

LA ELECTROGLOTOGRAFÍA EN EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA SONORA DE LAS LENGUAS

DOROTA T. SZMIDT
Universitat de Barcelona
dszmidt@ub.edu

RESUMEN

El análisis de la estructura sonora de las lenguas es una de las áreas más importantes de la fonética puesto que, en la producción del habla, la articulación supraglotal se coordina con la glotal. En este estudio explicamos brevemente en qué consiste esta coordinación y qué resultados ha tenido hasta este momento su análisis en el establecimiento del contraste de sonoridad en diversas lenguas. Describimos los métodos que se van utilizando para este análisis y en particular la técnica de la electroglotografía que nos ha servido para estudiar los grupos consonánticos simples intervocálicos iniciados por consonantes fricativas en polaco. Presentamos los resultados alcanzados con esta técnica.

Palabras clave: *sonoridad, articulación glotal, electroglotografía, fricativa, polaco.*

ABSTRACT

The analysis of the language voicing structure is one of the most important domains in phonetics as, in the speech production, the supraglottal and glottal articulations are coordinated with each other. In this study, we explain briefly what this coordination consist of and the results its analysis has so far led to in establishing the contrast of voicing in various languages. We describe the methods which are being employed in this analysis and, in particular, the technique of electroglotography, which has been used to study the simple intervocalic consonantal groups initiated by fricatives in Polish. We present the results obtained with this technique.

Keywords: *voicing, glottal articulation, electroglotography, fricative, Polish.*

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de la estructura sonora de las lenguas es una de las áreas más importantes dentro de los estudios fonéticos dado que los sonidos del habla son el resultado de la actividad coordinada de dos estructuras que forman parte del aparato fonador humano: la cavidad glotal y la cavidad supraglotal. Uno de los rasgos fonéticos que caracterizan los fonemas: el de [+sonoro] / [-sonoro] se refiere precisamente a la actividad de los pliegues vocales situados en la cavidad glotal. El [+sonoro] refleja el resultado auditivo de la vibración de los pliegues y el [-sonoro] la falta de las vibraciones. La decisión de si una lengua tiene en su sistema el contraste de sonoridad o si este contraste se tendría que expresar en otros términos es uno de los problemas más discutidos. De cualquier modo es necesario un estudio fonético exhaustivo de la sonoridad para tener una base que permita tales consideraciones. Las implicaciones fonológicas de los fenómenos fonéticos de sonoridad nos sugirieron la idea de llevar a cabo un análisis acústico detallado de la sonoridad en los grupos consonánticos, concretamente en la lengua polaca¹. Para este análisis utilizamos la técnica de la electroglotografía (EGG). En este artículo, a modo de introducción, presentamos brevemente las bases articulatorias de la articulación glotal y también los estudios acústicos más importantes, orientados al establecimiento del contraste de sonoridad. A continuación describimos las técnicas que se utilizan en el análisis de la sonoridad y damos un ejemplo del empleo de una de ellas, la EGG, en el estudio de la coordinación entre las articulaciones glotal y supraglotal en los grupos simples de las consonantes fricativas polacas.

1.1. Las características articulatorias de la sonoridad

El aire expulsado de los pulmones por la acción de los músculos responsables de la respiración y de la manipulación de la actividad fonatoria pasa por las dos cavidades que trabajan de manera coordinada en la producción de los sonidos del habla: la cavidad glotal y la cavidad supraglotal. La actividad glotal es la fuente de la energía sonora. Para que se produzca la sonoridad se tienen que dar las siguientes condiciones: los pliegues vocales tienen que estar ajustados y tensos y la

¹ Pretendíamos aportar datos empíricos sobre los parámetros que intervienen en la sonoridad y, de esta forma, contribuir a establecer criterios claros en las generalizaciones sobre la distribución de la sonoridad, el análisis de las asimilaciones y la transparencia de las sonantes en los grupos consonánticos complejos, tal como se apuntaba en Castellví y Szmidt 2002 y Castellví 2003.

caída en la presión transglotal tiene que superar el umbral que varía como función de la resistencia glotal. Esta caída de la presión se produce por la salida del aire de los pulmones. Con la glotis abierta, el aire impulsado por la contracción del volumen pulmonar pasa a través de la laringe y del tracto vocal. Cuando la glotis está cerrada bloqueando de esta manera el paso de aire hacia las cavidades supraglotales, la presión en la zona subglotal crece y se observa un progresivo aumento de la diferencia transglotal. En cada ciclo de las vibraciones de los pliegues vocales, juntados y tensos, se distinguen las siguientes fases: a) el aumento gradual de la presión subglotal, b) la llegada de la presión al umbral y la separación de los pliegues en el sentido vertical desde abajo, c) apertura total de la glotis con el paso de aire hacia el tracto vocal, d) los pliegues empiezan a cerrar la glotis de nuevo en un gesto más rápido que el de la apertura, cosa que produce una excitación acústica del tracto vocal, e) el ciclo vuelve a empezar: la excitación del tracto vocal por los pliegues vocales da una señal que es el correlato acústico de la sonoridad².

Aunque existan interacciones anatómicas entre la zona glotal y la supraglotal, los gestos glotales son, hasta cierto punto, independientes en el tiempo de los gestos supraglotales. El mayor condicionante físico de su coordinación es que la sonoridad puede ser prolongada tan sólo mientras exista suficiente caída de la presión transglotal. Esto quiere decir que en la producción de los sonidos donde hay una bajada gradual en la diferencia de presión a través de la glotis, la sonoridad acaba en el momento en el que la diferencia de presión cae por debajo del nivel necesario por el componente aerodinámico de la vibración de los pliegues vocales. El aire que ya ha pasado por la glotis sigue el tracto vocal hasta las cavidades supraglotales donde, por la acción de los órganos activos y pasivos, se configuran el espacio y la forma en los que el aire las atraviesa y de los cuales resultan el punto y la manera de la articulación de los sonidos.

1.2. El análisis acústico de las articulaciones glotal y supraglotal orientado al establecimiento del contraste de sonoridad

Los sonidos del habla pueden formar parejas que tradicionalmente se considera que contrastan en el rasgo de sonoridad. Esta distinción se basa en la coordinación entre las articulaciones glotal y supraglotal en su producción. Desde el punto de

² Descripciones basadas en Kent y Read (1992), Martínez Celdrán (1994) y Stevens (1997 i 1998).

vista acústico, las consonantes que contrastan en el rasgo de sonoridad tendrían que ser distinguibles por sus patrones espectrográficos (para las sonoras tendría que haber componentes armónicos de baja frecuencia, ausentes en las obstruyentes sordas) y, sobre todo, glotográficos (pulsaciones glotales en la onda de emisión glotal). Sin embargo, esta distinción no siempre es evidente. En las lenguas como el inglés o alemán, por ejemplo, el factor de la aspiración juega un papel muy importante en el contraste de las oclusivas homorgánicas, provocando que su sonoridad se revele muy inestable. Partiendo de este hecho, para dar cuenta de las diferencias entre las oclusivas homorgánicas, numerosos fonetistas se basaron en el fenómeno de la fuerza articulatoria expresada en los rasgos fortis / lenis o tenso / laxo. Lisker y Abramson (1964) encontraron esta distinción, que se ha utilizado como base para separar las categorías homorgánicas en las oclusivas, ambigua y consideraron que las consecuencias acústicas de los desajustes temporales en las actividades glotal y supraglotal se podían estudiar juntas como manifestaciones del funcionamiento general de la duración de la sonoridad. Así, la duración de la sonoridad de la oclusiva sería el lapso de tiempo que corresponde a la diferencia entre el inicio del gesto articulatorio supraglotal y el comienzo del gesto laríngeo o glotal. Este lapso de tiempo es conocido como VOT (*Voice Onset Time*).

Los estudios que se iban haciendo sobre el VOT desde los trabajos de Lisker y Abramson (1964) han ido corroborando la idea de estos autores que el VOT era una medida muy efectiva que permitía distinguir físicamente y perceptivamente las categorías de las oclusivas homorgánicas. Según los estudios realizados, la mayoría de las lenguas permite definir su sonoridad a través del parámetro VOT, sin embargo algunas siguen presentando dificultades. Es el caso de la lengua castellana. En el estudio de Martínez Celdrán y Fernández Planas (2007), los autores demuestran que las oclusivas homorgánicas y las aproximantes españolas se perciben muy bien cuando los oyentes disponen únicamente de la pista de la duración, más larga en las sordas / tensas y más breve en las sonoras / laxas. Los autores consideran que teniendo en cuenta que la pista fonética de duración es en esta lengua la más estable para las consonantes analizadas y que la duración es una consecuencia de la tensión y no de la sonoridad, que para el español se tendría que hablar del rasgo tenso / laxo y no del sordo / sonoro. Estos postulados confirman la necesidad de un análisis profundo de la sonoridad ya que puede ser regida por reglas específicas para cada lengua.

En cuanto a las oclusivas del polaco, lengua cuyo estudio de sonoridad nos sirve de ejemplo en esta exposición, Keating (1979, 1984) considera que su VOT es

sencillo y no presenta variación alofónica. La distribución del VOT para las oclusivas sordas se sitúa normalmente en la región de las sordas no aspiradas (*short-lag*) y las sonoras presentan siempre la actividad glotal durante la oclusión (*pre-voicing*), a veces también durante la explosión (Keating 1984: 301-308).

A diferencia de las oclusivas, al aspecto de la sonoridad de las otras consonantes obstruyentes que tienen habitualmente parejas homorgánicas con distinción de sonoridad, las fricativas, se les ha dedicado hasta ahora menos atención. Los principales estudios para la lengua inglesa son los de Stevens *et al.* (1992) y de Docherty (1992), en la lengua polaca este tema no se había tratado hasta los estudios de Szmídt y Castellví (2006a, 2006b, en prensa-a y en prensa-b), efectuados utilizando la técnica EGG de la que hablaremos más adelante.

2. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE LA ACTIVIDAD GLOTALE Y SU UTILIZACIÓN EN LOS ESTUDIOS LINGÜÍSTICOS.

2. 1. Métodos indirectos de detección de la actividad glotal en el estudio lingüístico.

En los estudios de la sonoridad en las oclusivas de Lisker y Abramson (1964) se utilizaban los oscilógrafos y los espectrógrafos. La información obtenida se completaba posteriormente con los datos de la transiluminación (Lisker *et al.* 1969) y con el registro de las variaciones de la presión intra-oral durante el habla (Lisker 1970). A pesar de que los laringógrafos se fabrican ya desde varias décadas, durante mucho tiempo no se consideraban muy útiles en los estudios de lingüística. En los dos trabajos más importantes sobre la actividad glotal en las fricativas, Docherty (1992) y de Stevens *et al.* (1992), se utilizan procedimientos diferentes para establecer la frontera entre la presencia y la ausencia de las vibraciones glotales y para poder medir su duración. En Docherty (1992) se utiliza el oscilógrafo (*time waveform*) y el micrófono de nuca (*throat microphone*) cuyos sensores captan las vibraciones glotales a través del hueso y la piel de la nuca.

La frontera entre la presencia y la ausencia de las vibraciones glotales se establece mediante inspección visual de la onda captada por el micrófono de nuca. Esta onda se produce por las vibraciones glotales que se transmiten desde la laringe a la pared externa del cuello, que es donde se sitúa el micrófono. Este método, que muestra una onda de las vibraciones glotales, consiste en la captación de las vibraciones a través del hueso de la nuca, o sea indirectamente, y no ofrece ninguna valoración

de si las vibraciones presentes en la onda ya tienen valor perceptivo o no. Después de haber observado las vibraciones de fuerte periodicidad, el autor se centra en la manera de establecer la duración de la sonoridad. Para tener en cuenta las variaciones de duración de las obstruyentes, no se basa únicamente en la duración absoluta de la sonoridad dentro de los segmentos, sino que mide la duración total del segmento y calcula el porcentaje de la porción de la obstruyente acompañada de la sonoridad (Docherty, 1992: 103- 104).

En Stevens *et al.* (1992), donde para analizar la sonoridad en las fricativas se utilizan espectros, se establecen unos criterios para determinar si hay vibraciones glotales o no, basados en la diferencia en la amplitud del primer armónico entre la fricativa y las vocales adyacentes. Se mide la duración de las vibraciones glotales en las franjas fronterizas con las vocales en el lapso de tiempo hasta que la amplitud de las vibraciones cae por debajo de 10 dB respecto a la amplitud de la vocal. La selección del límite 10 dB está basada en varias consideraciones teóricas. Los umbrales de la presión transglotal entre los que la vibración glotal puede tener lugar se sitúan desde 3 hasta 8 cm H₂O. Si la presión transglotal cae de 8 cm a 3 cm H₂O, la amplitud de la vibración glotal (que es más o menos proporcional a la presión transglotal elevada a la potencia 1.5) decrece aproximadamente 13 dB antes de que cese la vibración glotal, que es mayor que el valor de 10 dB seleccionado por los autores como límite. Se observa también que las vibraciones pueden estar presentes en toda la duración de la fricativa (posiciones inicial no post-pausal y medial de palabra) o bien en ambas franjas fronterizas con las vocales adyacentes. Se mide la duración de las vibraciones glotales y la duración de los segmentos estudiados. Este sistema de la estimación de las vibraciones glotales a partir de la diferencia en amplitud del primer armónico se utilizó posteriormente en varios trabajos sobre la sonoridad (entre otros en Burton y Roblee, 1997 en el ruso).

Existen también técnicas de detección automática de la sonoridad basadas en diversos algoritmos. Estas técnicas, descritas por ejemplo por Hess (1982), reciben sin embargo críticas por tener una resolución temporal poco satisfactoria.

2.2. La detección directa de la actividad glotal en el estudio lingüístico: la electroglotografía

En el estudio de la fonación se pueden utilizar varias técnicas de detección directa de la actividad glotal, algunas de las cuales, muy efectivas en los estudios clínicos, resultan demasiado invasivas como para obtener resultados fiables en la

investigación lingüística. Se trata de las técnicas endoscópicas (con luz halógena o estroboscópica) que consisten en la introducción de un dispositivo que emita luz en la cavidad faríngea y permita el registro de las imágenes del movimiento de las cuerdas vocales. A parte de estas, en la actualidad disponemos también de la técnica de electroglotografía (EGG), una técnica no invasiva para el informante que consiste en colocarle un par de electrodos en ambos lados del cuello a la altura del cartílago tiroideos (véase la figura 1).



Figura 1. *El electroglotógrafo* (http://www.laryngograph.com/pr_procs.htm).

La electroglotografía tiene la ventaja de proporcionar la onda de la actividad glotal sin ninguna interferencia de la actividad supraglotal ni del ruido ambiental y, además, capta las vibraciones directamente desde el cartílago tiroideos. El dispositivo registra el comportamiento laríngeo a través de una medida del cambio en la impedancia eléctrica que se produce a través de la laringe durante el habla. Una corriente eléctrica de bajo voltaje e intensidad (fisiológicamente no nocivo) pasa entre los dos electrodos. El generador de la señal provee los electrodos de una corriente sinusoidal de frecuencia alterna entre 300 kHz y 5 MHz. Esta frecuencia es suficientemente alta para que la corriente pase por la piel, menos conductora. El electrodo sensible detecta la corriente cuando esta pasa a través de la laringe y la piel. La señal recibida está modulada por el circuito detector y almacenada en el ordenador. La rápida variación en la conductividad está causada por el movimiento de los pliegues vocales. Cuando estos están separados, la impedancia eléctrica transversal es alta, ya que la del aire es mucho más alta que la del tejido. Mientras los pliegues se acercan el uno al otro y el contacto entre ellos aumenta, la impedancia baja y la corriente entre las estructuras de la laringe crece. La amplitud de la señal cambia a causa de la variación permanente en el contacto entre los pliegues vocales (Colton y Colture 1990, Hirose 1997). El electroglotograma

presenta una onda que refleja esta variación en la amplitud. El aparato CSL de Kay Elemetrics, al cual se acopla el electroglotógrafo, ofrece adicionalmente la posibilidad de visualizar las marcas de los impulsos glotales audibles, que eliminan las vibraciones, la amplitud de las cuales no es suficientemente grande para tenerlas en cuenta en las medidas de la sonoridad.

3. UN EJEMPLO DE LA UTILIZACIÓN DEL EGG: EL ESTUDIO DE LA SONORIDAD EN LOS GRUPOS CONSONÁNTICOS DE LA LENGUA POLACA

Utilizamos la técnica EGG en el trabajo sobre la coordinación entre las articulaciones glotal y supraglotal en los grupos consonánticos polacos iniciados por la obstruyente cuyo aspecto de sonoridad ha sido menos estudiado que el de la oclusiva. Se trata de la consonante fricativa. Los grupos analizados eran de tipo simple intervocálico y comprendían *fricativa + nasal* (Szmidt y Castellví, 2006a, 2006b) y *fricativa + rótico* (Szmidt y Castellví, 2007). Se analizaron también las fricativas solas en posición intervocàlica para servir de punto de referencia en la comparació con las fricativas en los grupos consonánticos (Szmidt y Castellví, en prensa).

El análisis de la sonoridad en las consonantes se hizo desde perspectiva distinta a la que presentan los trabajos antes mencionados (como Stevens *et al*, 1992, Docherty, 1992). No se hicieron mediciones absolutas de la duración de las vibraciones glotales en un segmento, ya que el interés se centró en saber cual era el comportamiento glotal a lo largo del segmento, en qué franja del segmento se producía la pérdida de las vibraciones y si la variación observada tenía relación con algún factor como la duración del segmento, su punto de articulación, su sonoridad subyacente, su contexto, etc.

Es evidente que la asincronía entre las actividades glotal y supraglotal hace que sea inadecuado utilizar como criterio de delimitación de segmentos sordos y sonoros la ausencia o la presencia de vibraciones de baja frecuencia en la onda sonora. Es, pues, necesario disponer de la información más exacta posible sobre su realización supraglotal por un lado y la realización glotal por el otro. Con el objetivo de utilizar las medidas simultáneas de las actividades glotal y supraglotal se ha utilizado el electroglotógrafo acoplado a un oscilógrafo y a un espectrógrafo en el sistema CSL de Kay-elemetrics modelo 4300 B que funciona utilizando el sistema

MS-dos³. El electroglotógrafo ha permitido obtener medidas temporales y de intensidad de las vibraciones glotales con una alta precisión y su acoplamiento al oscilógrafo y al espectrógrafo ha ofrecido la posibilidad de ver de manera sincronizada la actividad supraglotal. Esta triple información ha sido muy útil no solamente para establecer con exactitud los patrones de sonoridad en las fricativas sino también para detectar la existencia y determinar la naturaleza sonora de los fenómenos intermedios que se producen entre una fricativa y una nasal y una fricativa y un rótico.

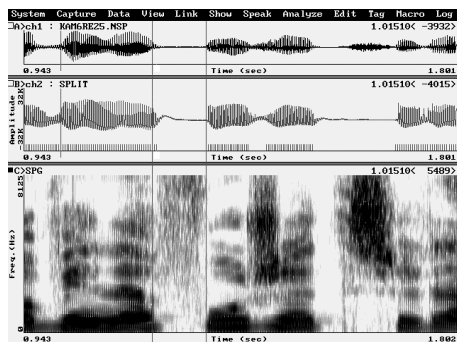
A partir de la onda EGG, el CSL hace un recuento de los impulsos glotales audibles. Se considera que hay ausencia de las vibraciones audibles cuando el electroglotograma no presenta estos impulsos. A partir de las indicaciones del electroglotograma y las del oscilograma y del espectrograma que nos permitían la segmentación, se observó que las fricativas labiodentales y apicodentales presentaban 4 patrones que correspondían a la actividad glotal realizada en las consonantes fricativas intervocálicas y en las fricativas iniciales de grupos:

1. patrón 1- ausencia de vibraciones glotales en toda la duración del segmento
2. patrón 2- presencia de vibraciones glotales en toda la duración del segmento
3. patrón 3- ausencia de vibraciones glotales a partir de la mitad del segmento
4. patrón 4- ausencia de vibraciones al centro del segmento.

3.1. Establecimiento de los patrones de sonoridad en las fricativas.

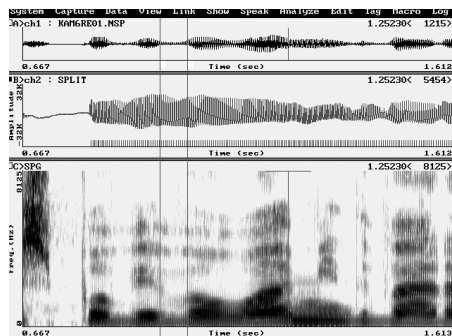
Las figuras 2, 3, 4, y 5 presentan los cuatro patrones de sonoridad que se dieron en las fricativas polacas. Los ejemplos se refieren a las fricativas intervocálicas, pero las fricativas en los grupos consonánticos presentaron los mismos patrones.

³ Como pudimos constatar posteriormente, esta información tiene una importancia crucial, ya que las variables del registro de la señal no son las mismas en todos los modelos del CSL y no todos ellos ofrecen las óptimas condiciones para la lectura de la señal registrada.



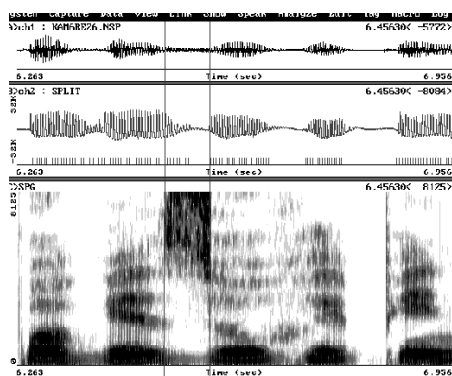
f u z e

Figura 2. Oscilograma, EGG y espectrograma de la secuencia «furze», el patrón 1 en la fricativa labiodental /-sonoro/.



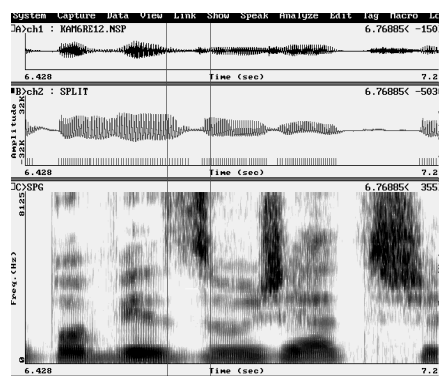
v o w a m i

Figura 3. Oscilograma, EGG y espectrograma de la secuencia «wolami», el patrón 2 en la fricativa labiodental /+sonoro/.



z u x i

Figura 4. Oscilograma, EGG y espectrograma de la secuencia «zuchy», el patrón 3 en la fricativa apicodental /+sonoro/.



z u z a

Figura 5. Oscilograma, EGG y espectrograma de la secuencia «zuzia», el patrón de sonoridad 4 en la fricativa apicodental /+sonoro/.

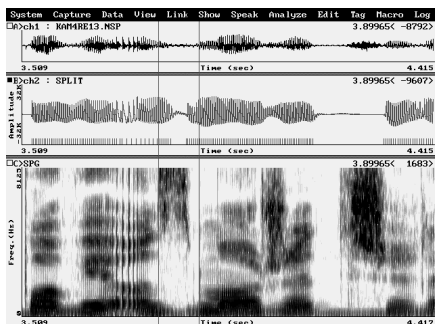
El establecimiento de estos patrones permitió observar un comportamiento glotal diferente en las fricativas de diferentes puntos de articulación. Se observó una

diferencia entre la fricativa labiodental y la apicodental en cuanto al mantenimiento de las vibraciones glotales. La labiodental presentó significativamente más casos de mantenimiento de vibraciones glotales (patrón 2) que la apicodental. En las fricativas intervocálicas se dio un 85,4 % de los casos en la labiodental y un 66,1 % en la apicodental. La fricativa apicodental polaca mostró la pérdida de las vibraciones glotales en la segunda mitad del segmento (patrón 3) con más frecuencia (un 21,3% de los casos) que la fricativa labiodental (un 2,4 % de los casos). En cuanto a la realización del patrón 4 (ausencia de vibraciones glotales al centro del segmento), en polaco es un patrón poco frecuente y no se observaron diferencias significativas entre la labiodental y la apicodental (un 2,8 % de los casos en la labiodental y un 2,3 % en la apicodental). El test *chi-cuadrado de Pearson* indicó un alto grado de dependencia entre las variables del patrón de sonoridad y el punto de articulación de la fricativa /+sonoro/ (con el $p < 0,05$, en las intervocálicas de los dos puntos de articulación sig.= 0,000) y falta de dependencia en las fricativas /-sonoro/ que presentaron el patrón 1 casi en la totalidad de los casos.

El sistema de patrones permitió también observar una diferencia significativa en las medias de duración características para cada uno de ellos. De entrada se observó la diferencia en la media de la duración de las fricativas del patrón 1 (ausencia de vibraciones glotales) y los tres patrones restantes correspondientes a la presencia de las vibraciones glotales de cobertura total o parcial del segmento. Se observó también la existencia de una diferencia entre la duración del patrón 1 (ausencia de las vibraciones glotales en toda la duración del segmento) en las fricativas /-sonoro/ y en las /+sonoro/ (totalmente ensordecidas). Tanto en la fricativa labiodental, como en la apicodental, la realización del patrón 1 dentro de las /+sonoro/ se caracterizó por un acortamiento de la media de la duración de la consonante respecto de la media de su duración en el mismo patrón dentro de las /-sonoro/ (*chi-cuadrado de Pearson*, $p < 0,05$,: en la labiodental sig.= 0,004 y en la dental sig.= 0,002) .

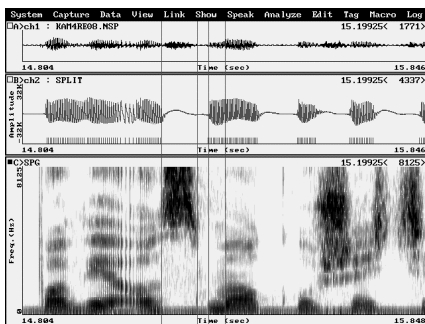
3.2. Detección de los fenómenos intermedios en los grupos *fricativa + nasal*

En los grupos *fricativa + nasal*, el oscilograma y el espectrograma no permiten apreciar la naturaleza sonora de los fenómenos de transición entre ambos segmentos. Es gracias al electroglotograma que podemos ver la presencia o la ausencia de las vibraciones glotales en el intervalo de transición entre la fricativa y la nasal. En la figuras 6 y 7 presentamos dos ejemplos de las realizaciones de los grupos *fricativa + nasal* con fenómenos intermedios.



o z int m o z e

Figura 6. *Oscilograma, EGG y espectrograma de la secuencia «o zmorze», intervalo sonoro entre la fricativa apicodental /+sonoro/ (patrón 3) y la nasal.*



o s int m o k u

Figura 7. *Oscilograma, EGG y espectrograma de la secuencia «o smoku». Se observa un intervalo sordo entre la fricativa apicodental /-sonoro/(patrón 1) y la nasal.*

En la figura 6 podemos apreciar la presencia de un intervalo sonoro (presencia de vibraciones glotales acompañadas de impulsos glotales en la imagen EGG) entre la fricativa apicodental sonora y la nasal bilabial, en cambio en la figura 7 el intervalo entre la fricativa, en este caso sorda, y la nasal no está acompañado de vibraciones glotales.

Se observó la diferencia entre los grupos de las fricativas /-sonoro/ y las /+sonoro/. Con las fricativas /-sonoro/, independientemente del punto de articulación de la fricativa, se presentó mayoritariamente el intervalo sordo. Con las fricativas /+sonoro/, se presentó la diferencia entre los grupos de las fricativas en función de su punto de articulación: la labiodental, en la mayoría de los casos, no presentó ningún intervalo, la apicodental, en cambio, presentó prácticamente el mismo número de casos de ausencia de intervalo como de su presencia sorda y de su presencia sonora.

De la misma manera que en las fricativas intervocálicas, en los grupos *fricativa + nasal*, se observó la diferencia entre la fricativa labiodental y la apicodental en el mantenimiento de las vibraciones glotales (patrón 2). La labiodental presentó significativamente más casos del patrón 2 que la apicodental (la labiodental un 84,5 % y la apicodental sólo un 55,9% de los casos). El test *chi-cuadrado de*

Pearson indicó un alto grado de dependencia entre las variables del patrón de sonoridad y el punto de articulación de la fricativa /+sonoro/ (con el $p < 0,05$, en las fricativas de los dos puntos de articulación $\text{sig.} = 0,001$) y falta de dependencia en las fricativas /-sonoro/ que presentaron el patrón 1 casi en la totalidad de los casos.

3.3. Detección de los fenómenos intermedios en los grupos *fricativa + rótico*. La sonoridad del rótico

En relación al rótico en posición de contexto posterior de la fricativa, el análisis mostró que generalmente está precedido de un vocoide, indicado claramente tanto en el oscilograma y en el espectrograma como en la onda glotal. En principio, este vocoide se podría considerar una parte constituyente del rótico, pero, teniendo en cuenta que la lengua polaca presenta diversos alófonos del rótico (Łobacz, 2000), en este trabajo el vocoide se consideró un fenómeno fronterizo y se determinó con qué frecuencia aparecía, cuál fue su sonoridad y si estaba relacionada con la sonoridad de la fricativa que le precedía. En el material analizado, el rótico se realizó en la gran mayoría de los casos como un *bategante*, es decir, un único y breve cierre, precedido de un vocoide.

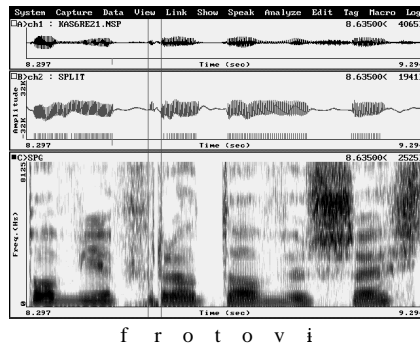


Figura 8. Oscilograma, electroglotograma y espectrograma de la secuencia «frotowy».

En la figura 8 presentamos uno de los casos donde la onda EGG permitió tomar la decisión respecto de la realización glotal del rótico. En el grupo *fricativa labiodental sorda + rótico*, se aprecia la realización sorda de la fase de oclusión

del rótico precedida de un vocoide cuyas vibraciones glotales no son audibles (falta de impulsos glotales en la imagen EGG).

De la misma manera que en las fricativas intervocálicas y en las de los grupos *fricativa + nasal*, en las fricativas de los grupos con el rótico se observó una diferencia entre la labiodental y la apicodental en cuanto al mantenimiento de las vibraciones glotales. La labiodental presentó significativamente más casos de mantenimiento de vibraciones glotales que la apicodental (la labiodental un 81,4 % y la apicodental un 57,8 % de los casos). El test *chi-cuadrado de Pearson* indicó un alto grado de dependencia entre las variables del patrón de sonoridad y el punto de articulación de la fricativa /+sonoro/ (con el $p < 0,05$, en las fricativas de los dos puntos de articulación sig.= 0,000) y falta de dependencia en las fricativas /-sonoro/ que presentaron el patrón 1 en casi la totalidad de los casos.

El rótico presentó el mantenimiento de las vibraciones glotales en un 75,1 % de los casos con la fricativa labiodental y en un 91,5 % de los casos con la fricativa apicodental.

El ensordecimiento del rótico se observó en un 17,2 % de los casos con la labiodental y en un 6,1 % de los casos con la apicodental. Con la fricativa labiodental /-sonoro/ presentó más casos de ensordecimiento (un 27,9 %) que con la fricativa apicodental /-sonoro/ (un 8,8 %). En los grupos de las fricativas /+sonoro/, los casos de ensordecimiento del rótico se produjeron siempre después de una fricativa ensordecida y fueron más frecuentes con la fricativa labiodental (un 8,2 %) que con la fricativa dental (un 3,0 %).

4. CONCLUSIONES

La técnica EGG utilizada en los trabajos sobre la coordinación entre las articulaciones glotal y supraglotal en las fricativas intervocálicas y los grupos consonánticos *fricativa + sonante* en polaco ha sido útil para observar la realización glotal en todo el transcurso de los segmentos estudiados y establecer los patrones de esta realización. Tanto en las fricativas intervocálicas como en las de los grupos consonánticos simples intervocálicos, se observaron cuatro patrones de realización glotal: 1. ausencia de vibraciones glotales en toda la duración del segmento, 2. vibraciones glotales continuas en toda la duración del segmento, 3.

vibraciones glotales hasta la mitad del segmento, 4. ausencia de vibraciones glotales en el centro del segmento. Se pudo relacionar estos patrones con la duración de las fricativas obteniendo algunos resultados interesantes. Entre ellos, el acortamiento de la duración del segmento en el caso del patrón 3, o sea de la pérdida de las vibraciones glotales en la segunda mitad del segmento, respecto al patrón 2 (vibraciones continuas en todo el segmento) que presentaron tanto la fricativa labiodental como la apicodental. En las fricativas intervocálicas se observó una diferencia significativa en la duración del patrón 1 (ausencia de vibraciones glotales en toda la duración del segmento) de las fricativas subyacentemente /-sonoro/ y de las subyacentemente /+sonoro/ (ensordecidas). Las /+sonoro/ presentaron un acortamiento de la duración respecto a la duración de las /-sonoro/. Este fenómeno del acortamiento de la duración que acompaña la pérdida de las vibraciones glotales, parcial como en el caso del patrón 3 o total como en el caso del patrón 1 en las /+sonoro/, podría ser un procedimiento compensatorio para mantener la percepción de sonoridad ya que la menor durada del segmento es una importante pista de sonoridad. Comparativamente, la pérdida de vibraciones glotales en el centro del segmento, que representa solamente una tercera parte de su duración con el mantenimiento de las vibraciones cerca de las dos fronteras de la fricativa, no provocó cambio significativo en ésta, indicando que ese tipo de pérdida no debe ser suficientemente importante como para provocar acortamientos compensatorios de la duración del segmento.

En cuanto a los grupos consonánticos simples *fricativa + nasal*, la técnica EGG permitió observar 3 tipos de fenómeno en la frontera entre los dos miembros del grupo: ausencia de intervalo entre la fricativa y la nasal, presencia de un intervalo sordo y presencia de un intervalo sonoro. Se observó la diferencia entre los grupos de las fricativas /-sonoro/ y las /+sonoro/. Con las fricativas /-sonoro/, independientemente del punto de articulación de la fricativa, se presentó mayoritariamente el intervalo sordo. Con las fricativas /+sonoro/, se presentó la diferencia entre los grupos de las fricativas en función de su punto de articulación: la labiodental, en la mayoría de los casos, no presentó ningún intervalo, la apicodental, en cambio, presentó prácticamente el mismo número de casos de ausencia de intervalo como su presencia sorda y su presencia sonora.

En el grupo *fricativa + rótico*, gracias a la técnica EGG se pudo observar los detalles de los tipos de las realizaciones del rótico y, por consiguiente, relacionarlos con la sonoridad subyacente de la fricativa y con su punto de articulación. En estos grupos se observaron tres realizaciones del rótico: presencia de un vocoide en su inicio, ausencia del vocoide y ausencia del vocoide acompañada de un ensordecimiento del rótico. En la gran mayoría de los casos se

observó una alta incidencia de la aparición del vocoide, tanto con la fricativa labiodental como con la apicodental, la dependencia de su duración del punto de articulación de la fricativa (el vocoide es más largo después de la fricativa apicodental que después de la labiodental).

Los resultados del estudio presentado mostraron que el comportamiento sonoro de una fricativa o una sonante en depende de diversos factores, como son el punto de articulación, el contexto en el que se encuentra (hay variaciones importantes según si se trata de una fricativa labiodental o apicodental, si la sonante es una nasal o un rótico, etc.). En líneas generales, estas observaciones siguen las que se presentaron en Castellví y Szmidi (2002) donde se demostraba que el ensordecimiento del rótico en los grupos complejos se produce entre un 33% y un 50% de los casos, apoyando el punto de vista que no se puede tratar uniformemente los róticos y las nasales en las asimilaciones de sonoridad por el hecho de que sean sonantes. En esta perspectiva, las generalizaciones sobre la transparencia de las sonantes en los grupos consonánticos complejos en las asimilaciones de sonoridad són, como mínimo, poco precisas.

Tal como advertíamos en la nota 4, los análisis de la actividad glotal con la técnica EGG para fines lingüísticos no siempre son posibles debido a la necesidad de disponer de un sistema de registro y lectura de la señal EGG adecuado. Como pudimos constatar en el Laboratori de Fonética de la Universidad de Barcelona, la conexión del electroglotógrafo al CSL modelo 4500 provocó serios errores en la lectura de los datos registrados.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BURTON, M. W. y K. E. ROBBLEE (1997): «A phonetic analysis of voicing assimilation in Russian», *Journal of Phonetics*, 25, pp. 97-114.
- CHO, T. y P. LADEFOGED (1999): «Variation and universals in VOT: evidence from 18 languages», *Journal of Phonetics*, 27, pp. 207-229
- COLTON, R. H. y E. COLTURE (1990): «Problems and Pitfalls of Electroglottography», *Journal of Voice*, Vol. 4, pp. 10-24.
- DOCHERTY, G. J. (1992): *The timing of voicing in British English obstruents*, Netherlands Phonetic Archives, Foris Publications.

- FANT, G. (1970): *Acoustic Theory of Speech Production*, Mouton, The Hague.
- HESS, W. (1982): *Pitch Determination of Speech Signals*, Berlin, Verlag.
- HIROSE, H. (1997): «Investigating the Physiology of Laryngeal structures», en J. Laver y W. J. Hardcastle (eds): *The handbook of phonetic sciences*, Oxford, Blackwell, pp. 116-136.
- KENT, R. D. y CH. READ (1992): *The Acoustic Analysis of Speech*, San Diego, Singular Publishing Group.
- KEATING, P. A. (1979): *A Phonetic Study of a Voicing Contrast in Polish*, tesis doctoral inédita, Brown University.
- KEATING, P. A. (1984): «Phonetic and Phonological Representation of Stop Consonant Voicing», *Language*, 60, pp. 286-319.
- LADEFOGED, P. y T. CHO (2001): «Linking linguistic contrasts to reality: The case of VOT», *Travaux Du Cercle Linguistique De Copenhague*, vol. XXXI (En honor de Eli Fischer-Jorgensen), C.A. Reitzel, Copenhagen, pp. 212-225.
- LISKER, L. y A. S. ABRAMSON (1964): «A cross-language study of voicing in initial stops: acoustical measurements», *Word*, 20, pp. 384-422.
- LISKER, L.; F. S. COOPER y M. H. SCHVEY (1969): «Transillumination of the larynx in running speech», *Journal of the Acoustical Society of America*, 45, pp. 1544-1546.
- LISKER, L. (1970): «Supraglottal air pressure in the production of English stops», *Language and Speech*, 13, pp. 315-330.
- LOBACZ, P. (2000). «The Polish Rhotics. A Preliminary Study in Acoustic Variability and Invariance», *Speech and Language technology*, 4, Poznan, Polish Phonetics Association.
- MARTINEZ CELDRÁN, E. (1994): *Fonética*, Teide, Barcelona.
- MARTÍNEZ CELDRÁN, E. y A. M. FERNÁNDEZ PLANAS (2007): *Manual de fonética española*, Ariel Lingüística, Barcelona.

- STEVENS, K.; S. BLUMSTEIN; S. GLICKSMAN; M. BURTON y K. KUROWSKI (1992): «Acoustical and perceptual characteristics of voicing in fricatives and fricative clusters», *Journal of the Acoustical Society of America*, 91, pp. 2979-3000.
- STEVENS, K. N. (1997): «Articulatory-Acoustic-Auditory Relationships», en J. Laver y W. J. Hardcastle (eds): *The handbook of phonetic sciences*, pp. 462-506.
- STEVENS, K. N. (1998): *Acoustic Phonetics*, Cambridge, MIT Press.
- SZMIDT, D. T. y J. CASTELLVÍ (2006a): «Los grupos fricativa + nasal del polaco. Realización sonora y fenómenos intermedios», *Estudios de Fonética Experimental*, XV, pp. 67-97.
- SZMIDT, D. T. y J. CASTELLVÍ (2006b): «La coordinació entre les articulacions glotal i supraglotal en els grups consonàntics fricativa+sonant intervocàlics del polonès», *Actes del VII Congrés de Lingüística General*, Barcelona, pp. 67-97.
- SZMIDT, D. T. y J. CASTELLVÍ (en prensa): «La sonoritat de les fricatives intervocàliques del polonès», *Estudios de Fonética Experimental*.
- SZMIDT, D. T. y J. CASTELLVÍ (2007): «Coordination of glottal and supraglottal articulations in fricative + rhotic polish clusters», *Studia Phonetica Posnaniensia*, vol. 8, pp. 91-109.