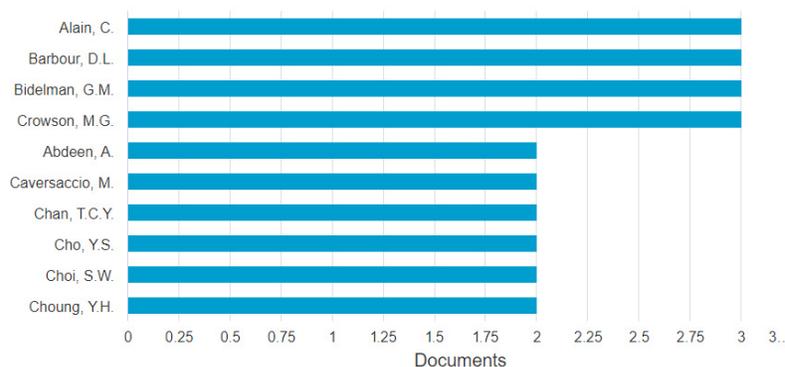
Asimismo, se realizó un análisis de la distribución geográfica de las publicaciones. Los resultados de la figura 7 muestran que Estados Unidos es líder en términos de número de publicaciones en este tema. Este hallazgo refleja un interés y compromiso global en abordar las barreras de comunicación y accesibilidad que enfrentan las personas con discapacidad auditiva.

Figura 6

Publicaciones por autores

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



Nota. Elaborado en www.scopus.com

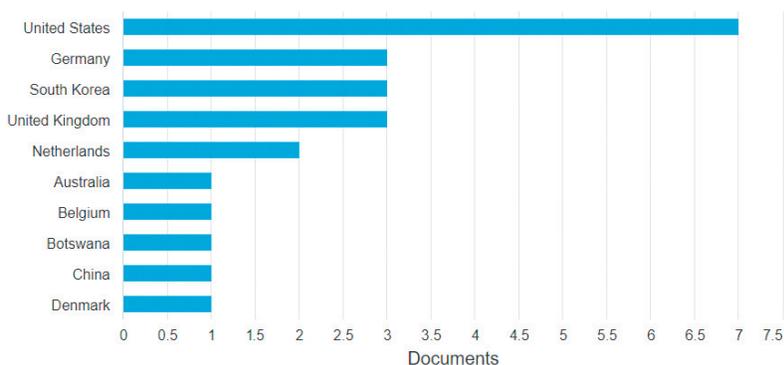
Los resultados preliminares de las figura 6 y 7 ofrecen una visión inicial de la prominencia de ciertos autores y países en la investigación relacionada con herramientas de aprendizaje de máquina para personas con discapacidad auditiva. Es importante señalar que dichas búsquedas pueden evolucionar a medida que se realice un análisis más exhaustivo y se incluyan un mayor número de publicaciones en el estudio.

Figura 7

Publicaciones por países

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Nota. Elaborado en www.scopus.com

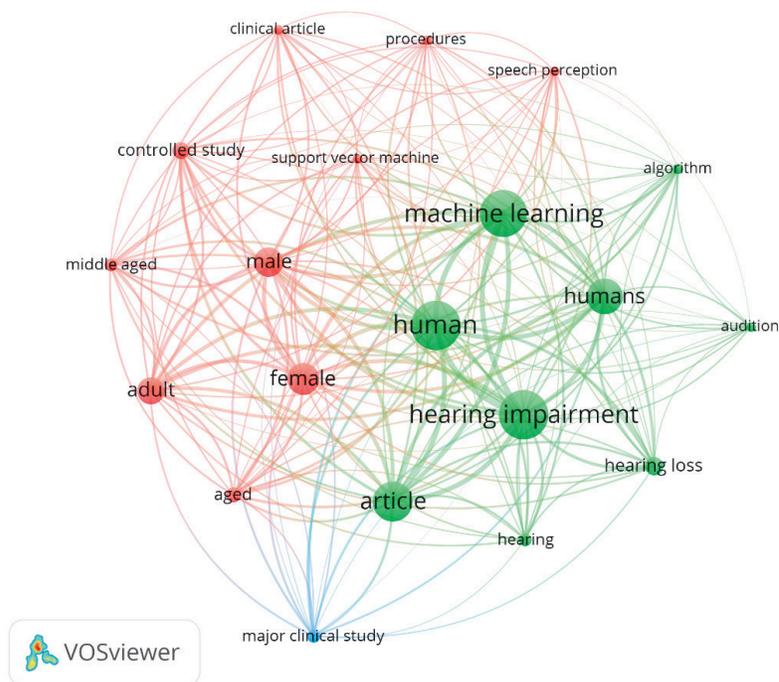
Técnicas de análisis de datos

A través de la herramienta de visualización especializada, VOS-viewer, se identificaron las instituciones y autores más influyentes en el campo del Machine Learning para la discapacidad auditiva. En la figura 8, se logró presentar un mapa bibliométrico basado en etiquetas y palabras clave.

Los resultados de este estudio bibliométrico brindan una visión integral de la producción científica, el impacto y la colaboración en el campo de las herramientas de Machine Learning para personas con discapacidad auditiva.

Aquellos hallazgos proporcionan una base sólida para comprender la evolución y la dirección de la investigación en este ámbito, así como para identificar tendencias emergentes y áreas de enfoque clave.

Figura 8
Mapa bibliométrico basado en palabras claves



Discusión

Tras analizar los resultados adquiridos en este estudio bibliométrico, se revelaron importantes consideraciones sobre el uso de herramientas de Machine Learning que permitirán favorecer a la comunidad de personas con discapacidad auditiva y dar un impacto en la calidad de vida de ellas.

Aquellas búsquedas resaltan la necesidad urgente de abordar los desafíos que enfrentan las personas con discapacidad auditiva en términos de comunicación, educación y acceso a tecnologías de asistencia.

La producción científica, dentro de este campo, mostró un creciente interés en la utilización de tecnologías de Machine Learning para abordar los problemas de la discapacidad auditiva. La distribución de citas también reflejó la influencia y relevancia de ciertos trabajos, lo que indica áreas de enfoque destacadas y su impacto en la comunidad científica.

Las barreras educativas identificadas ponen de relieve la necesidad de un mayor esfuerzo en la adaptación de los sistemas educativos, con el fin de garantizar el acceso a la educación y la capacitación adecuada para personas con discapacidad auditiva. Los avances tecnológicos, como la traducción automática de lengua de señas, podrían ser fundamentales para mejorar la inclusión en entornos educativos.

En esta discusión, también se consideró los desafíos éticos, técnicos y económicos que acompañan la implementación y adopción de estas tecnologías en América Latina. La falta de recursos, la formación de profesionales y las limitaciones económicas podrían afectar la implementación y el acceso a estas herramientas.

Aunque las herramientas de asistencia auditiva tradicionales ofrecen ciertas ventajas a algunas personas con discapacidad auditiva, su limitada accesibilidad y eficacia aún representan desafíos. En este sentido, las soluciones basadas en Machine Learning tienen el potencial de proporcionar alternativas innovadoras que aborden estas limitaciones.

Conclusiones

Los resultados revelan la importancia de abordar la discapacidad auditiva desde una perspectiva tecnológica y de investigación.

Las desventajas experimentadas por personas con discapacidad auditiva en términos de comunicación, barreras educativas y dependencia de otros son evidentes. La presencia predominante de esta condición en Latinoamérica subraya la urgencia de buscar solu-

ciones efectivas para mejorar la comunicación y la inclusión de las personas con dicha discapacidad en la región.

Aunque las soluciones de asistencia auditiva tradicionales han ofrecido mejoras en ciertas áreas, estas no son lo suficiente para abordar completamente las limitaciones que enfrentan las personas con discapacidad auditiva. Es en este punto donde las tecnologías basadas en el aprendizaje automático y la inteligencia artificial tienen un impacto significativo.

La era digital actual ha demostrado el potencial de las tecnologías de aprendizaje automático para superar las barreras comunicativas y de accesibilidad. La implementación de estas tecnologías ofrece soluciones innovadoras que mejoran la comunicación y permiten una mayor inclusión social y educativa para las personas con problemas de audición.

A pesar de estos avances, es muy importante destacar que aún existen desafíos en la implementación de tecnologías dentro del continente latinoamericano. Las barreras económicas, la falta de infraestructura y el desconocimiento de los avances tecnológicos pueden limitar la adopción y difusión efectiva de estas soluciones.

Sin embargo, con un enfoque colaborativo entre instituciones educativas, investigadores, desarrolladores y organizaciones de apoyo a la discapacidad, es posible superar estos obstáculos y maximizar el potencial de las tecnologías de aprendizaje automático en beneficio de todas las personas con discapacidad auditiva.

Las soluciones basadas en Machine Learning presentan oportunidades prometedoras, pero también desafíos considerables en términos de implementación y adopción efectiva. Es fundamental que los esfuerzos se centren en la colaboración entre investigadores, profesionales de la discapacidad auditiva y expertos en el aprendizaje por computadora e inteligencia artificial para desarrollar herramientas eficaces y adaptadas a las necesidades reales de las personas con esta discapacidad.

A medida que Latinoamérica avanza hacia la adopción de tecnologías inclusivas, es esencial abordar los obstáculos técnicos, éticos y económicos para garantizar que estas soluciones alcancen su máximo potencial y consigan un impacto positivo en aquellas personas con dicha discapacidad.

Este estudio subraya la importancia de seguir investigando y desarrollando otras soluciones que mejoren la comunicación, accesibilidad y calidad de vida de personas con discapacidad auditiva en América Latina y el resto del mundo.

Agradecimientos

A la Universidad Politécnica Salesiana en especial al grupo de investigación TICAD de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Guayaquil, por permitirnos participar en la línea de investigación Tecnologías para la inclusión. Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto de investigación “INCLED”.

Referencias bibliográficas

- Alain, L. y Vejarano, R. (2016). Alternativas tecnológicas para mejorar la comunicación de personas con discapacidad auditiva en la educación superior panameña. *Revista de educación de la Universidad de Granada*, 23, 219-235. <https://bit.ly/3LtNMwJ>
- Aliaga Olivares, A. M. (2019). *Diseño de un sistema de reconocimiento de gestos de la mano basado en visión artificial para estudiantes escolares con discapacidad auditiva en Lima Metropolitana*. <https://bit.ly/4d4zs9D>
- Andrade Guaraca, E. V. (2022). *Diseño e implementación de un sistema traductor de lengua de señas mediante inteligencia artificial para personas con discapacidad auditiva*. <https://bit.ly/3SfSstT>
- Beck, D. L. y LeGoff, N. (2017). Speech-in-noise test results for Oticon Opn. *The Hearing Review*. <https://bit.ly/4cXPTES>
- Botina-Monsalve, D. J., Domínguez-Vásquez, M. A., Madrigal-González, C. A. y Castro-Ospina, A. E. (2018). Clasificación automática de las

- vocales en el lenguaje de señas colombiano. *TecnoLógicas*, 21(41), 103-114. <https://bit.ly/4bJO2m4>
- Castro Estévez, L. A. y Cruz García, K. K. (2014, junio). *Herramienta de apoyo para la interpretación de lenguaje de señas mexicano (HILSEM)*.
- Cuecuecha-Hernández, E., Martínez-Orozco, J. J., Méndez-Lozada, D., Zambrano-Saucedo, A., Barreto-Flores, A., Bautista-López, V. E. y Ayala-Raggi, S. E. (2018). Sistema de Reconocimiento de Vocales de la Lengua de Señas Mexicana. *Pistas Educativas*, 39(128). <https://bit.ly/3LstEv5>
- Cuevas, E., Avalos, O., Díaz, P., Maldivia, A. y Pérez, M. (2021). *Introducción de Machine Learning con MatLab*. <https://amzn.to/3zOd5XN>
- Dacus, M. y Rawool, V. (2020). *Audibility, cost-acceptibility and cosmetic appearance of IQBuds BOOST in adults over the age of 50*. University of Mississippi.
- Del Carmen Albineda Ávila, J. (2004). *Diseño y construcción de un auxiliar auditivo*.
- Flores Campana, J. L. (2017). *Clasificación y reconocimiento de gestos estáticos de la mano basado en el alfabeto dactilológico de la lengua de señas del Perú aplicando redes profundas bajo características invariantes*. <https://bit.ly/4eBynaJ>
- Franco, E. F. y Ramos, R. J. (s/f). Aprendizaje de Máquina y Aprendizaje Profundo en Biotecnología: aplicaciones, impactos y desafíos. <https://doi.org/10.22206/cac.2019.v2i2.pp7-26>
- García-Ordaz, M. I. (2023). Uso del transistor en la historia. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*, 3, 10(19), 17-19. <https://bit.ly/4fcHOhB>
- Gorman, M. E. y Carlson, W. B. (1990). Interpreting invention as a cognitive process: The case of Alexander Graham Bell, Thomas Edison, and the telephone. *Science, Technology & Human Values*, 15(2), 131-164. <https://doi.org/10.1177/016224399001500201>
- Manrique, M. M. A., Sánchez, J. F. M. y Osorio, S. S. (2014). *El lenguaje y la construcción de fenomenologías: el caso del efecto Volta*. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i2.215>
- Mueller, G. H. (2000). The best of '99: Hearing aids. *The hearing journal*, 53(5), 81. <https://bit.ly/4cO6g76>
- Muñoz García, I. G. (2017). *Implementación de un sistema de captura de gestos usando un leap motion y redes neuronales para su clasificación*. <https://bit.ly/4f5jkqh>

- Naranjo Sánchez, B. A. y Peña, J. C. A. (2023). Herramientas de Aprendizaje Inclusivo: Apoyo En la Clase Virtual de Personas con Discapacidad Auditiva. En *Estudiantes universitarios por la inclusión* (pp. 107-147). Ediciones Abya-Yala. <https://bit.ly/45PtDKa>
- Naranjo Sánchez, B. A. (2017). Elementos básicos para la inclusión educativa de estudiantes con discapacidad. *Revista Boletín Redipe*, 6(9), 132-141. <https://bit.ly/43JD5N8>
- Naranjo, B. A. (2022). *Buenas prácticas de inclusión educativa universitaria*. UPS: Proyecto INCLED. <https://bit.ly/4gS8CEJ>
- Pascoe, D. (1999). *Las audioprótesis electrónicos*. <https://bit.ly/3Wu1UME>
- Rahme, M., Folkeard, P. y Scollie, S. (2021). Evaluating the accuracy of step tracking and fall detection in the Starkey Livio Artificial Intelligence hearing aids: A pilot study. *American Journal of Audiology*, 30(1), 182-189. https://doi.org/10.1044/2020_AJA-20-00105
- Ramírez, D. H. (2018). *El Machine Learning a través de los tiempos, y los aportes a la humanidad*. <https://bit.ly/4daeerd>
- Ramsden, R., Greenham, P., O'Driscoll, M., Mawman, D., Proops, D., Craddock, L., Fielden, C., Graham, J., Meerton, L., Verschuur, C., Toner, J., McAnallen, C., Osborne, J., Doran, M., Gray, R. y Pickerill, M. (2005). Evaluation of bilaterally implanted adult subjects with the nucleus 24 cochlear implant system. *Otology & Neurotology*, 26(5), 988-998. <https://doi.org/10.1097/01.mao.0000185075.58199.22>
- Rodríguez Montoya, C. J. (2019). *Elaboración y caracterización de materiales ferroeléctricos poliméricos y cerámicos para implementación protésica en oído*. <https://bit.ly/4bNuqxl>
- Snik, A. F. M., Bosman, A. J., Mylanus, E. A. M. y Cremers, C. W. R. J. (2004). Candidacy for the bone-anchored hearing aid. *Audiology & Neuro-Otology*, 9(4), 190-196. <https://doi.org/10.1159/000078388>
- Suaza Medina, O. y Calderón Anaya, F. E. (2014). *Diseño e implementación de un Sistema de Audiometría capaz de monitorear la actividad neuronal relacionada con la audición del paciente*. Universidad Surcolombiana.