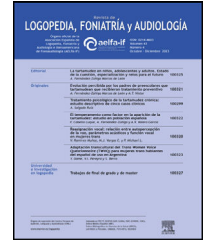




Revista de
LOGOPEDIA, FONIATRÍA y AUDIOLOGÍA

www.elsevier.es/logopedia



ORIGINAL

Uso de *feedback* visual con ecografía en la intervención de las dificultades de articulación en niños con discapacidad auditiva. Una valoración por jueces expertos: logopedas



Judit Ayala Alcalde*, Martín Martínez y Mark Gibson

Universidad de Navarra, Campus Universitario de Pamplona, Pamplona, Navarra, España

Recibido el 27 de febrero de 2024; aceptado el 16 de mayo de 2024

Disponible en Internet el 14 de junio de 2024

PALABRAS CLAVE

Trastornos de los sonidos del habla;
Discapacidad auditiva;
Ecografía;
percepción auditiva;
Feedback visual

Resumen

Objetivo: El presente estudio pretende evaluar la eficacia del *biofeedback* visual mediante ecografía en la intervención de las dificultades articulatorias en los niños con discapacidad auditiva, utilizando el juicio de expertos a través de una prueba de percepción auditiva. Representa la primera investigación de este tipo realizada con población hispanohablante.

Método: Se ha llevado a cabo un programa de intervención logopédica con siete niños con implantes cocleares y/o audífonos. Logopedas externos evaluaron los resultados a través de una prueba de percepción auditiva que reproduce los estímulos acústicos derivados de la evaluación inicial (pre-test) y final (post-test). Estos estímulos se presentan en parejas con la ayuda de un *script* realizado en MATLAB®, de dos formas distintas: pre-post y post-pre.

Resultados: Los resultados de los modelos generalizados de efectos mixtos indican que, a nivel grupal, los logopedas perciben mejoras sobre todo en los fonemas /n/ y /r/ y, en algunos niños, en los fonemas /x/, /g/, /l/, /r/, /tj/ y /l/. La posición del fonema dentro de la palabra no tiene efecto significativo a nivel grupal, pero sí en dos participantes. El número de sílabas de los estímulos tiene un efecto significativo a nivel grupal para todos los niveles.

Conclusiones: Estos resultados están en línea con investigaciones previas que demuestran la eficacia del uso de *biofeedback* visual para corregir errores de articulación en la intervención logopédica.

© 2024 El Autor(s). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jayalaa@unav.es (J. Ayala Alcalde).

KEYWORDS

Speech sound disorders;
Hearing disability;
Ultrasound;
Auditory perception;
Visual feedback

Use of visual feedback through ultrasound in the intervention of articulation difficulties in children with hearing impairment. An assessment by expert judges: Speech therapists

Abstract

Objective: This study aims to measure the effectiveness of visual biofeedback using ultrasound in addressing articulatory difficulties in children with hearing disabilities, using the judgment of experts through an auditory perception test. It is the first research of this type carried out with a Spanish-speaking population.

Method: A speech therapy intervention program was conducted with seven children with cochlear implants and/or hearing aids. External speech therapists evaluated the results through an auditory perception test that reproduces the acoustic stimuli derived from the initial (pre-test) and final (post-test) evaluations. These stimuli are presented in pairs with the assistance of a script created in MATLAB®, in two different ways: pre-post and post-pre.

Results: Results from generalized mixed-effects models indicate that, at a group level, speech therapists perceive improvements mainly in the phonemes /n/ and /r/, and in some children, in the phonemes /x/, /g/, /ʎ/, /r/, /tʃ/, and /l/. The position of the phoneme within the word does not have a significant effect at the group level but does in two participants. The number of syllables in the stimuli has a significant effect at the group level for all levels.

Conclusions: These results align with previous research demonstrating the efficacy of visual biofeedback in correcting articulation errors in speech therapy intervention.

© 2024 The Author(s). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El uso de ecografía en la evaluación e intervención de los trastornos de los sonidos del habla (en adelante, TSH) es cada vez más frecuente, aunque la mayoría de las investigaciones realizadas se han desarrollado en EE. UU. (48,3%), Canadá (41,4%), Escocia (6,9%) y Australia (3,4%) (Sugden et al., 2019). Este trabajo es el primero que se realiza con población hispanohablante.

Las intervenciones tradicionales que los logopedas llevan a cabo con niños con TSH se centran en muchos casos en la descripción de los movimientos articulatorios (Preston y Leece, 2021; Van Riper y Emerick, 1984). Normalmente el logopeda indica verbalmente al niño cómo y dónde posicionar los diferentes articuladores (Secord et al., 2007). Sin embargo, hay determinados sonidos del habla, más complejos, que no son fácilmente perceptibles a nivel visual. Para dar respuesta a esta dificultad, desde los años ochenta se están explorando diferentes técnicas de *feedback* visual como la electropalatografía (EPG) y la ecografía (Cleland y Preston, 2021; Hitchcock et al., 2023).

El *biofeedback* visual mediante ecografía es una técnica de *feedback* visual que utiliza un ecógrafo médico para obtener imágenes de la lengua en tiempo real, lo que permite a los niños visualizar su lengua y corregir movimientos articulatorios erróneos a la vez que reciben el *feedback* acústico de sus producciones (Cleland et al., 2019). La ecografía convierte las ondas sonoras de alta frecuencia en imágenes. Al colocar la sonda debajo del mentón se puede observar la forma y el movimiento de la lengua durante el habla. Dependiendo de la orientación del transductor se pueden obtener imágenes desde una vista sagital o coronal (fig. 1). En la vista sagital se puede visualizar la lengua de adelante hacia

atrás, así como los movimientos del ápice lingual, del dorso y de la raíz. La vista coronal permite visualizar la lengua de lado a lado y el surco de la lengua durante la producción de sibilantes. Cleland et al. (2018) recomiendan trabajar aquellos sonidos que se puedan ver en la vista ecográfica sagital ya que es en este plano donde se puede visualizar la mayor parte de la superficie lingual (fig. 2).

La ecografía se ha empleado sobre todo con personas con errores residuales del habla (McAllister et al., 2020; Preston et al., 2014; Preston y Leece, 2017), apraxia del habla infantil (Preston et al., 2013; Preston et al., 2016a; Preston et al., 2016b), discapacidad auditiva (Bacsfalvi et al., 2007; Bacsfalvi, 2010; Bernhardt et al., 2003; Gibson y Lee, 2021) y fisura labiopalatina (Cleland, 2023; Roxburgh et al., 2016). Algunos estudios como los de Bernhardt et al. (2003), Modha et al. (2008) y Preston et al. (2016a) indican que el uso de ecografía puede facilitar la adquisición de nuevos sonidos en niños con errores persistentes, aunque la generalización es limitada (McAllister et al., 2014; Preston et al., 2016b; Sjolie et al., 2016).

Todas las investigaciones realizadas hasta la fecha se han realizado con población de habla inglesa, con una muestra muy pequeña (Sugden et al., 2019) y excepto en algunos casos (Bacsfalvi et al., 2007; Bacsfalvi, 2010; Bacsfalvi y Bernhardt, 2011; Bernhardt et al., 2005; Gibson y Lee, 2021), con población normoyente. Es por ello por lo que creemos que es fundamental continuar esta línea de investigación, con población hispanohablante, con una muestra más amplia y con un grupo menos representado en las investigaciones.

El objetivo general de esta investigación es evaluar la eficacia del *biofeedback* visual a través de ecografía en el tratamiento de las dificultades de articulación en niños his-

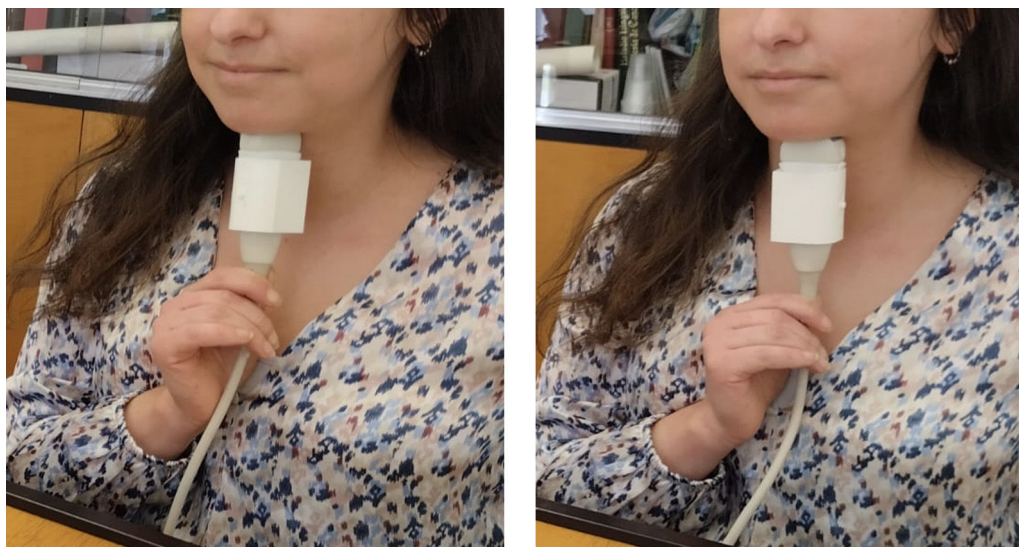


Figura 1 Colocación del ecógrafo para obtener una vista sagital (izquierda) o coronal (derecha).

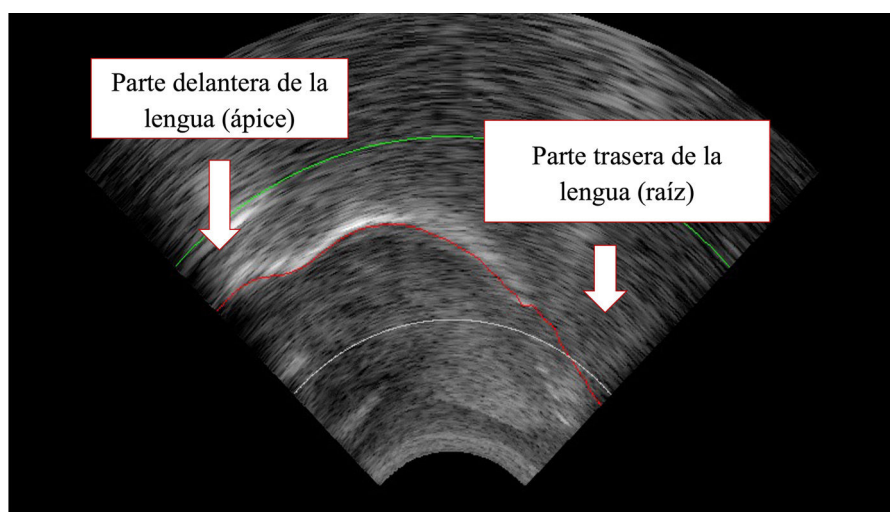


Figura 2 Vista sagital de la lengua durante la producción de la vocal /a/.

panohablantes con discapacidad auditiva. Para ello, hemos llevado a cabo un programa de intervención logopédica con siete niños con implantes cocleares y/o audífonos. Para poder valorar la evolución de los participantes de forma más objetiva y no solo atendiendo a nuestra propia percepción, creamos una prueba de percepción auditiva (*goodness judgment*) para que logopedas externos a la investigación valoraran si, tras la intervención, percibían mejoría o no.

Hipótesis

Dadas las características de este estudio, ha sido necesario diferenciar dos grupos de hipótesis: por un lado, hipótesis referidas al programa de intervención logopédica y, por otro lado, hipótesis referidas a la evaluación del programa por parte de logopedas externos.

Hipótesis del programa de intervención logopédica

Las hipótesis planteadas para el programa de intervención logopédica, teniendo en cuenta el objetivo general de este trabajo, son las siguientes:

- H1: basado en estudios como los de [Bacsfalvi et al. \(2007\)](#), [Bacsfalvi \(2010\)](#) y [Gibson y Lee \(2021\)](#), los niños con dificultades de articulación cuya causa es la pérdida auditiva conseguirán adquirir nuevos sonidos que no habían logrado adquirir con la terapia tradicional de logopedia.
- H2: la intervención será más efectiva para las róticas, algunas fricativas como la /s/ y la /θ/ y las velares. Esto se debe a que estos sonidos se producen con la lengua, que es la parte que nos permite ver el ecógrafo ([Cleland et al., 2019](#); [Sugden et al., 2019](#)).
- H3: en línea con algunos estudios como los de [McAllister et al. \(2014\)](#), [Preston et al. \(2016b\)](#) y [Sjolie et al. \(2016\)](#), los niveles de generalización no serán significativos.

Tabla 1 Características de los participantes

Participantes	Edad (años; meses)	Tipo de pérdida	Prótesis	N.º de sesiones	Observaciones
1 F	6; 11	Neurosensorial bilateral profunda	2 IC	10	Dificultades de atención durante las sesiones. Refiere que se cansa.
2 F	10; 7	Neurosensorial bilateral profunda	2 IC	13	
3 F	10; 4	Neurosensorial bilateral profunda	2 IC	11	Monolingüe en euskera. Logopeda de la asociación como intérprete.
4 F	12; 2	Profunda (OI) y severa (OD)	IC + Aud	8	
5 M	13; 2	Bilateral moderada	2 Aud	13	Discapacidad auditiva y fisura labio palatina.
6 F	14; 11	Neurosensorial bilateral profunda	IC + Osteointegrado ²		
7 M	14; 13	Bilateral moderada	2 Aud	9	

Aud: audífono; F: femenino; IC: implante coclear; M: masculino.

- H4: los niños más pequeños tendrán más dificultades para entender la imagen ecográfica y necesitarán más sesiones que los niños de mayor edad (Cleland et al., 2018).

Hipótesis de la evaluación del programa de intervención

Como hemos utilizado un corpus de palabras reales (frente a pseudopalabras) existen variables específicas que pueden influir en la respuesta del evaluador. En base a estas variables, hemos formulado las hipótesis de la evaluación del programa de intervención:

- H1: debido a que la carga cognitiva incrementa en relación con la cantidad de fonemas que el evaluador tiene que procesar, las palabras con menor número de sílabas se percibirán mejor y, por lo tanto, los logopedas indicarán una mejoría en aquellas palabras con menos sílabas.
- H2: en línea con Beckman (1998), los fonemas en posición de inicio de palabra e inicio de sílaba se percibirán mejor que a final de palabra o final de sílaba.
- H3: basado en Stevens y Keyser (1989), los logopedas percibirán cambio en los fonemas sonantes (nasales y líquidas), continuados (fricativas) y corales (oclusivas alveolares, fricativas alveolares) siendo estos los más perceptibles.

Método

Esta investigación cuenta con la aprobación del Comité de Ética de la Investigación de la Universidad de Navarra (2021.182) y con los consentimientos informados de los participantes con los que se llevó a cabo la intervención descrita a continuación.

Esta sección está dividida en cuatro apartados: participantes, materiales, procedimientos y análisis estadístico. Los tres primeros se subdividen a su vez en dos: el primero referido al programa de intervención logopédica, y el segundo a la evaluación del programa por parte de los logopedas.

Participantes

Participantes del programa de intervención logopédica

La intervención se desarrolló en colaboración con Eunete, la asociación de familias de personas sordas de Navarra. El estudio, que duró seis meses, se llevó a cabo con siete participantes que cumplían con los requisitos establecidos: tener entre cuatro y catorce años, tener discapacidad auditiva, presentar dificultades de articulación y no tener discapacidad intelectual ni ningún trastorno del neurodesarrollo. En la tabla 1 quedan recogidas las características de los participantes.

Participantes de la evaluación del programa de intervención

La prueba de percepción fue realizada por 10 logopedas (9 mujeres / 1 varón) colegiados en el Colegio Oficial de Logopedas de Navarra, con quien contactamos para buscar participantes. Ninguno de ellos trabajaba en la asociación donde recibían terapia los niños con discapacidad auditiva. No se les informó del objetivo de la investigación, solo se les pidió que realizaran la prueba de percepción. Las edades de los logopedas oscilan entre los 23 y los 55 años. Cada uno cuenta con una formación y un recorrido profesional diferente, con años de experiencia que oscilan entre un año de experiencia y veinte. Ninguno ha reportado problemas auditivos.

Materiales

Materiales del programa de intervención logopédica

Durante el proceso de intervención logopédica se utilizó el ecógrafo, un *software* específico y un micrófono externo, todo ello conectado a un ordenador portátil. El ecógrafo utiliza un transductor de ultrasonido convexo (MC4) que se coloca debajo de la barbilla para poder registrar la superficie de la lengua (fig. 3) y se mantiene sujeto en el lugar correcto

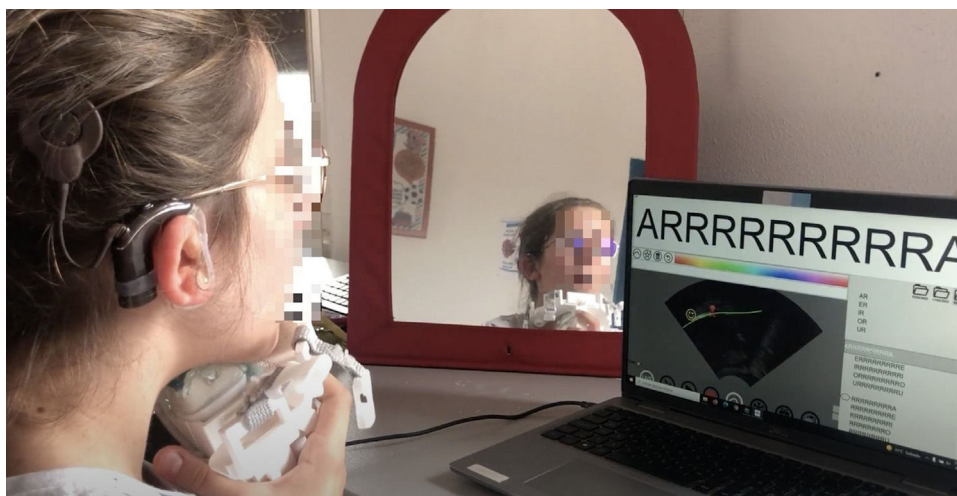


Figura 3 Participante con el ecógrafo.

gracias a un casco ligero hecho en 3D, diseñado por Weirong Chen de los Laboratorios Haskins en New Haven (EE. UU.). Este casco solo se utilizó en momentos puntuales, como en las evaluaciones.

El *software* utilizado es SonoSpeech® cuyas funcionalidades nos permiten llevar a cabo una intervención pedagógica. Ofrece una imagen ecográfica de calidad, en la que se puede escribir, dibujar y señalar en la propia imagen con líneas y emoticonos. Además, se pueden grabar las producciones de los participantes, hacer capturas de pantalla e incluir vídeos que sirvan de modelo, junto a corpus propios, escritos e imágenes, y trazar y guardar el paladar que servirá como punto de referencia para la intervención (fig. 4).

Materiales utilizados en la evaluación del programa de intervención

Los estímulos utilizados en las pruebas de percepción forman parte de las grabaciones derivadas de las evaluaciones inicial (pre-test) y final (post-test) que se realizaron a los niños. De entre estas, se han escogido solo aquellas palabras que incluyen los sonidos objeto de intervención, las cuales fueron segmentadas en Praat (Boersma y Weenink, 2022) para aislarlas del resto de palabras. Como las evaluaciones se llevaron a cabo en momentos diferentes, el volumen de los estímulos acústicos de la evaluación inicial y final eran distintos, así que mediante MATLAB® 2023a (The MathWorks Inc, 2023) normalizamos el volumen de todos los estímulos a -1 dB.

La prueba de percepción se realizó mediante una aplicación con interfaz gráfica programada en MATLAB® diseñada para que los estímulos aparezcan en parejas, de dos maneras diferentes: pre-post (condición 1) y post-pre (condición 2). En la condición 1 es donde se espera que haya una mejora en la producción de los niños como consecuencia del proceso de intervención. Los estímulos aparecerán aleatoriamente por cada participante, por lo que es necesario indicar previamente qué participante va a ser evaluado.

La prueba consta de 254 estímulos, que reproducidos dos veces (por cada condición) suman 508 estímulos. Es necesario responder después de cada reproducción porque si no la prueba no continúa. Después de reproducir los estímu-

los para un participante, se pasa al siguiente, repitiendo este proceso hasta completar los siete niños. Algunos datos, por su condición de *outliers*, han sido desestimados para el análisis.

Procedimiento

Programa de intervención logopédica

Antes de comenzar la intervención con los niños con discapacidad auditiva, se llevó a cabo la evaluación inicial (pre-test) y seis meses después, la evaluación final (post-test). Las tareas realizadas durante la evaluación fueron:

- Repetición de sílabas directas, indirectas, trabadas y grupos consonánticos.
- Denominación de imágenes (Registro Fonológico Inducido).
- Descripción de imágenes (Evaluación fonológica del habla infantil, Laura Bosch).
- En algunos casos se administró exclusivamente un protocolo de exploración de los fonemas /r/ y /r/.
- Muestra de habla espontánea.

Todos los datos recogidos durante la evaluación inicial fueron analizados junto con las logopedas de la asociación. Posteriormente, y en base a unos criterios establecidos conjuntamente, se decidieron los objetivos de intervención (tabla 2).

El proceso de intervención duró cinco meses, pero, como refleja la tabla 1, cada participante acudió a un número de sesiones diferente (8-13), según su disponibilidad. Estas sesiones fueron semanales y la duración fue de entre veinte y treinta minutos, aproximadamente; el participante 1, de menor edad, tuvo más dificultades para mantener la atención durante el tiempo estimado. Las sesiones estaban basadas en los principios del aprendizaje motor (Maas et al., 2008). El objetivo de la primera sesión fue acercar el ecógrafo a todos los participantes y enseñarles a utilizarlo. Aprendieron a localizar e identificar, en la imagen ecográfica que aparece en la pantalla del ordenador, la lengua y sus partes (ápice, dorso y raíz), así como el paladar.

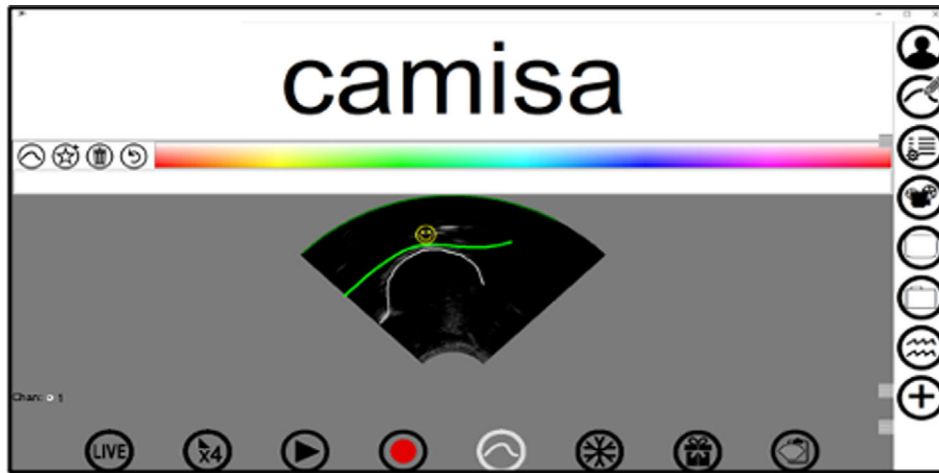


Figura 4 Trazo del paladar en verde y de la lengua en blanco.

Tabla 2 Evaluación y objetivos

Participantes	Evaluación inicial	Objetivos de intervención
Participante 1	Omisión de /l/, /n/, /s/, /θ/ en sílabas inversas.	Automatizar /l/, /n/ y /θ/ en coda a final de palabra. Automatizar /s/ en sílaba inversa.
Participante 2	Distorsión de /r/ en sílabas directas, inversas y trabadas. Omisión de /r/.	Automatizar y generalizar /r/.
Participante 3	Distorsión de /l/. Omisión de /k/. Omisión de /g/. Distorsión de /r/.	Adquirir /r/. Adquirir correctamente y automatizar /l/. Automatizar /k/. Automatizar /g/.
Participante 4	Omisión /r/ en sílabas trabadas. Omisión de /s/ en sílabas inversas.	Adquirir correctamente y automatizar /r/. Automatizar /r/ en sílabas trabadas. Automatizar /s/ en coda final de sílaba y final de palabra.
Participante 5	Omisión de /k/, /g/ y /x/ (inconsistente).	Automatizar /k/, /g/ y /x/.
Participante 6	Omisión /r/ en sílabas trabadas. Distorsión u omisión de /r/. Distorsión /s/, /tʃ/ y /θ/.	Automatizar /r/. Adquirir correctamente y automatizar /s/, /tʃ/ y /θ/.
Participante 7	Distorsión /r/.	Adquirir correctamente y automatizar /r/ y /r/.

A partir de ahí, en las sucesivas sesiones, cada participante trabajó sus propios objetivos (tabla 2), pero todos siguieron una misma estructura. En el caso de la adquisición de nuevos sonidos, en primer lugar, se les enseñó a colocar la lengua en el punto de articulación correcto. Para ello, se les indicó verbalmente dónde tenían que colocar el ápice lingual y cómo posicionar el resto de la lengua. Con el objetivo de ayudarles, en la pantalla del ordenador y con el ecógrafo colocado, se les señalaba, mediante flechas o símbolos, la ubicación correcta para colocar la lengua, todo en tiempo real, observando su movimiento y posición. Se considera que han conseguido adquirir un nuevo sonido cuando son capaces de realizarlo de forma aislada y en sílabas. Esta parte se corresponde con la prepráctica. Una vez adquirido el sonido correspondiente o en el caso de que el objetivo sea automatizar, se comienza con la parte práctica. En esta parte se

trabaja con palabras completas, frases y en habla espontánea. Todas las sesiones de intervención comienzan con unos minutos de prepráctica, donde los niños trabajan los sonidos objetivo.

Evaluación del programa de intervención mediante la prueba de percepción

Las pruebas se realizaron en la Universidad de Navarra, en una sala insonorizada, libre de distracciones, con un portátil y un ratón. Antes de comenzar, se proporcionó a los logopedas una explicación sobre el funcionamiento de la prueba. Además, se les permitió realizar dos intentos de prueba para familiarizarse con el experimento y adecuar el volumen según sus preferencias. En total los logopedas completaron siete pruebas, uno por cada niño que se evalúa. Para que el programa ejecute los estímulos específicos

Tabla 3 Resumen de las variables empleadas, niveles de codificación y descripción

	Niveles	Descripción
<i>Variable dependiente</i>		
Accuracy ^a	0, 1	0 = no hay mejora 1 = sí hay mejora
<i>Variables independientes</i>		
Condición	1, 2	Condición 1 = pre-post Condición 2 = post-pre
N.º de sílabas	1, 2, 3, 4 y 5	Cantidad de sílabas
Posición	Acmp, acppo, coda_sil, fs_fp, is, is_ip	Acmp: ataque complejo en mitad de palabra. Acppo: ataque complejo al principio. Coda sil: coda final de sílaba. Fs_fp: final de sílaba y final de palabra. Is: inicio de sílaba. Is_ip: inicio de sílaba e inicio de palabra. Otros: si hay dos fonemas objetivo en la misma palabra.
Fonemas	/d/, /g/, /k/, /tʃ/, /s/, /θ/, /x/, /n/, /l/, /r/ y /r/.	Fonemas incluidos en las palabras de la prueba.
<i>Efectos aleatorios</i>		
Logopedas		Jueces expertos que han realizado la prueba.

^a En el código de RStudio, empleamos la palabra «accuracy». La codificamos como «mejora» o «no mejora», utilizando 1 o 0, donde 1 representa que se observó una mejora y 0 indica que no se percibió ninguna mejora.

de cada niño, es necesario indicar el código asignado a cada niño en el script de MATLAB®. Los logopedas pudieron descansar entre cada prueba el tiempo que necesitaron. Una vez que comienza la prueba, el logopeda tiene que escuchar cada par de palabras y responder «sí» o «no» con el ratón a la pregunta «¿mejora la segunda reproducción frente a la primera?». Las respuestas se exportaron después a hojas de Excel® para su análisis.

Análisis estadístico

Los efectos de *condición*, *número de sílabas*, *posición silábica* y *fonema* (pre-post/post-pre) sobre la precisión de la respuesta se probaron utilizando modelos mixtos lineales generalizados (en adelante, GLMM) con el paquete «lme4» (Bates et al., 2015) en Rstudio (R Core Team, 2022). Se empleó esta clase de modelo estadístico por el carácter binario de la variable de respuesta (mejora o no mejora). Codificamos «logopeda» como efecto aleatorizado dadas las diferencias de atención, formación y experiencia profesional de los mismos. La variable dependiente junto con las variables independientes, niveles y una descripción se resume en la [tabla 3](#).

Para evaluar la capacidad de los modelos a la hora de explicar la estructura de los datos, creamos un modelo completo con todas las variables y determinamos su capacidad; después se creó un modelo reducido eliminando uno de los términos, para así, finalmente, comparar el modelo reducido con el modelo completo mediante pruebas de índice de verosimilitud. También repetimos este método utilizando las siguientes combinaciones de interacciones: *condición***número de sílabas*, *condición***posición* y *condición***fonema*. Los resultados de estas pruebas suelen arrojar valores del criterio de información de Akaike (AIC) y del cri-

terio de información bayesiano (BIC) que utilizamos para determinar la adecuación del modelo y ordenar los términos de nuestro modelo. Cuando se utilizan AIC y BIC como determinantes de la capacidad del modelo, los valores más bajos son indicadores de una mejor capacidad. Dada la naturaleza anidada de los modelos multivariados, generalmente el modelo completo con todos los efectos es el mejor modelo de capacidad para los datos (Finch et al., 2014) aunque en ciertos casos un modelo más sencillo es preferible por la facilidad de interpretación y generalización. En todas las inferencias estadísticas se empleó un nivel de significación del 5% ($p < 0,05$).

Resultados

Resultados grupales

A continuación, se describen los resultados principales de los efectos que tienen *condición*, *número de sílabas*, *posición* y *fonema* sobre la percepción de mejoría entre pre y post (ver [tabla 1A](#), en el [Apéndice A](#)).

Condición ha tenido la mayor significación estadísticas para todos los logopedas ($p < 0,001$), *posición* no ha tenido ningún efecto significativo independientemente y *fonema* ha tenido efectos significativos para los fonemas /n/ ($p < 0,05$) y /r/ ($p < 0,01$). Sin embargo, el nivel de significación fluctúa entre las variables. *Condición* demuestra el efecto significativo más fuerte ($p < 0,001$) mientras que la significación del efecto en cuanto al *número de sílabas* fluctúa entre $p < 0,01$ y $p < 0,05$.

A nivel grupal, hemos analizado también las interacciones entre la variable *condición* y las demás variables, y hemos observado un efecto significativo en todas las combinaciones de estas interacciones (ver [tabla 2A](#)).

En cuanto al análisis descriptivo de los resultados principales, la variable *fonema* sí tuvo valores significativos para algunos fonemas. Para la condición 1 (pre-post), los logopedas han percibido una mejora en un 80% para los fonemas /tʃ/, /x/, /k/, /ʃ/ y en más de un 70% para los fonemas /g/, /l/, /n/, /r/ y /s/. Sin embargo, los logopedas indican una mejora de entre el 40 y el 50% para la condición 2 (post-pre), para los fonemas /g/, /k/, /l/, /ʃ/ o /s/.

En cuanto a la variable *condición*, un 78% de los logopedas han señalado como positiva la condición 1 frente a un 41% que han contestado la condición 2. Además, perciben mejoras (para la condición 1) en un 80% de las palabras que llevan dos sílabas y una sílaba frente a un 60% de palabras que tienen 5 sílabas. En cuanto a la *posición* del fonema objetivo, los logopedas perciben mejoría sobre todo cuando se encuentran en posición de ataque complejo en mitad de palabra y en ataque complejo al principio (86 y 80%, respectivamente).

Resultados individuales

En esta parte presentamos los resultados individuales para la variable *accuracy* y las variables independientes *condición*, *número de sílabas*, *posición* y *fonema*. Dada la naturaleza extensa de los diversos niveles, en esta sección únicamente se presentan los datos de los distintos modelos GLMM, omitiendo los resultados del resumen (lo cual requeriría una extensión considerable).

Al igual que en los resultados grupales, *condición* tiene un efecto significativo para todos los participantes, *número de sílabas* tiene efecto para el participante 4 y 6, *posición* para el participante 4 y 7 y *fonema* tiene efecto significativo para el participante 3, 4, 5 y 7 (ver [tablas 3A y 4A](#)).

En cuanto a las interacciones de las variables, todas, menos *condición* con *fonema* para los participantes 1 y 2 han tenido un efecto significativo (ver [tabla 5A](#)). Los valores del AIC y BIC para todas las interacciones y todos los participantes, excepto la de *condición* con *fonema* para los participantes 1 y 2, son menores para el modelo completo comparado con el modelo reducido.

El análisis descriptivo de los resultados principales se ha llevado a cabo para aquellos participantes que, según los resultados principales, mostraron valores significativos para algunas de las variables. Por lo tanto, el análisis descriptivo de cada participante es diferente ya que solo se han analizado aquellas variables que han tenido un efecto significativo. Dentro de este análisis, empleamos el término «mejora» exclusivamente al hacer referencia a la condición 1. Esto se debe a que es la única condición en la que se puede observar una mejora real al presentarse inicialmente los estímulos -pre y posteriormente los -post.

Para el participante 3, los logopedas perciben una mejora del 100% en aquellas palabras que contienen en la misma palabra los fonemas /g/ - /l/ y /g/ - /ʃ/ y de un 71% para la /ʃ/ (ver [tabla 1B](#), en el [Apéndice B](#)). Para el participante 4, los logopedas perciben mejoras en el 100% de palabras monosílabas y un 80% en palabras bisílabas (ver [tabla 2B](#)). También indicaron mejoras de un 87% y 80% respectivamente en las palabras que tienen el fonema objetivo en posición de ataque complejo en mitad de palabra y en ataque complejo de principio de palabra (ver [tabla 3B](#)). Por otro lado,

perciben mejora en el 83% de las palabras con /ʃ/ y en el 95% de las palabras que contienen /s/ y /ʃ/ (ver [tabla 4B](#)). Para el participante 5, los fonemas en los que los logopedas han percibido una mejora son /x/ (88%), /g/ (83%), /tʃ/ (75%), /ʃ/ (69%) y /r/ (69%) (ver [tabla 5B](#)). Para el participante 6, el 90% de las palabras en las que los logopedas percibieron mejoras eran monosílabas, un 83% bisílabas y un 79% trisílabas (ver [tabla 6B](#)).

Para el participante 7, los logopedas indicaron que percibían mejora en el 78% de las palabras con /ʃ/ y en el 58% de las palabras con /r/ (ver [tabla 7B](#)). La posición en la que estas palabras tenían los fonemas objetivo era en ataque complejo en mitad de palabra (94%), en ataque complejo al principio de palabra (79%), en final de sílaba al final de palabra (88%) y en un 83% en inicio de sílaba (ver [tabla 8B](#)).

Discusión y conclusiones

El conjunto de los resultados tanto grupales como individuales indican que todas las variables (*condición*, *número de sílabas*, *posición* y *fonema*) han tenido un efecto significativo en la variable de respuesta *accuracy*, especialmente *condición* ha tenido un efecto en todos los participantes, seguida de *fonema* que ha tenido un efecto significativo en cuatro de los participantes, *posición* y *número de sílabas* que han tenido un efecto significativo en dos.

El hecho de que *condición* haya tenido un efecto significativo indica que los logopedas señalan un cambio entre las producciones pre-post (condición 1) o post-pre (condición 2), independientemente de si la mejora que perciben es la esperada (condición 1) o solo perciben un cambio, pero lo atribuyen a una mejora (condición 2). Es por ello por lo que los logopedas, en la condición 2, perciben una mejoría del 41% sobre el total de esa condición cuando no es esperable que perciban una mejora cuando se da esta condición. Para poder profundizar un poco más en este aspecto, hemos realizado la misma prueba de percepción a oyentes no expertos, esperando que este porcentaje en la condición 2 sea mayor en el grupo de no expertos frente al de logopedas. Actualmente estamos analizando los resultados y pronto podremos arrojar más luz sobre esto.

En relación con el *número de sílabas* de las palabras evaluadas, a nivel grupal, todos los niveles han tenido un efecto significativo. Sin embargo, a nivel individual solo dos participantes (el 4 y el 6) reportan este efecto, siendo las palabras con una sílaba las más elegidas (100% y 90%, respectivamente) y las palabras con tres sílabas las que menos (67% y 79%). Esto puede deberse a que auditivamente percibimos mejor las palabras más cortas porque tienen menos carga cognitiva y se procesan mejor, lo que corrobora la hipótesis 1 de la evaluación del programa. Por otro lado, esto indica que los niños que han recibido la intervención son capaces de incorporar el sonido trabajado en palabras más cortas y presentan más dificultad para incorporarlo en palabras de más longitud. Esto puede indicarnos que los participantes tienen dificultades en la generalización, aspecto valorado cuando planteamos la intervención, que confirma la hipótesis 3 del programa de intervención.

A nivel grupal, la *posición* del fonema no tiene efecto significativo. Solo tiene efecto en dos participantes. Para el participante 4, las posiciones de las sílabas dentro de la

palabra que los logopedas eligen como mejora son: coda silábica (90%), ataque complejo en mitad de palabra (87%) y ataque complejo al principio de palabra (80%). Para el 7, es ataque complejo en mitad de palabra (94%), final de sílaba en final de palabra (88%) e inicio de sílaba en un 83% de los casos. La hipótesis 2 de la evaluación de los logopedas, según la cual las palabras que los logopedas perciban mejor tendrán los fonemas en posición de inicio de palabra e inicio de sílaba que en final de palabra o final de sílaba (Beckman, 1998), queda parcialmente aceptada. Los casos en los que esta hipótesis no queda corroborada se debe a que la intervención logopédica ha sido efectiva para más posiciones: tanto para el participante 4 como para el 7 quedaría demostrado que ha sido así en las posiciones indicadas anteriormente para cada uno de ellos.

En cuanto a los *fonemas* que han tenido un efecto significativo, a nivel grupal, destacan la /n/ y la /r/ y a nivel individual (para los participantes 3, 4, 5 y 7) la /x/, /g/, /ʃ/, /r/, /tʃ/ y /l/. Por un lado, respecto a las hipótesis del programa de intervención, estos resultados respaldan las hipótesis 1 y 2 ya que nos indican que los participantes han logrado adquirir nuevos sonidos, concretamente consonantes róticas, fricativas y velares. En cuanto a las hipótesis de la evaluación del programa, la hipótesis 3 queda refutada ya que los fonemas en los que más han indicado que hay una mejoría se corresponden con las características de los fonemas que según Stevens y Keyser (1989) se perciben mejor. Los resultados son similares a los obtenidos por Cleland et al. (2015), McAllister et al. (2014), Preston et al. (2014), y Roxburgh et al. (2016).

Al igual que las investigaciones de Bernhardt et al. (2003), Gibson y Lee (2021), Modha et al. (2008) y Preston et al. (2016a), la valoración realizada por los logopedas a través de la prueba de percepción auditiva, nos indica que la intervención con ecografía en niños con discapacidad auditiva y dificultades de habla es efectiva en algunos casos, sobre todo para la adquisición y automatización de algunos fonemas, aunque no tanto para la generalización, aspecto al que ya han hecho referencia en sus estudios McAllister et al. (2014), Preston et al. (2016b) y Sjolie et al. (2016).

Los resultados de este estudio son prometedores ya que están en la línea de otras investigaciones realizadas con población angloparlante (Adler-Bock et al., 2007; Cleland et al., 2019; Cleland y Preston, 2021; Preston et al., 2014, 2016a, 2016b; Roxburgh et al., 2016; Sjolie et al., 2016; Sugden et al., 2019). Sin embargo, la percepción de oyentes (expertos y no expertos) no puede ser la única forma de valorar la eficacia del programa de intervención realizado. Es por ello por lo que actualmente estamos analizando acústicamente los datos derivados de las evaluaciones. De este modo, podremos conocer las características acústicas de las producciones, así como observar y cuantificar cualquier cambio que pueda haberse producido entre la evaluación inicial y final. Por otro lado, y para una investigación futura, sería interesante volver a evaluar el habla de estos niños, para ver los niveles de generalización.

Financiación

El presente trabajo ha sido financiado por la AEI, y cofinanciada por el FSE dentro del Subprograma Estatal de

Formación, del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica e Innovación 2017-2020 [PRE2020-093096].

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este documento.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración a todos los niños de la Asociación Eunate que participaron en este estudio. A las trabajadoras de la asociación, en especial a Cristina Arroyo y a Rebeca Ballesta. También, agradecemos la ayuda de todas las logopedas que realizaron la prueba de percepción. Gracias a Gerardo Aguado por revisar el manuscrito. Por último, gracias a los revisores por su tiempo y generosidad, que sin duda han contribuido a mejorar este trabajo.

Anexo. Material adicional

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en [doi:10.1016/j.rlfa.2024.100494](https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2024.100494).

Bibliografía

- Adler-Bock, M., Bernhardt, B. M., Gick, B. y Bacsfalvi, P. (2007). The Use of Ultrasound in Remediation of North American English /r/ in 2 Adolescents. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 16(2), 128–139. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2007/017\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2007/017))
- Bacsfalvi, P., Bernhardt, B. M. y Gick, B. (2007). Electropalatography and ultrasound in vowel remediation for adolescents with hearing impairment. *Advances in Speech-Language Pathology*, 9(1), 36–45. <https://doi.org/10.1080/14417040601101037>
- Bacsfalvi, P. (2010). Attaining the Lingual Components of /r/ with Ultrasound for Three Adolescents with Cochlear Implants. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 34(3), 206–217.
- Bacsfalvi, P. y Bernhardt, B. M. (2011). Long-term outcomes of speech therapy for seven adolescents with visual feedback technologies: Ultrasound and electropalatography. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 25(11-12), 1034–1043. <https://doi.org/10.3109/02699206.2011.618236>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. y Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Version 1.1.29, Journal of Statistical Software*, 67, 1, 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beckman, J. N. (1998). *Positional faithfulness*. Doctoral dissertation. University of Massachusetts Amherst. <http://roa.rutgers.edu/files/234-1297/234-1297-BECKMAN-6-0.PDF>
- Bernhardt, B., Gick, B., Bacsfalvi, P. y Ashdown, J. (2003). Speech habilitation of hard of hearing adolescents using electropalatography and ultrasound as evaluated by trained listeners. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 17(3), 199–216. <https://doi.org/10.1080/0269920031000071451>
- Bernhardt, B., Gick, B., Bacsfalvi, P. y Adler-Bock, M. (2005). Ultrasound in speech therapy with adolescents and adults. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 19(6-7), 605–617. <https://doi.org/10.1080/02699200500114028>

- Boersma, P. y Weenink, D. (2022). *Praat: doing phonetics by computer (version 6.0.05) [Software]*,. <http://www.praat.org/>
- Cleland, J., Scobbie, J. M. y Wrench, A. A. (2015). Using ultrasound visual biofeedback to treat persistent primary speech sound disorders. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 29(8-10), 575–597. <https://doi.org/10.3109/02699206.2015.1016188>
- Cleland, J., Wrench, A., Lloyd, S. y Sugden, E. (2018). *ULTRAX2020: Ultrasound Technology for Optimising the Treatment of Speech Disorders: Clinicians' Resource Manual*. Glasgow: University of Strathclyde. <https://doi.org/10.15129/63372>
- Cleland, J., Scobbie, J. M., Roxburgh, Z., Heyde, C. y Wrench, A. (2019). Enabling New Articulatory Gestures in Children with Persistent Speech Sound Disorders Using Ultrasound Visual Biofeedback. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(2), 229–246. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0360
- Cleland, J. y Preston, J. L. (2021). *Biofeedback Interventions*. En A. L. Williams, S. McLeod, y R. J. McCauley (Eds.), *Interventions for speech sound disorders in children* (2nd ed, pp. 573–600). Paul H. Brookes Publishing Co.
- Cleland, J. (2023). Ultrasound Tongue Imaging in Research and Practice with People with Cleft Palate± Cleft Lip. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, <https://doi.org/10.1177/10556656231202448>, 10556656231202448-10556656231202448.
- Finch, W. H., Bolin, J. E. y Kelley, K. (2014). *Multilevel modelling using R*. Nueva York: CRC Press.
- Gibson, T. y Lee, S. A. S. (2021). Use of ultrasound visual feedback in speech intervention for children with cochlear implants. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 35(5), 438–457. <https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1792996>
- Hitchcock, E. R., Ochs, L. C., Swartz, M. T., Leece, M. C., Preston, J. L. y McAllister, T. (2023). Tutorial: Using Visual-Acoustic Biofeedback for Speech Sound Training. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 32(1), 18–36. https://doi.org/10.1044/2022_AJSLP-22-00142
- Maas, E., Robin, D. A., Wright, D. L. y Ballard, K. J. (2008). Motor programming in apraxia of speech. *Brain and Language*, 106(2), 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2008.03.004>
- McAllister, T., Hitchcock, E. R. y Swartz, M. (2014). Retroflex versus bunched in treatment for rhotic misarticulation: evidence from ultrasound biofeedback intervention. *Language, and Hearing Research*, 57(6), 2116–2130. https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-S-14-0034
- McAllister, T., Preston, J. L., Hitchcock, E. R. y Hill, J. (2020). Protocol for Correcting Residual Errors with Spectral, Ultrasound Traditional Speech therapy Randomized Controlled Trial (C-RESULTS RCT). *BMC Pediatrics*, 20(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s12887-020-1941-5>
- Modha, G., Bernhardt, B. M., Church, R. y Bacsfalvi, P. (2008). Case study using ultrasound to treat /r/. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 43(3), 323–329. <https://doi.org/10.1080/13682820701449943>
- Preston, J. L., Brick, N. y Landi, N. (2013). Ultrasound biofeedback treatment for persisting childhood apraxia of speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22(4), 627–643. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2013/12-0139\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2013/12-0139))
- Preston, J. L., McCabe, P., Rivera-Campos, A., Whittle, J. L., Landry, E. y Maas, E. (2014). Ultrasound visual feedback treatment and practice variability for residual speech sound errors. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(6), 2102–2115. https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-S-14-0031
- Preston, J.L., Leece, M.C., & Maas, E. (2016a). Intensive Treatment with Ultrasound Visual Feedback for Speech Sound Errors in Childhood Apraxia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 440–440. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00440.
- Preston, J.L., Maas, E., Whittle, J., Leece, M.C., & McCabe, P. (2016b). Limited acquisition and generalisation of rhotics with ultrasound visual feedback in childhood apraxia. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 30(3-5), 363–381. DOI: 10.3109/02699206.2015.1052563.
- Preston, J. L. y Leece, M. C. (2017). Intensive Treatment for Persisting Rhotic Distortions: A Case Series. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 26(4), 1066–1079. https://doi.org/10.1044/2017_AJSLP-16-0232
- Preston, J. L. y Leece, M. L. (2021). *Articulation Interventions*. En A. L. Williams, S. McLeod, y R. J. McCauley (Eds.), *Interventions for speech sound disorders in children* (2nd ed, pp. 419–445). Paul H. Brookes Publishing Co.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Roxburgh, Z., Cleland, J. y Scobbie, J. M. (2016). Multiple phonetically trained-listener comparisons of speech before and after articulatory intervention in two children with repaired sub-mucous cleft palate. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 30(3-5), 398–415. <https://doi.org/10.3109/02699206.2015.1135477>
- Secord, W. A., Boyce, S. E., Donohue, J. S., Fox, R. A. y Shine, R. E. (2007). *Eliciting Sounds: Techniques and Strategies for Clinicians*. Thomson Delmar Learning: Clifton Park, New York.
- Sjolie, G. M., Leece, M. C. y Preston, J. L. (2016). Acquisition, Retention, and Generalization of Rhotics with and without Ultrasound Visual Feedback. *Journal of Communication Disorders*, 64, 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2016.10.003>
- Stevens, K. N. y Keyser, S. J. (1989). Primary Features and Their Enhancement in Consonants. *Language*, 65(1), 81–106. <https://doi.org/10.2307/414843>
- Sugden, E., Lloyd, S., Lam, J. y Cleland, J. (2019). Systematic review of ultrasound visual biofeedback in intervention for speech sound disorders. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 54(5), 705–728. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12478>
- The MathWorks Inc. (2023). MATLAB version: 9.14.0 (R2023a), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>
- Van Riper, C. y Emerick, L. (1984). *An introduction to Speech Pathology and Audiology*.