

## ANÁLISIS ROBUSTO DE VOZ INFANTIL CON APLICACIÓN EN TERAPIA DE VOZ

William Ricardo Rodríguez, Oscar Saz, Eduardo Lleida<sup>1</sup>

Fecha de Recepción: 11 de Septiembre de 2010.  
Fecha de Aprobación: 30 de Octubre de 2010.

### Resumen

Este trabajo aborda el problema de la estimación fiable y robusta de parámetros acústicos de la voz infantil, como la frecuencia fundamental y formantes para el desarrollo de herramientas de uso libre en terapia de voz. En la voz infantil estos dos parámetros se combinan de tal manera que su estimación resulta una tarea difícil, para afrontar este problema, se adquirió un corpus de voz con las vocales del castellano de 235 niños sanos, para estudiar sus parámetros y experimentar con técnicas avanzadas en procesado de señal de voz. Técnicas como el análisis de predicción lineal y homomórfico, y la normalización de formantes, permiten estimar de una manera más fiable estos parámetros y potencian el desarrollo de herramientas para terapia de voz como las presentadas en este trabajo.

**Palabras clave:** Estimación, Pitch, Formantes, Corpus, Terapia de voz.

## ROBUST ANALYSIS OF CHILDREN' SPEECH AND ITS APPLICATION IN SPEECH THERAPY

### Abstract

This paper addresses the problem of how to estimate reliable acoustic parameters in children' speech, as the fundamental frequency and formants in order to develop computer-aided tools in voice therapy. These two parameters in children' speech are especially combined making it very difficult the estimation process, to solve this, a corpus with Spanish vowels of 235 healthy

<sup>1</sup> Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones GTC. Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón I3A, Universidad de Zaragoza. María de Luna 1. 50018, Zaragoza, España. wricardo@unizar.es, oskarsaz@unizar.es, lleida@unizar.es.

children was acquired for its study and testing with advanced techniques in speech processing. Techniques like linear prediction and homomorphic analysis, and formant normalization, achieves better estimations of these parameters and makes possible the development of computer-aided tools such as presented in this work.

**Key words:** Estimation, Pitch, Formants, Corpus, Speech therapy.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los parámetros acústicos de la voz encontramos: la intensidad, o volumen de la voz resultante de la presión del aire a su paso por los pliegues vocales que dificultan su salida; El tono, o frecuencia fundamental F0, que es el resultado de la vibración de las cuerdas vocales en la fonación, también conocida como frecuencia de pitch; El timbre, considerada la personalidad de la voz y es propia de cada persona, está constituida por F0 y sus armónicos afectados por la geometría del tracto vocal y las resonancias de este también conocidos como formantes; y finalmente, la duración, es decir el tiempo de permanencia de las vibraciones sonoras durante la emisión de la voz.

De estos parámetros, la Intensidad y la Duración se pueden medir fácilmente por medio de instrumentos o algoritmos, y no existen grandes diferencias entre la población infantil y adulta. Una situación muy diferente se presenta a la hora de estimar el valor de pitch y de formantes, ya que al ser la señal de voz una señal pseudoestacionaria, es decir, que su forma de onda cambia de un instante de tiempo a otro, y nunca llegarán a coincidir dos fragmentos de ella, su estimación se convierte en una tarea técnicamente difícil.

Adicionalmente hay mucha variabilidad entre voces de diferentes tipos de población, por ejemplo, los valores de estos parámetros en la población infantil son superiores a los valores de la

población adulta, debido fundamentalmente a que las cuerdas vocales y el tracto vocal en los niños, son de menores dimensiones y por ende los valores de frecuencia de pitch y formantes resultan mayores, esto ocasiona por ejemplo, que la alta tonalidad presente en la voz infantil altere la estimación real de formantes.

Todo lo anterior hace que los profesionales hispanohablantes de la voz encuentren pocos estudios del comportamiento de estos parámetros en voz infantil, en lengua inglesa por ejemplo, se encuentran estudios como en: Houri (2007), Whiteside (2001), White (1999) y Bennett (1981), en los que se analiza la estructura formántica de la voz en niños y adolescentes basados en los sonidos vocálicos del inglés, los cuales difieren mucho de los sonidos vocálicos del español, o como en Ménard (2007), en donde se analiza acústicamente las vocales del francés durante el crecimiento del tracto vocal. En idioma español, trabajos como Gurlekian(1999) hacen una caracterización articulatoria de los sonidos vocálicos del español, basada en formantes y mediante imágenes médicas pero en población adulta únicamente.

De igual forma, en el campo de herramientas informáticas para terapia de voz, las herramientas disponibles suelen estar diseñadas en lenguas diferentes a la española, y con precios de adquisición muy elevados, algunos ejemplos como: SpeechViewer III (1997), Vox Games (2010), y Dr. Speech (2010), son herramientas de pago a las

que difícilmente tienen acceso los profesionales de la voz que trabajan con población infantil.

Es por eso que desde el Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC), del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), de la Universidad de Zaragoza, en colaboración con Colegio Público de Educación Especial Alborada de Zaragoza, y el colegio de educación infantil y primaria Río Ebro de la misma ciudad, surgió la iniciativa de adquirir un corpus de voz infantil para investigación que permitiera el desarrollo de herramientas libres para logopedia. Este corpus de voz se adquirió con las vocales del español en 235 niños sanos, de los cuales 110 son de sexo femenino y 125 masculino. El corpus se analizó en profundidad aplicando técnicas de procesado de señal de voz, con el objetivo de obtener parámetros acústicos fiables en función de la talla y el sexo del niño.

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos en dicho análisis, y como estos permitieron el desarrollo de aplicaciones informáticas para trabajar alteraciones de voz y articulación vocálica en población infantil. La sección 2 muestra la metodología seguida, en donde se describen las características generales del corpus y cómo se obtuvieron el pitch y formantes de manera fiable aplicando Tecnologías del Habla, la sección 3 muestra los resultados obtenidos y las herramientas libres desarrolladas para terapia de voz. Finalmente las secciones 4 y 5 muestran la discusión y las conclusiones respectivamente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Requerimientos de la Adquisición del corpus:

Para la investigación era necesario contar con un corpus de voz con emisiones vocálicas del idioma español, generadas de manera aislada y

sostenida, estas emisiones debían abarcar en lo posible un rango de edades tal que permitiera conocer la evolución formántica desde la infancia hasta la adolescencia. Otro aspecto importante a considerar fue que los locutores tuviesen voz sin alteraciones para poder estudiarla y conocerla mejor desde un punto de vista científico y así posibilitar el desarrollo de herramientas.

Este corpus se diseñó teniendo en cuenta los recursos humanos disponibles en ese momento en el colegio de educación infantil y primaria Río Ebro. Esta institución cuenta con alumnos en la etapa infantil con edades entre los 4 y 6 años y la etapa primaria con edades entre los 6 y 12 años. Es evidente que después de los 12 años las estructuras fonatorias siguen cambiando y por ende siguen variando la información formántica, de manera que gracias al apoyo del Instituto de educación secundaria IES Elaios, fue posible tener como locutores a jóvenes entre los 12 y 16 años de edad. La grabación del corpus tuvo lugar en las instalaciones del colegio Río Ebro teniendo en cuenta la comodidad de los locutores y evitando grandes desplazamientos.

Adicionalmente para la grabación del corpus se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

En lo posible mínimas condiciones de ruido en el entorno.

Una debida instrucción a los locutores respecto a la generación de las vocales a grabar, es decir enfatizando que estas fueran aisladas, sostenidas, y con una entonación natural o espontánea.

En lo posible un adecuado balance en el número de locutores femenino y masculino, partiendo desde la niñez donde el requisito fue que el niño ya supiera las vocales.

Ya que la finalidad del corpus es meramente investigativa y no se utilizaron los datos personales de los locutores, se registraron únicamente los datos de interés para la investigación como los mostrados en la Tabla 1 para cada locutor.

Tabla 1. Formulario de Registro de voz.

Locutor No.	Registro	Sexo	Edad	Talla
1	xx	xx	xx	xx
...	...	...	...	...
235	xx	xx	xx	xx

### Entorno de la Adquisición

Como herramienta de grabación se utilizó una interface especialmente diseñada, con una frecuencia de muestreo de 16KHz, en la que los efectos de la voz se traducen en movimientos de objetos gráficos en pantalla muy llamativos para los niños, situación que ayudó a que fuese una experiencia motivadora para ellos. Se utilizó un computador portátil convencional con el sistema operativo Windows XP y un micrófono tipo close-talk.

### Características de los Locutores

El corpus de voz adquirido se compone de 235 registros de audio correspondientes a 235 locutores, de los cuales 110 corresponden al sexo femenino y 125 al sexo masculino. Cada grabación contiene la producción sonora de las cinco vocales del español y cada vocal fue pronunciada de manera aislada, sostenida, y con un breve intervalo de silencio entre las vocales.

Para la presente investigación, era más relevante caracterizar a los locutores de acuerdo a su talla en lugar de la edad, ya que es bien sabido que las personas no tienen la misma talla por el hecho de tener la misma edad. La Figura 1 muestra el histograma de tallas para locutores femeninos en la parte izquierda y para locutores masculinos en la parte derecha, siendo estos últimos los más numerosos y los de mayor talla.

La Figura 2 relaciona la edad y la talla de los locutores por medio de diagramas de caja, se pue-

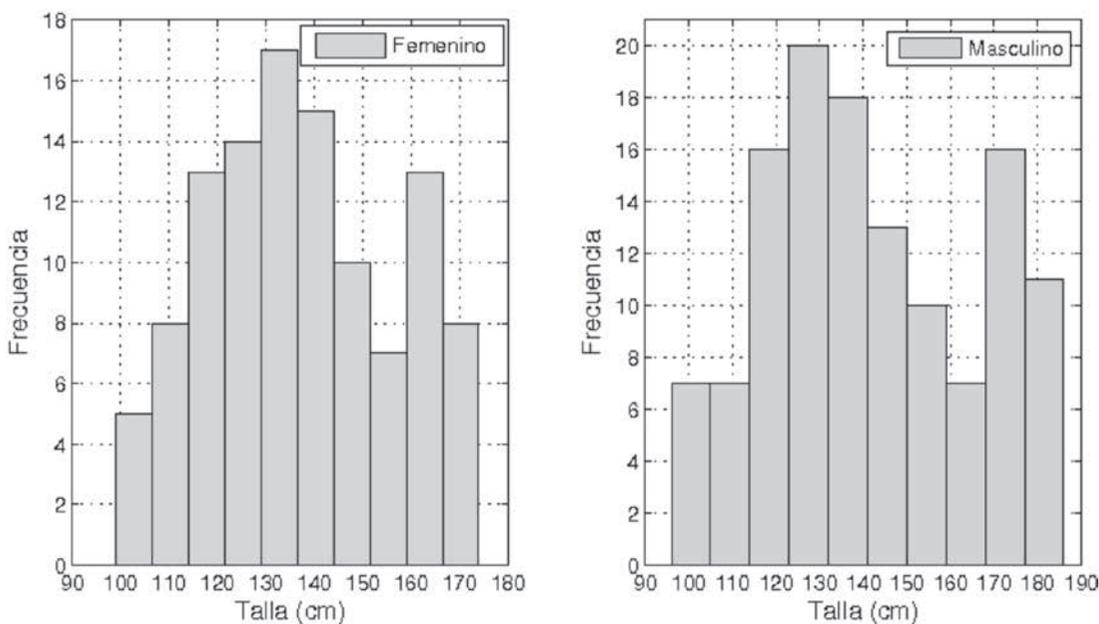
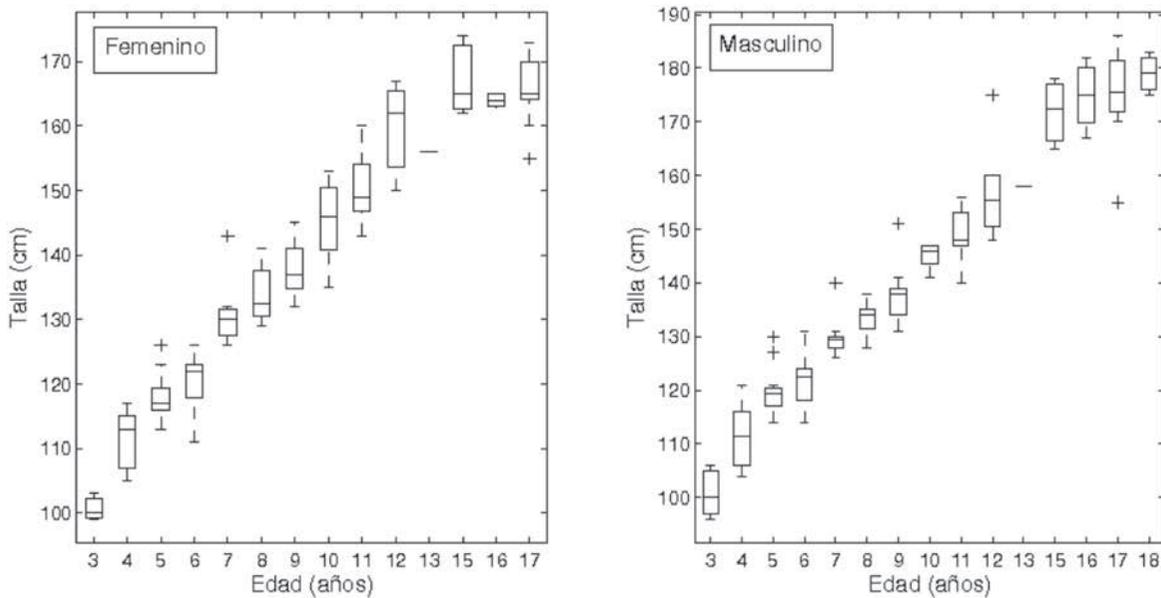


Figura 1. Histogramas de talla para locutores femenino y masculino.



**Figura 2.** Diagramas de caja para Edad Vs Talla.

de apreciar que evidentemente cuando aumenta la edad de una persona aumenta también su talla pero en diferente proporción.

Se observa por ejemplo, que para esta población existe una mayor dispersión en las tallas de los locutores femeninos que en los locutores los masculinos, también, que a partir de los 15 años de edad aproximadamente el rango de tallas entre el primer y tercer cuartil es mayor en los locutores masculinos que en los femeninos, alcanzando en media una mayor estatura.

### Estimación robusta de Pitch y Formantes

Una vez obtenido el corpus de voz infantil, la siguiente tarea fue analizarlo en detalle para conocer los valores de pitch y formantes en función del sexo y la talla de los locutores. Se aplicaron técnicas tradicionales en procesado de voz como la codificación por predicción lineal o LPC (Makhoul, 1975), para estimar la frecuencia de pitch y derivada de esta técnica conocer los formantes vocálicos.

### Estimación de la frecuencia de Pitch

La técnica de análisis de Codificación por Predicción Lineal LPC, permite la extracción de una señal de error o residual a partir de un segmento de voz, esta señal residual recoge información de la periodicidad de la señal, es decir, la información que corresponde a la oscilación de las cuerdas vocales lo que permite estimar la frecuencia de pitch.

El proceso de estimación de la frecuencia de pitch se resume en la Figura 3, en donde una etapa llamada Pre-procesado, adecúa la señal de voz para aplicar la técnica LPC y obtener la estimación de Pitch a partir de la autocorrelación del error mencionado, [Rabiner y Shafer (1978)].

Como última etapa tenemos un filtrado de mediana para corregir errores en la estimación de frecuencia de pitch. El proceso consiste en ordenar los valores estimados y tomar el que queda en el medio. Así por ejemplo un filtro de mediana de orden 5, ordena 5 valores consecutivos y selecciona el tercero, eliminando los datos espureos.

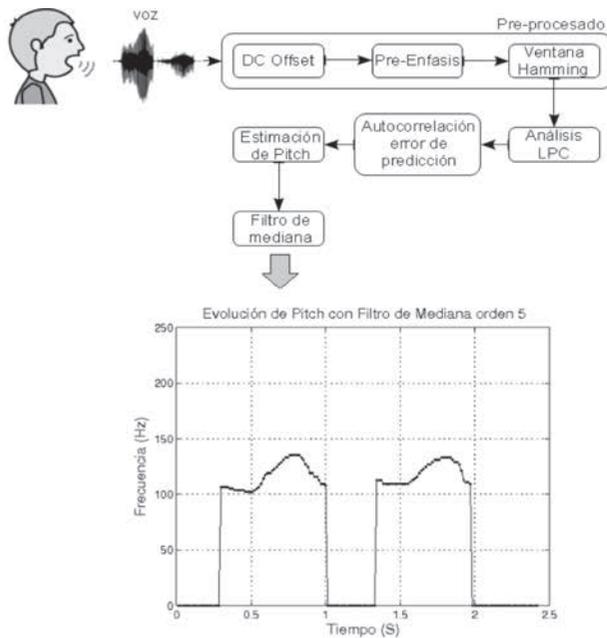


Figura 3. Proceso de estimación de Pitch.

### Estimación de Formantes

Analizando el corpus de voz, la estimación de formantes fue el proceso que más presentó dificultades, mostrando estimaciones erróneas so-

bre todo en aquellas voces con valores altos de pitch, especialmente entre los 3 y los 9 años de edad tanto en locutores masculinos como en los femeninos, situación que requirió de más investigación y profundización.

### Dificultad técnica de la voz infantil

Una manera de apreciar las diferencias entre señales de voz adulta e infantil es por medio de un espectrograma, ya que es una representación bidimensional que muestra la evolución temporal de la caracterización espectral de la señal de voz (Faúndez, 2000).

La Figura 4 muestra dos espectrogramas de voz con las cinco vocales del español, pronunciadas de manera aislada y con un breve espacio de silencio entre ellas. El espectrograma mostrado en (a) corresponde a un adulto varón de 33 años de edad con una talla de 170 cm y con una media de pitch para toda la grabación de 110Hz, mientras que el espectrograma mostrado en (b), corresponde a una niña de 5 años de edad de 117 cm

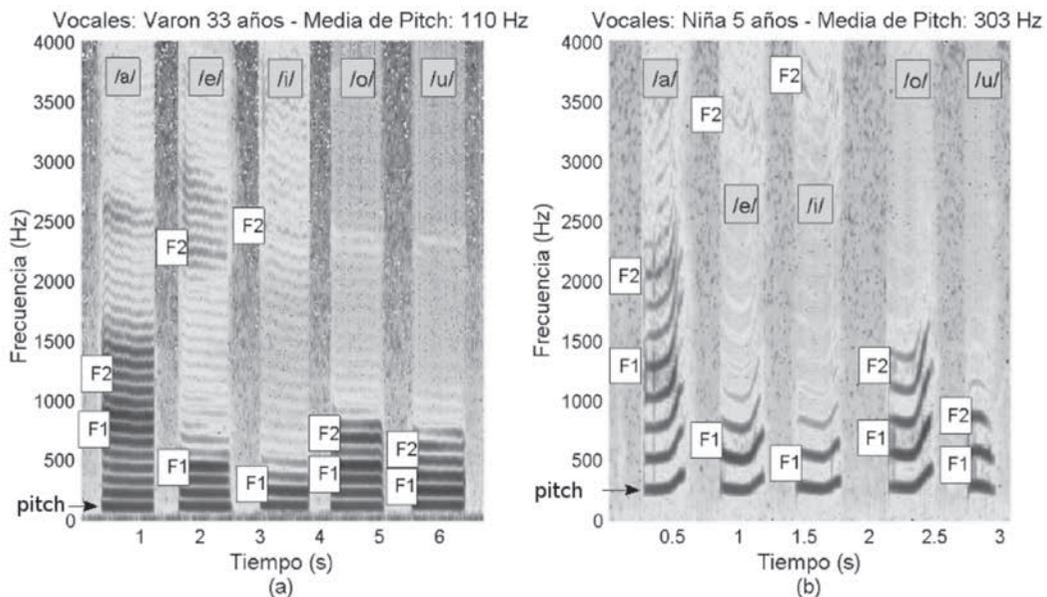


Figura 4. Espectro de vocales en voz adulta (a) y en voz infantil (b).

de altura y con una media de pitch para toda la grabación de 303 Hz.

En la figura, cada segmento sonoro de los espectrogramas esta etiquetado con la vocal respectiva, así mismo, cada vocal tiene indicada la región donde hay mayor energía y se localizan los dos primeros formantes F1 y F2 que caracterizan dicha vocal. En los espectros se pueden observar grandes diferencias entre los dos tipos de voz, diferencias fundamentalmente en la posición del pitch y la distribución de sus armónicos, y la posición de los formantes para cada vocal.

En el caso de la voz adulta la posición del pitch es más baja y por la misma razón la distancia entre sus armónicos es menor, mientras que en la voz infantil el pitch es mayor y sus armónicos están mucho más espaciados y acentuados, quedando los formantes más difusos y de alguna manera ocultos entre los armónicos. De manera que al momento de estimar un formante, lo que realmente se está detectando es el pitch o uno de sus armónicos si el formante se encuentra cercano a este.

Comparando los valores de los formantes, se evidencia que los formantes de la voz infantil son superiores a los formantes de la voz adulta para todas las vocales, debido principalmente a que el tracto vocal de los niños es más corto y por lo tanto sus frecuencias de resonancias son mayores, por ejemplo, mientras que en la voz adulta el segundo formante (F2) de la vocal /i/ esta sobre los 2500Hz, en el caso de la voz infantil este mismo formante F2 alcanza los 3650 Hz. Son evidentes las grandes diferencias que existen entre la voz de un adulto y la de un infante, lo que de alguna manera indica que la estimación de formantes en voz infantil por técnicas tradicionales, puede no reflejar la realidad y se requiere de adaptaciones en los algoritmos existentes para hacer mejores estimaciones.

Para eliminar la influencia del pitch sobre la estimación de formantes, hacemos uso de otra técnica denominada análisis Homomórfico, la cual nos permite separar estas componentes para quitar la no deseada. Conociendo previamente el valor de Pitch como en la Figura 4, es fácil restar ese componente de la señal de voz y dejar solamente la información formántica (Rabiner y Shafer, 2007).

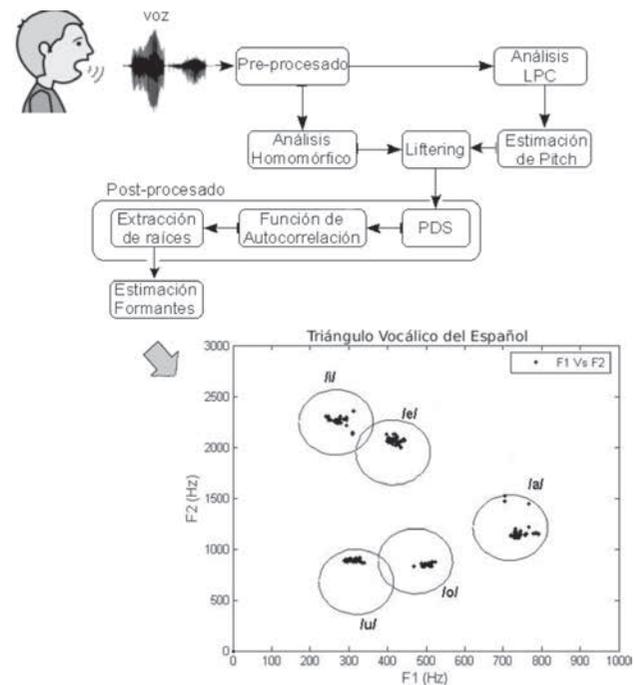


Figura 5. Proceso de estimación de Formantes.

La Figura 5 muestra el proceso de estimación de formantes en donde se aplican las dos técnicas: el análisis LPC y el análisis Homomórfico, el proceso que nos permite quitar la influencia del pitch de la señal de voz se denomina liftering, y a partir de allí una etapa final de post-procesado estima los nuevos formantes. Este es un proceso más fiable para obtener formantes ya que los entrega sin el efecto del pitch, y es entonces cuando se puede obtener el triángulo vocálico para cada locutor formado por los dos primeros formantes

F1 Vs F2 como muestra la parte inferior de la misma figura.

## RESULTADOS

En esta sección se describen los resultados obtenidos al aplicar las técnicas mencionadas en el corpus de voz, y también dos herramientas desarrolladas para terapia de voz las cuales hacen uso de estas técnicas optimizadas.

Después de aplicar el proceso de estimación de pitch de la Figura 3 en la totalidad del corpus de voz, los resultados obtenidos clasificados por sexo y talla, se muestran en la Figura 6. En (a) se muestran los valores de pitch en Hercios (Hz) de los 125 locutores masculinos en función de la talla en centímetros (cm), y en (b), los valores de pitch para los 110 locutores femeninos con las mismas unidades. Los valores corresponden a la media obtenida durante toda la grabación considerando las cinco vocales.

Observando los valores para ambos sexos, las distribuciones son muy semejantes entre los 100 cm y los 150 cm de altura, lo que corresponde aproximadamente hasta los 9 o 10 años de edad. A partir de esa edad la tonalidad cae bruscamente en los locutores masculinos, ya que tiene lugar la pubertad y ocurren muchos cambios estructurales y hormonales, mientras que en los locutores femeninos, esta disminución de la tonalidad es mucho menos marcada. Cuando los locutores masculinos alcanzan la talla máxima, el valor de pitch llega a sus valores mínimos sobre los 120 Hz, en contraste con los locutores femeninos donde este valor se queda en torno a los 200 Hz y permanecerá allí caracterizando la voz femenina suave.

En definitiva, la frecuencia de pitch decae de manera más pronunciada en los locutores mas-

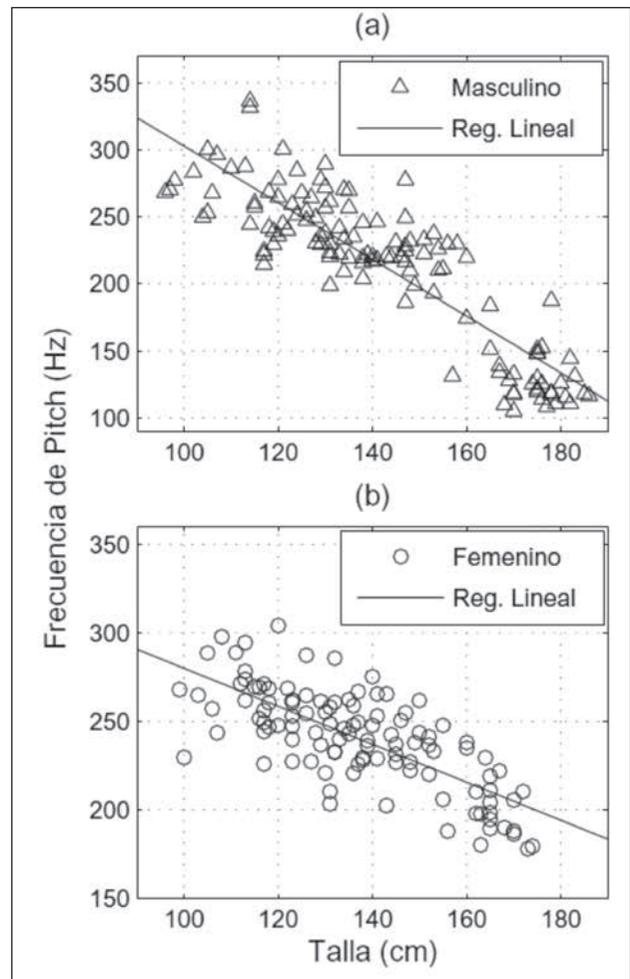


Figura 6. Valores de pitch en función de la talla.

culinos que en los femeninos durante su periodo de crecimiento, tal y como lo evidencian las pendientes de la regresión lineal en cada grupo.

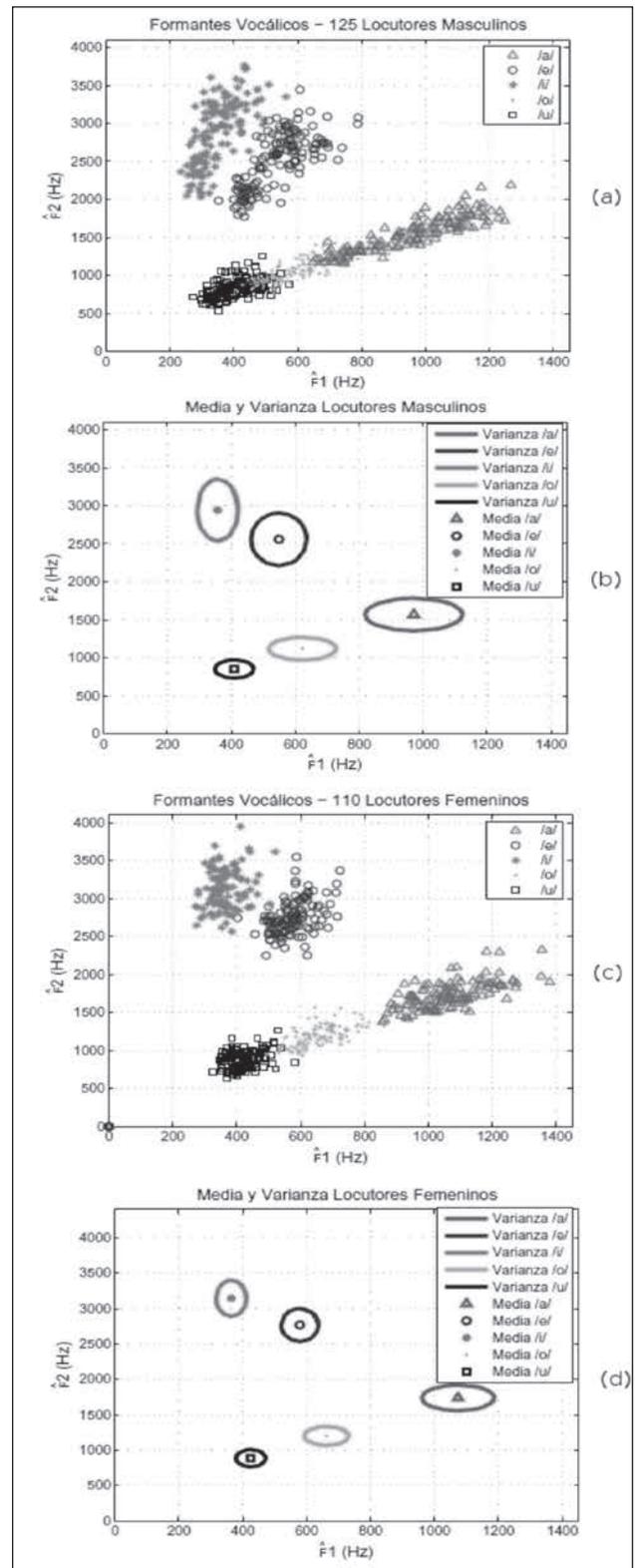
Por otra parte, aplicando el proceso de estimación de formantes de la Figura 5 en el corpus de voz, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7. En (a) y (c) se muestran los triángulos vocálicos para los 125 locutores masculinos y los 110 locutores femeninos respectivamente, y en (b) y (d), están las medias y varianzas de cada vocal para el total de locutores masculinos y femeninos respectivamente. En la distribución de datos de los locutores masculinos, se observa una mayor dispersión en las vocales abiertas /a/,

/e/ e /i/, comparadas con las vocales femeninas ya que hay más dispersión de alturas, además, hay una notoria disminución en el F2 de las vocales altas /e/ e /i/, pertenecientes a los locutores de mayor talla del corpus, es decir, quienes presentan un tracto vocal más largo y por ende sus formantes son menores. La distribución de valores en los locutores femeninos son en media mayores que en los locutores masculinos, pero su varianza es menor para todas las vocales. Las gráficas en conjunto ponen de manifiesto que, en general, hay mayor variabilidad en la evolución de los formantes en los locutores masculinos que en los locutores femeninos, y en media, sus valores son menores para todas las vocales respecto a las vocales femeninas.

**Aplicación en terapia de voz**

Aprovechando los avances en el conocimiento de la voz infantil derivados del estudio realizado, se inició el desarrollo de una herramienta que sirviera de apoyo en terapia de voz y destinada a la población infantil. Así surge PreLingua (Rodríguez, 2008), una herramienta para trabajar aquellos aspectos de la voz y la comunicación pre-lingüística susceptibles de ser tratados por medio de Tecnologías de Habla. PreLingua se diseñó en forma de pirámide con cinco niveles que abarcan: la Detección de Voz, la Intensidad, el Soplo, el Ataque Vocal, la Duración, la Tonalidad y finalmente la Vocalización.

Todas las actividades se basan en juegos muy simples y no se requiere de previas configuraciones para su funcionamiento. La versión II de la herramienta que se muestra en la Figura 8, incluye una sección de evaluación que permite generar reportes y hacer seguimiento de los avances niño. La herramienta es de libre distribución y puede ser descargada de [www.vocaliza.es](http://www.vocaliza.es), esta herramienta ha tenido gran aceptación por parte



**Figura 7.** Triángulos vocálicos (a) y (c), media y varianzas (b) y (d).

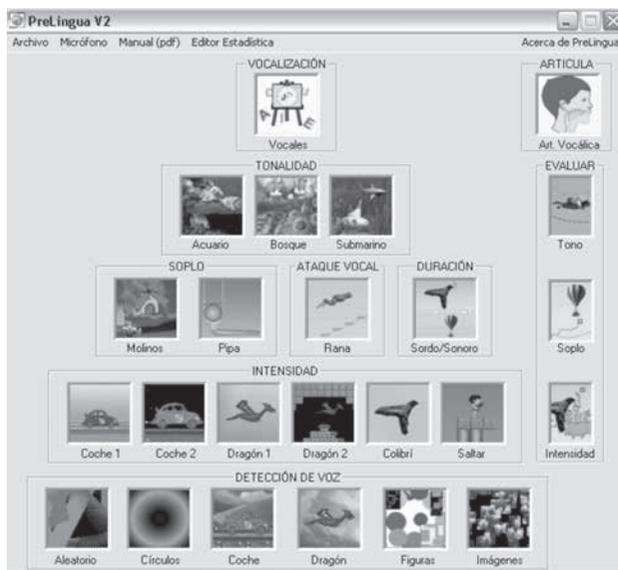


Figura 8. PreLingua - Herramienta para terapia de voz.

de profesionales de la voz y del campo de la educación especial.

## Aplicación en Articulación vocálica

Atendiendo las observaciones hechas por profesionales en logopedia y educación especial, se

diseño una aplicación llamada ARTICULA la cual permite trabajar la articulación de las vocales del español en tiempo real.

Esto es posible gracias a un proceso de normalización de formantes basado en la longitud del tracto vocal como se describe en: Rodríguez y Lleida (2009), con el que se logra disminuir la alta variabilidad formántica de la voz infantil, también se parte de la premisa de que el formante F1 afecta la altura de la lengua en la articulación vocálica, y que F2 modifica la posición horizontal de la misma.

Con esta herramienta que se encuentra integrada en PreLingua, podemos observar en tiempo real la posición aproximada de la lengua, labios y mandíbula inferior en la articulación vocálica, gracias a un avatar desarrollado para este fin. La herramienta tiene en cuenta el comportamiento de los formantes para locutores femeninos y masculinos, y la talla de usuario para lograr la mejor normalización posible para un usuario dado.

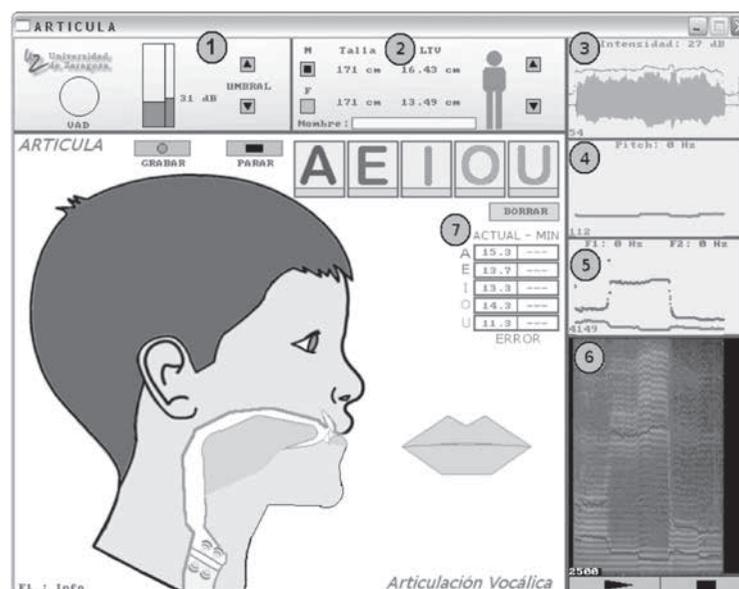


Figura 9. Articula - Herramienta para articulación vocálica.

La herramienta se aprecia en la Figura 9, allí en los campos 1 y 2 se configura el umbral de detección de voz, el sexo y la talla del usuario, mientras que los campos 3, 4, 5 y 6, muestran información relativa a la voz como: Intensidad y forma de la señal, Pitch, Formantes y Espectro respectivamente. Estos parámetros se encuentran alineados en el tiempo y se muestran en tiempo real, lo que resulta muy útil en estudios de la voz misma.

PreLingua y ARTICULA son herramientas libres de reciente desarrollo que se encuentran en fase de pruebas, y que gracias a las observaciones hechas por los quienes las han usado continúa mejorando su funcionalidad y robustez. Estas herramientas hacen parte del proyecto COMUNICA (Saz, et al, 2008), que reúne un conjunto de herramientas libres para discapacidad orientadas a terapia de voz y lenguaje.

## DISCUSIÓN

Esta investigación aborda el problema de la estimación de parámetros acústicos fiables en la voz infantil, con el objetivo de crear herramientas libres para terapia de voz. Para lograrlo, se adquirió un corpus con voz infantil con las vocales del español y se aplicaron técnicas robustas de procesamiento de señal para analizar el comportamiento de la frecuencia de pitch y los formantes.

Los resultados obtenidos evidencian un decaimiento de la frecuencia de pitch similar en ambos sexos hasta los 9-10 años de edad, a partir de allí, ocurre un brusco descenso en los valores de pitch de locutores masculinos, y en menor medida en los locutores femeninos, debido a los cambios normales inherentes a la pubertad. En resumen, los valores de pitch en los primeros

9 años de vida son altos, semejantes, y técnicamente difíciles de diferenciar.

En la estimación de formantes, se encontró una alta variabilidad en las medidas con una mayor dispersión en los locutores masculinos que en los locutores femeninos, debido principalmente al mayor crecimiento del tracto vocal en la pubertad en los locutores masculinos. En general, la estructura formántica en los locutores femeninos es más homogénea y, en media, sus valores son superiores para todas las vocales que los valores en locutores masculinos, situación también soportada por los diferentes cambios geométricos en el tracto vocal de ambos sexos. Estudios como el aquí presentado, permiten conocer cómo cambian los parámetros acústicos en un infante en función de su talla y sexo, y ha permitido el desarrollo de herramientas para terapia de voz y articulación vocálica más adaptables a este tipo de población, y en lengua española.

## CONCLUSIONES

Esta investigación permite comprender la alta complejidad técnica en la estimación de parámetros acústicos de la voz infantil, en donde la variación de las estructuras de fonación asociadas al crecimiento, genera una alta variabilidad en los datos estimados. Como solución se propone la modificación de algunas técnicas de ingeniería existentes, que permiten la estimación más fiable de parámetros acústicos, y también posibilitan la creación de herramientas para atender las necesidades de los profesionales de la voz y educadores que trabajan con población infantil. Ahondar en la investigación de tecnologías del habla aplicadas en lengua española, contribuirá definitivamente a mejorar la calidad de vida de sus potenciales usuarios, y fortalecerá el conocimiento de esta lengua hablada por más de 480 millones de personas en todo el mundo.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto TIN-2008-06856-C05-04 del Ministerio de Educación y Ciencia de España, y a las Becas del Banco Santander y la Universidad de Zaragoza. Los autores quieren agradecer a las instituciones de educación: Alborada, Rio Ebro y Elaios, quienes participaron en la adquisición del corpus de voz infantil.

**REFERENCIAS**

Bennett, S., (1981). Vowel formant frequency characteristics of preadolescent males and females. *Journal of Acoustical Society of America*. 69(1), January, 231-238.

Dr. Speech – Speech Therapy, (2010). Herramienta para terapia del habla desarrollada por Tiger DRS. Recuperado en Julio 15, 2010. <http://www.drspeech.com/>.

Faúndez, M., (2000). Tratamiento digital de voz e imagen. Editorial: Marcombo – Boixareu. Capítulo 2.

Gurlekian, J., Alisei N., & Eleta M., (1999). Caracterización articuladora de los sonidos vocálicos del español de Buenos Aires mediante técnicas de resonancia magnética. Laboratorio de investigaciones sensoriales, Hospital de Clínicas - UBA, Argentina.

Houri, K. V., & Ray D. K. (2007). Vowel acoustic space development in children: A Synthesis of Acoustic and Anatomic Data. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. December, (50), 1510-1545.

Makhoul, J., (1975). Linear Prediction: A tutorial review. *Proceedings IEEE*, (63), 561-580.

Ménard, L., Schwartz J., Boë J., & Aubin J., (2007). Articulatory-acoustic relationship during vocal tract growth for French: analysis of real data simulations with an articulatory model. *Journal of Phonetics*, (35), 1-19.

Rabiner, L., & Schafer R. W., (1978). *Digital Processing of speech signal*. New Jersey, Editorial: Prentice Hall.

Rabiner, L., & Schafer R. W., (2007). *Introduction to digital speech processing*. Santa Barbara, Editorial: The essence of Knowledge.

Rodríguez, W. R., y Lleida E., (2008). PreLingua: una herramienta para el desarrollo del pre-lenguaje. *Actas V Jornadas en Tecnologías del Habla*. Bilbao, España.

Rodríguez, W. R., y Lleida E., (2009). Formant estimation in children’s speech and its application for a spanish speech therapy tool. *Proceedings of the Workshop on Speech and Technologies in Education*. Wroxall Abbey Estates, U.K.

Saz, O., Rodríguez W. R., Lleida E., Vaquero C., y Escartín A., (2008). COMUNICA: Plataforma para el desarrollo, distribución y evaluación de herramientas logopédicas asistidas por ordenador. *Actas V Jornadas en Tecnologías del Habla*. Bilbao, España.

SpeechViewer III, (1997). Visualizador Fonético desarrollado por IBM. Actualmente sin soporte ni versiones recientes.

White, P., (1999). Formant frequency analysis of children’s spoken and sung vowels using sweeping fundamental frequency production. *Journal of Voice*, (13), 14, 570-582.

Whiteside, S. P., (2001). Sex-specific fundamental and formant frequency patterns in a cross-sectional study. *Journal of Acoustical Society of America*. 110(1), July, 464-478.

Voice Games, (2010). Herramienta para terapia de voz desarrollada por KayPentax. Recu-

perado en Junio 18, 2010. <http://www.kaylemetrics.com>

Vox Games, (2010). Herramienta para terapia de voz y habla desarrollada por CTS Informática de Brazil. Recuperado en Julio 15, 2010. <http://www.ctsinformatica.com.br>