



Responsabilidad Corporativa y Sostenibilidad  
**Cuaderno Red de  
Cátedras Telefónica**



## Aplicación de las Tecnologías del habla en la Educación de la Voz Infantil Alterada.

Cátedra Telefónica de la Universidad de Zaragoza

Cómo las TIC pueden ayudar a educar la voz de niños con o sin discapacidad.

*Proyecto de alto impacto social.*

William Ricardo Rodríguez Dueñas  
Enero 2012

## Biografía



### William Ricardo Rodríguez Dueñas

Ingeniero Biomédico de la Corporación Universitaria de Ciencia y Desarrollo, Especialista en Bioingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá Colombia, Máster y Ph.D. en Ingeniería Biomédica de la Universidad de Zaragoza en España. Su trabajo se centra en I+D para discapacidad infantil y asistencia en adulto mayor.

## Índice

1. Introducción
2. Fundamentos
  - 2.1 Terapia de Voz
  - 2.2 Fundamentos Técnicos
3. Investigación y Desarrollo
4. Estudio Experimental
5. Resultados e Impacto

## 1. Introducción

Los profesionales de fonoaudiología y educación especial conscientes de la ventaja de trabajar de la mano con la tecnología, experimentan grandes necesidades y limitaciones a la hora de trabajar con población infantil con discapacidad y voz alterada, no solo por las pocas herramientas disponibles y por su alto costo de adquisición, sino porque la mayoría vienen en idiomas diferentes al español y por las limitadas prestaciones de estas para trabajar con sonidos vocálicos. Es así como los terapeutas se ven obligados en la mayoría de los casos a trabajar la voz con herramientas manuales fruto de su iniciativa, herramientas como laminas, fotos, inflar globos, trabajar frente a espejos con los niños y un sin número de otros imaginativos recursos para poder trabajar con los niños sus problemas de voz. De manera que con apoyo de las Tecnologías del Habla (TH), en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón se desarrolló la herramienta gratuita llamada PreLingua, la cual permite apoyar la labor diaria del terapeuta tanto en la terapia misma como en la evaluación de los avances de sus alumnos.

La herramienta trabaja comunicación pre-lingüística y aspectos acústicos de la voz para hacer educación y/o rehabilitación, utilizando TH como un detector de actividad de voz, estimación de energía de la señal de voz, análisis LPC para la estimación de Pitch y Formantes, y una técnica de normalización de formantes por medio de una estimación de la longitud del tracto vocal para reducir la alta variabilidad formántica presente en la voz infantil. La tecnología aquí propuesta se probó en un estudio con casos reales de niños con alteraciones en su voz en España y Colombia y los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios e incluso los terapeutas encontraron mejoras no esperadas en algunos de los pacientes. Hoy día la herramienta se está utilizando en más de 15 países hispanohablantes y cuenta con más de 8000 descargas, y en Internet, ya circulan guías terapéuticas diseñadas por terapeutas y para terapeutas lo que muestra el buen impacto que ha tenido la tecnología propuesta.

## 2. Fundamentos

La voz aparte de ser el principal canal de comunicación entre los humanos es el más eficaz, y, por la misma razón, requiere de una especial atención en la población infantil ya que en general si el infante posee una alteración en su voz, él no es consciente de dicha situación. Por esta razón, se hace necesario conocer el ámbito terapéutico y apoyarse en personal especializado en el cuidado de este tipo de población para garantizar el éxito de cualquier proyecto de aplicación tecnológica. A continuación, se describen algunas generalidades terapéuticas de la voz relevantes en este trabajo y generalidades técnicas que hicieron posible el desarrollo de la herramienta.

### 2.1 Terapia de Voz

Es importante advertir que la voz enferma y nos enferma. La disfonía o alteración de La disfonía infantil no es un fenómeno fácilmente observable de manera objetiva por los padres ni, a veces, por parte de

pediatras. Algunas manifestaciones de la disfonía infantil son más evidentes que otras y hacen que sus padres soliciten ayuda médica. Algunos padres se alertan por el elevado esfuerzo que hacen sus hijos al hablar, otros detectan que su hijo no grita y no se les escucha de lejos, o del lado contrario, que su hijo siempre habla muy fuerte. También es conocido que muchas de las alteraciones acústicas de la voz tienen su origen en manifestaciones histológicas o morfológicas del aparato fonador, y algunas de estas pueden tener origen congénito o funcional [Vila, 2009].

En el caso de niños con discapacidad, son innumerables los diagnósticos que pueden tener repercusiones en la calidad de la voz del niño. Encontramos por ejemplo, voces alteradas como consecuencia de: retardo mental, sordera, síndrome de Down, parálisis cerebral, distrofia muscular, hipotonía, hipertonía, etc. También las malformaciones o problemas anatómicos comprometen de manera importante las cualidades de la voz especialmente la articulación. En el campo de la logopedia y educación vocal, se entiende por voz alterada o disfonía la alteración de sus cualidades acústicas, estas son: la Intensidad, el Tono, el Timbre y la Duración. Sea una de ellas o diversas combinaciones de ellas, una modificación significativa de los valores respecto a los considerados normales puede ser vivida por el sujeto o por su entorno como una alteración.

## 2.2 Fundamentos Técnicos

Dentro de las TH utilizadas para el desarrollo de la herramienta se encuentran el modelo digital de producción de voz, las técnicas de pre-procesado de la señal de voz, la estimación de energía, la autocorrelación, el análisis de predicción lineal, la estimación de pitch y formantes, y el análisis homomórfico.

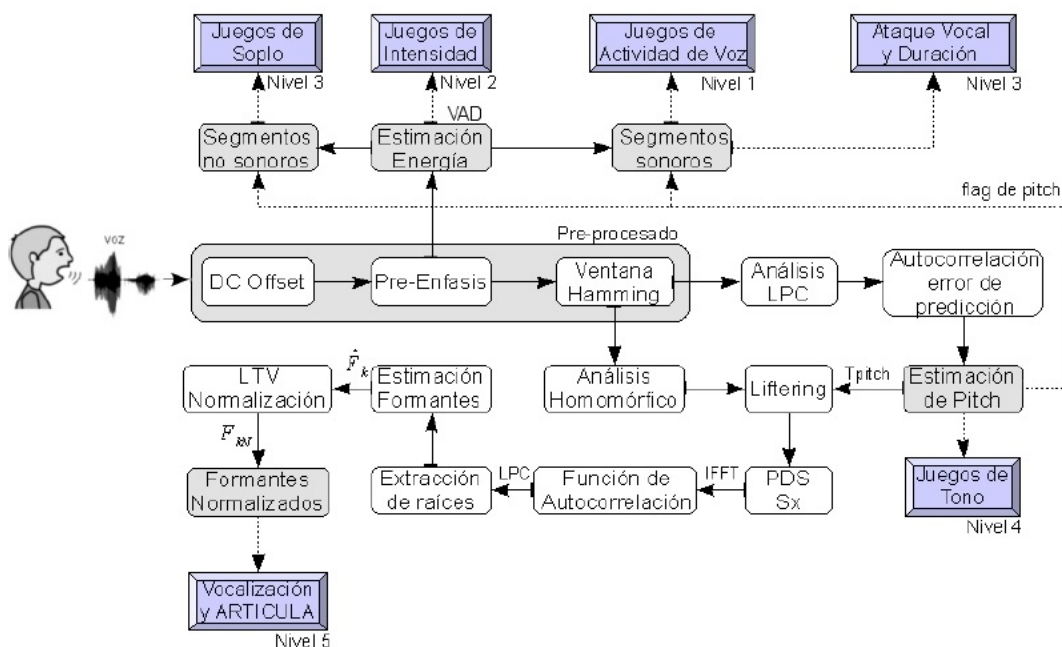


Figura 1. Diagrama de bloques de PreLingua

# Cuaderno Red de Cátedras Telefónica

## Aplicación de las Tecnologías del Habla en la Educación de la Voz Infantil Alterada

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques de cómo se integran las TH en la herramienta dando lugar a las actividades de PreLingua. El primer bloque de pre-procesado de voz adecua la señal para ser tratada en tiempo y frecuencia. Después del pre-énfasis, es posible estimar la energía del segmento analizado y determinar si se trata de un segmento sordo o sonoro por medio de un detector de actividad de voz o VAD, y a partir de allí, tienen lugar las actividades para trabajar detección de voz, soplo, intensidad, ataque vocal y duración. La etapa final del pre-procesado es el enventanado tipo Hamming el cual adecua la señal para ser tratada en frecuencia. A partir de allí se realiza el análisis LPC para estimar la frecuencia de pitch o tono a partir del error de predicción, y de este análisis surgen entonces las actividades de tono en PreLingua. Hasta aquí las técnicas utilizadas son las tradicionales y se encuentran también en otras herramientas de pago para terapia de voz. [Rodríguez 2010].

La investigación doctoral aquí presentada avanzó más profundamente en el análisis ingenieril de la voz infantil ya que esta presenta una alta dificultad técnica en la estimación de formantes vocálicos por la alta tonalidad de este tipo de voz. Además, los formantes varían enormemente en función del crecimiento ya que dependen de la condición geométrica del tracto vocal de cada niño. Las herramientas tradicionales del mercado no suelen trabajar sonidos vocálicos en tiempo real y mucho menos en español, de manera que en esta investigación se propuso un método para estimar de manera robusta los formantes vocálicos en la voz infantil por medio de una normalización de la longitud del tracto vocal, también, se diseñó un avatar de niño/niña como interface para facilitar la comprensión de la actividad de articulación vocálica a los niños en terapia. La técnica utilizada en el método propuesto y el diseño general de la herramienta se explicarán en siguiente apartado.

### 3. Investigación y Desarrollo

La primera parte de la investigación consistió en una contextualización de campo en áreas como la logopedia, la educación especial, y en alteraciones de la voz infantil para poder iniciar la fase de diseño de la herramienta. Se analizaron diferentes técnicas en procesado de señal de voz para estimar los parámetros acústicos de la voz como la intensidad y tono, hasta que se encontró el problema de la estimación robusta de formantes en voz infantil. Para enfrentar este problema, se grabó un corpus de voz con vocales infantiles con el ánimo de analizar más a fondo este tipo de voz e investigar diferentes técnicas de procesado de señal más robustas. Después de una fuerte etapa de investigación, se propuso un método basado en el análisis homomórfico y liftado en el dominio cepstral para eliminar la influencia de la alta tonalidad en la estimación formántica, también, este método se combinó con una técnica de normalización de formantes basada en una estimación de la longitud del tracto vocal para reducir la alta variabilidad debida a las diferentes longitudes de los tractos vocales en los niños [Rodríguez 2010-2].

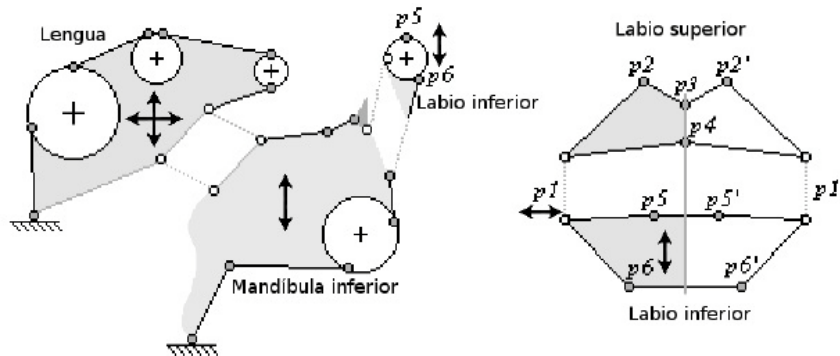


Figura 2. Modelo de articulación.

Utilizando el método propuesto, se diseñó un modelo de articulación de vocales en donde un avatar mueve la lengua, mandíbula y labios en función de los formantes vocálicos estimados por el sistema. El modelo que puede apreciarse en la Figura 2, tiene diferentes puntos de control ( $p_x$ ) y grados de libertad que simulan los movimientos de estas estructuras facilitando la comprensión del fenómeno articulatorio al usuario final. La integración de este modelo en el avatar puede apreciarse en la Figura 3(a), y la interface final de usuario en la actividad llamada ARTICULA en la Figura 3(b).

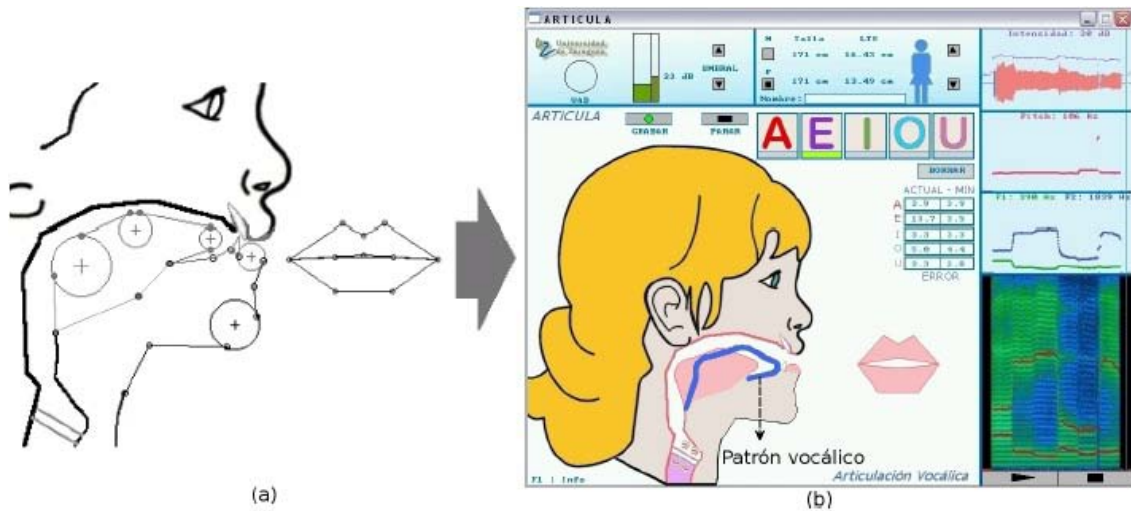


Figura 3. (a) Modelo integrado en el avatar, (b) Interface de ARTICULA.

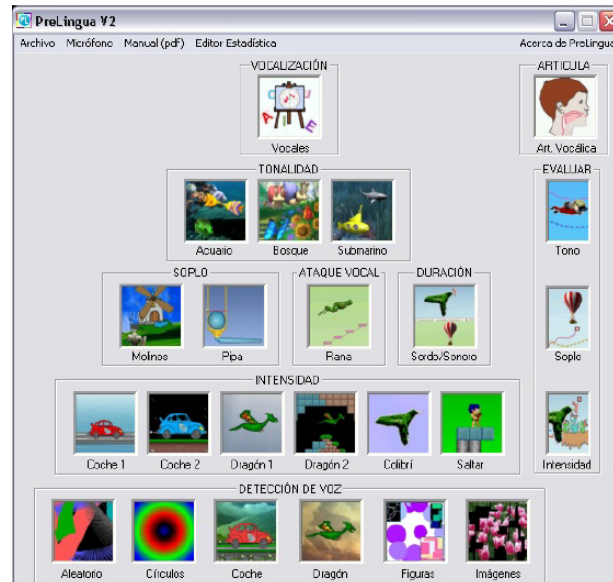
En ARTICULA, el terapeuta selecciona el género, talla del usuario y vocal a trabajar, y el sistema configura el avatar mostrando el patrón teórico que el usuario debe imitar. Esta aplicación ha representado para la comunidad terapéutica una gran ayuda en la manera de trabajar articulación vocálica gracias a la facilidad de uso y a su interface natural e intuitiva.

# Cuaderno Red de Cátedras Telefónica

## Aplicación de las Tecnologías del Habla en la Educación de la Voz Infantil Alterada

Respecto a la herramienta PreLingua, su pantalla principal puede observarse en la Figura 4, la herramienta incluye ARTICULA y otras actividades que han sido agregadas y mejoradas gracias a la continua colaboración de terapeutas en todo el mundo.

Figura 4. Pantalla principal de PreLingua.



PreLingua está diseñada en forma piramidal en lo que a complejidad respecta y su base corresponde a las actividades de detección de voz y discriminación de sonidos sordos y sonoros. El segundo nivel trabaja la intensidad de la voz, el tercero trabaja el soplo, el ataque vocal y la duración de sonidos, el cuarto nivel la tonalidad, y finalmente, el quinto es para la articulación de sonidos vocálicos. La última versión incluye una sección de evaluación en la parte derecha y permite que el terapeuta haga seguimiento de los avances de cada paciente y complemente su historia clínica con los reportes estadísticos que le ofrece el sistema.



Figura 5. Actividades de PreLingua.

Algunas actividades de PreLingua pueden apreciarse en la Figura 5. La parte izquierda muestra una actividad para trabajar la intensidad, la parte central una actividad para tonalidad y la parte derecha muestra la actividad de soplo. Todas las actividades de PreLingua son gráficamente muy motivantes, no se requiere de previas configuraciones y funcionan en tiempo real.



## 4. Estudio Experimental

En el transcurso de la investigación se establecieron importantes convenios con instituciones de educación especial en España y Latino América, que posibilitaron la realización de un estudio aplicando la herramienta PreLingua a un grupo de personas con diferentes discapacidades. El objetivo principal era el evaluar la tecnología propuesta y obtener resultados cualitativos y cuantitativos. El estudio se realizó en el Colegio Público de Educación Especial Alborada en Zaragoza España y la Fundación Centro de Educación Especial del Niño Diferente CEDESNID en Bogotá Colombia.

El estudio se realizó con 27 alumnos los cuales fueron seleccionados por profesionales en fonoaudiología y educación especial bajo las premisas de que ellos tuvieran alteraciones en su voz, que conocieran las vocales y entendieran las actividades a realizar. El estudio tuvo una duración de doce semanas y los datos se dividieron en datos cualitativos y cuantitativos tomados al inicio y al final del estudio. Para los datos cualitativos, los profesionales en fonoaudiología y educación especial diseñaron una evaluación considerando la intensidad, la duración del soplo, el tono, las praxias de lengua y el ritmo. Dicha evaluación se practicó en los pacientes al inicio y al final del estudio para comparar cualitativamente los cambios producidos por el uso de la herramienta. Los datos cuantitativos se obtuvieron directamente de la herramienta y se consideró la intensidad, el tono, el soplo y la articulación vocálica. En la evaluación cuantitativa el terapeuta propone un patrón de trabajo para que el niño lo realice y el sistema mide el error cuadrático medio entre el patrón definido por el terapeuta y el patrón descrito por el niño con su voz. Estos datos fueron registrados semana a semana y se compararon las medias de las primeras tres semanas con respecto a las tres últimas. Una adaptación de la prueba t Student llamada test de Welch fue utilizada para verificar si las medias iniciales eran significativamente diferentes a las medias finales.

## 5. Resultados e Impacto

Los datos cualitativos obtenidos en el estudio se muestran en la Figura 6, mientras que los datos cuantitativos se muestran en la Figura 7. Los resultados cualitativos muestran un número de sujetos que usando PreLingua durante 12 semanas, ciertamente mejoraron sus habilidades de voz en aspectos como el soplo, la intensidad, y el ritmo, en un 66.6%, 44.4% y 40.7% de los sujetos respectivamente. Habilidades como la entonación y praxias de lengua, las cuales requieren de un mejor control de los músculos y demás estructuras anatómicas, mostraron resultados menos relevantes con un 29.6% y 33.3% respectivamente, convirtiéndose en los aspectos de la voz más difíciles de trabajar por parte de los usuarios.

**Resultados Cualitativos**

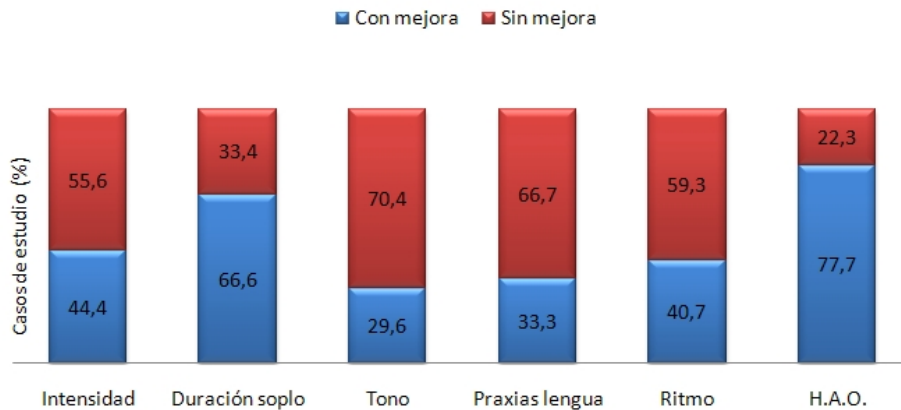


Figura 6. Resultados cualitativos.

Debido al alto nivel de entendimiento y concentración requeridos, se necesitará de un estudio más amplio (quizá de seis meses a un año) y con más casos de estudio que refleje mayores variaciones de estos parámetros en el tiempo, para saber si PreLingua tiene las mismas posibilidades de mejorar estos aspectos de la voz en sujetos con voz alterada. Una parte muy positiva de los resultados cualitativos son las habilidades adicionales observadas (H.A.O.) que, aunque no se esperaban al inicio del estudio, éstas se presentaron en el 77.7% de los casos de estudio convirtiéndose en los mejores resultados cualitativos obtenidos. Éstas habilidades adicionales incluyen el aumento del tiempo de atención, direccionalidad del soplo y habilidades de socialización como la sana competencia, el respeto de turnos y la automotivación.

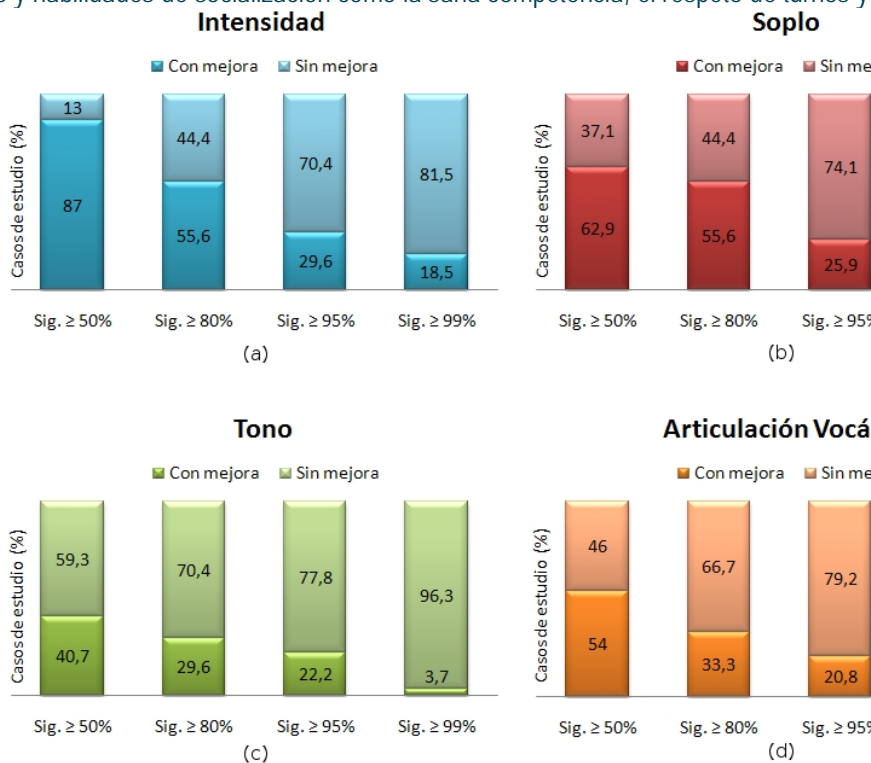


Figura 7. Resultados cuantitativos.

Por su parte, los resultados cuantitativos muestran, que objetivamente la intensidad fue la actividad con mejores resultados en todos los niveles de significancia con respecto a las demás, seguida del soplo, la articulación vocálica y finalmente el tono. En general, Intensidad y Soplo fueron las actividades donde más sujetos alcanzaron mejoras significativas en todos los niveles de significancia. Estos resultados son especialmente buenos en la actividad de Soplo, ya que ésta actividad requiere un alto nivel de concentración comparada con la actividad de Intensidad que es considerada la más fácil de realizar. Un número menor de usuarios alcanzaron mejoras significativas en la actividad de Tono, posiblemente influenciada por la corta duración del estudio y el alto nivel de exigencia requerido en ésta actividad a nivel de conciencia, como también, el buen control/modulación sobre las cuerdas vocales. Respecto a la actividad de articulación vocálica, es bien sabido que el proceso de articulación está afectado por las condiciones geométricas de la cavidad vocal del usuario, algunos de los usuarios presentaban mal formaciones en el paladar blando o duro, dientes torcidos, y/o hipotonía o hipertonia, de manera que los resultados obtenidos en ésta actividad no fueron tan relevantes como en las otras actividades, y se espera sean mejores en la medida en que se utilice más la herramienta y se hagan más sesiones de trabajo.

### IMPACTO

El proyecto COMUNICA [Saz et al., 2008] del que hace parte PreLingua, junto con otras herramientas libres para terapia del habla como Vocaliza y Cuéntame, distribuye sus herramientas a través del dominio [www.vocaliza.es](http://www.vocaliza.es) desde inicios de 2008. En este portal web, la única condición para descargar las herramientas es registrarse con una cuenta de correo válida. Desde su creación, se han registrado hasta Enero de 2012 más de 8497 usuarios distribuidos principalmente en España y Latino América. Por otro lado, debido a la gran demanda de soporte, en Febrero de 2009 se creó un canal en YouTube con videotutoriales de todas las herramientas del proyecto COMUNICA en donde las reproducciones se han realizado incluso en países cuya lengua materna no es el español. También se cuenta con la difusión en diferentes blogs dedicados a la logopedia y educación especial, hecha por quienes consideran la herramienta útil y con valor suficiente para difundirla. En Internet, ya circulan de manera gratuita guías de trabajo para utilizar PreLingua en sesiones de terapia y cuyo diseño ha sido realizado por terapeutas y para terapeutas.

Los datos anteriores junto con otras actividades de difusión como publicaciones en revistas, capítulos de libro, diversas entrevistas en medios de comunicación como Aragón Radio, Aragón TV, El Heraldo de Aragón, y algunas charlas y seminarios impartidos en diferentes países; son en conjunto indicadores del buen impacto que ha tenido la herramienta y de que esta responde en lo posible a las necesidades de la comunidad terapéutica.

En el transcurso de la investigación y en especial en los últimos años, se han recibido numerosas aportaciones directas de logopedas, fonoaudiólogos, psicólogos y educadores especiales, con críticas constructivas y casos de éxito con la aplicación de la herramienta. Cabe destacar un caso de desmutización exitosa en un niño con craneosinostosis en Valencia (España); solución a una dislalia de la /s/ con la actividad de Soplo en Coruña; una notoria mejoría en la movilidad de los órganos fonarticulatorios, en el modo respiratorio, direccionalidad y fuerza del soplo, en un paciente de 14 años con discapacidad cognitiva, trastorno de comunicación y parálisis cerebral en Bogotá. También se han reportado cinco casos de éxito más en Uruguay donde el manejo de PreLingua hace parte de un caso de



# Cuaderno Red de Cátedras Telefónica

## Aplicación de las Tecnologías del Habla en la Educación de la Voz Infantil Alterada

12

TIC aplicado a discapacidad. En este mismo país, la herramienta se utilizó con éxito en pacientes con parálisis cerebral, déficit motor, autismo, hipoacusia y tartamudez entre otros diagnósticos, y en ellos se han visto mejoras en el modo respiratorio, mantenimiento de sonidos, disminución de la monotonía del tono, fuerza en el soplo y, en todos los casos, mucha motivación para trabajar con la herramienta.

### Bibliografía

[Vila, 2009] Vila, J. (2009). *Guía de Intervención Logopédica en la Disfonía Infantil*. Editorial Síntesis.

[Rodríguez 2010]. *Aplicación de las Tecnologías del Habla en la Educación de la Voz Infantil Alterada*. Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza. 2010.

[Rodríguez et al., 2010-2]. *Articula - a tool for spanish vowel training in real time. : Workshop on Second Language Studies: Acquisition, Learning, Education and Technology. Interspeech, 2010 SEPTIEMBRE 2010*.

[Saz et al., 2008] Oscar Saz, W.-Ricardo Rodríguez, Eduardo Lleida, Carlos Vaquero, Antonio Escartín. COMUNICA - PLATAFORMA PARA EL DESARROLLO, DISTRIBUCIÓN Y EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS LOGOPÉDICAS ASISTIDAS POR ORDENADOR, V Jornadas en Tecnologías del Habla, 2008.