

**SOBRE LA RELACIÓN ENTRE EL USO DE LOS
FONEMAS VOCÁLICOS Y FACTORES ACÚSTICO-
ARTICULATORIOS: PRIMEROS RESULTADOS.**

M^a ANGELES ANDREU ANDRÉS (*).

*Departamento de Idiomas.
Universidad Politécnica de Valencia.*

MIGUEL GARCÍA CASAS (*).

*Seminario de Ciencias Naturales.
Instituto de Bachillerato Mislata. Valencia.*

(* *por orden alfabético*)

RESUMEN

En español se ha procedido a comprobar la posible existencia de una relación estadísticamente significativa entre el primer y segundo formante y los movimientos verticales del cartílago tiroides durante la articulación de los fonemas vocálicos, con la frecuencia con que éstos se presentan en fragmentos de novela y teatro. El primer y segundo formante muestran relaciones estadísticamente significativas con la frecuencia de uso de los fonemas vocálicos, según el modelo de regresión lineal simple. El primer formante predice con notable precisión la frecuencia de /i,o,a/, sin embargo para /e/ los valores esperados son menores a los observados, al revés que para /u/. En cuanto al segundo formante, la frecuencia esperada de los fonemas cerrados -/i,u/- es superior a la observada, mientras sucede lo contrario con /e,a,o/. Para los grados de libertad de los cálculos realizados en la regresión lineal simple, no hemos podido demostrar la existencia de relaciones estadísticamente significativas entre los desplazamientos del cartílago tiroides y la frecuencia de uso de los fonemas vocálicos. No obstante se ha comprobado que existe una relación entre el movimiento vertical del cartílago al pronunciar el fonema vocálico, con el primer y segundo formante.

ABSTRACT

It has been checked the possible existence of a statistically significant relation between the first and second formants of the Spanish vowels and the vertical movement of the thyroid cartilage during the articulation of the vowel phonemes with the frequency with which these phonemes appear in novels and theatre extracts. The first and second formant predict quite accurately the frequencies of /i,o,a/, nevertheless for /e/ the expected values are fewer than the observed ones, and the other way round for /u/. Regarding the second formant, the expected frequency of the close phonemes /i,u/ is superior to the observed ones, whereas it happens the opposite with /e,a,o/. For the degrees of freedom of the calculation made in the simple linear regression we cannot prove the existence of statistically significant relations between the movements of the thyroid cartilage and the frequency of occurrence of the vowel phonemes. Nevertheless it has been proved the existence of a relation between the vertical movement of the cartilage when pronouncing a vowel phoneme and the first and second formant.

1. INTRODUCCIÓN

¿Por qué unos fonemas vocálicos son más utilizados que otros?, ¿pueden estar implicados en el fenómeno factores de naturaleza acústica o articulatoria?. Estas preguntas constituyen el eje central de la línea de investigación sobre la que trabajamos desde hace un tiempo y sobre la que nos encontramos en disposición de dar a conocer los primeros resultados obtenidos.

A un nivel teórico, previo a la experimentación, podríamos discutir sobre el papel de las variables lingüísticas que afectan a la percepción, a la articulación o a la energía (frecuencia e intensidad de los formantes), sobre la modelación de la lengua, pero nunca deberíamos olvidar un aspecto a tener presente, y es que la energía se introdujo originalmente como una magnitud teórica para conseguir que los físicos pudieran describir de manera más sencilla los fenómenos mecánicos y termodinámicos. En este sentido no es raro poder explicar un sistema de manera más simple a partir de parámetros energéticos, aunque posteriormente la dificultad mayor surja intentando encontrar la proyección de esa energía sobre los planos más inmediatos del habla.

También es cierto que existe una gran dependencia entre los fenómenos articulatorios y los parámetros acústicos, de hecho la teoría de autómatas es capaz de obtener a partir de datos acústicos y de modelos de predicción lineal, las posiciones articulatorias del aparato fonador.

En este trabajo hemos intentado explicar el uso numérico de los cinco fonemas vocálicos castellanos a través de un conjunto híbrido de variables energéticas (acústicas) y articulatorias. Así se han escogido cuatro variables independientes que son las siguientes:

1. Dos variables energéticas:

- A. Frecuencia del primer formante. F_1 .
- B. Frecuencia del segundo formante. F_2 .

2. Dos variables articulatorias:

- A. Desplazamiento vertical del cartílago tiroideo. h_{1a} .
- B. Desviación respecto de la posición central del cartílago tiroideo. d_{1a} .

Quilis (1981:60), señala que los sonidos del lenguaje, que son ondas acústicas, necesitan una fuente de producción. Según este autor *hay tres tipos distintos de fuentes de producción. Una es la fuente que produce los sonidos sonoros: se origina gracias a los impulsos de la corriente de aire al pasar a través de la glotis puesta en vibración. Otra es la que produce el ruido como un efecto secundario de la turbulenta corriente de aire al pasar a través de las constricciones, como ocurre con las fricativas o en las aspiradas. Otra fuente de producción es la que ocurre cuando se libera el aire comprimido por una obstrucción del conducto vocal, como ocurre al principio de la explosión de las consonantes oclusivas (...)*

Los sonidos vocálicos, objeto de esta investigación, se producen por excitación acústica del tracto fonatorio, teniendo la glotis como fuente de excitación. Tal y como señala Borzone (1980:91) *la glotis constituye una fuente de pulsos periódicos que excitan las frecuencias de resonancia naturales del tracto. A estas frecuencias las hemos llamado formantes (...)*

Flanagan y House (1956), interpretan el formante como la forma natural de vibración del tracto y definen la frecuencia del formante como la frecuencia de este modo de vibración.

Dado que el tracto vocal es un sistema de filtros o cavidades resonantes, puede concluirse que los formantes son las resonancias del tracto.

Como se ha visto la glotis constituye la fuente de impulsos periódicos o ciclos. El número de ciclos que un sonido cumple en la unidad de tiempo representa su frecuencia. La frecuencia se suele representar en ciclos por segundo o cps, en hertz o hertzios (hz), o en kilohertzios (khz).

A estas alturas de la investigación fonética muchos autores han trabajado sobre los formantes¹, por ejemplo Ramón y col. (1979-1980), en ambos trabajos extraen los formantes de un alto número de informantes.

En Fonética Acústica se habla en general de 4 formantes vocálicos, de los que el primero y el segundo son indispensables para la percepción de la vocal, siendo por ello, los responsables de la diferenciación vocálica. Según Delattre (1958:244,246) también en Quilis (1981) y en Petitot-Cocorda (1985), los dos primeros formantes bastarían para caracterizar el timbre de

¹ Quilis (1981:175) da a pie de página referencias de una bibliografía abundante sobre vocalismo y formantes.

todas las vocales, para asegurar su percepción. De estos formantes el que tiene mayor importancia en la inteligibilidad vocálica es el segundo; el primero juega un papel más secundario en la comprensión de las vocales, ya que no refleja más que una similitud entre grupos de fonemas². El tercer formante juega un papel más importante en las vocales que tienen el segundo formante a una frecuencia elevada. Delattre et al. (1952) han demostrado que para reproducir por síntesis la cualidad fonética de un sonido vocálico, es suficiente con los dos primeros formantes.

Ramón y col (1980), concluyen también que son el primer y el segundo formante los que caracterizan a las vocales, mientras que ni el tercero ni el cuarto determinan las cualidades fonéticas de los sonidos vocálicos. Quilis (1981) señala que el tercero y el cuarto son más propios del individuo por depender de la configuración faringo-bucal del sujeto.

Laitman (1986:1185) al hablar del origen del lenguaje articulado indica que es la bajada de la laringe humana la que ha permitido el lenguaje articulado, y así señala (...) *nuestros estudios han puesto de manifiesto que el tracto respiratorio superior de los neonatos y en la primera infancia es muy parecido al tipo general hallado en la mayoría de los mamíferos. Como los primates no humanos, la laringe del niño se localiza en una posición elevada del cuello, a la altura de la base occipital o de las tres primeras vértebras cervicales. La cinematografía con rayos X permite apreciar que los neonatos y los niños muy pequeños respiran, tragan y vocalizan de manera idéntica a los monos. Por lo que hace a la anatomía del tracto respiratorio superior, puede decirse que desde el punto de vista funcional, los neonatos humanos presentan la misma que los monos. (...) Hasta la edad de un año y medio o dos la posición de la laringe del niño sigue elevada en el cuello, similar a la de cualquier otro mamífero. Luego, a partir de determinado momento, alrededor de los dos años empieza a descender, descenso que modifica espectacularmente la manera de respirar, deglutir y emitir sonidos. ¿Cuándo y cómo se efectúa exactamente este cambio?. Es un misterio (...). Y aunque el desarrollo de este tracto presente todavía muchos aspectos oscuros, lo cierto es que el resultado final es que la laringe queda situada en una posición mucho más baja que en el resto de los demás mamíferos, en el adulto concretamente a la altura de las vértebras cervicales 4 a 7.*

En este caso singular de posición baja de la laringe, la epiglotis ya no puede alcanzar el velo del paladar, y por tanto, tampoco intervenir en el

2. El primer formante, F₁, muestra frecuencias similares en /i/ y /u/, también en /o/ y /e/.

fondo de la cavidad nasal para separar las vías de la deglución de las de la respiración. Pasados los primeros años de vida, las vías digestivas y respiratorias del ser humano se cruzan por encima de la laringe (...). No cabe duda de que el entrecruzamiento de las vías digestivas y respiratorias es negativo si se considera el problema en términos evolutivos o de desarrollo de la eficacia de la respiración y la digestión. Pero, en compensación, el descenso de la laringe produce una conformación anatómica de valor extremadamente positivo: una cámara faríngea muy desarrollada encima de las cuerdas vocales, gracias a la cual los sonidos emitidos por la laringe pueden ser modificados, mucho más que en el neonato humano o en los demás mamíferos. Es esta expansión de la faringe la clave de nuestra capacidad de producir toda la riqueza sonora del lenguaje articulado...

Es pues el primer desplazamiento que realiza la laringe durante el desarrollo del niño el responsable de que aparezca el lenguaje articulado. Sin embargo su papel no termina aquí. Scotti di Carlo (1990:457,458) ha estudiado los movimientos de la laringe en los cantantes de ópera, señala que la laringe está rodeada por una red muscular (...) destinada a sujetarla a la vez que le deja una movilidad suficiente para poder efectuar movimientos verticales durante la respiración, la deglución y la fonación. (...) El hueso hioides, el único hueso aislado del esqueleto, es una estructura anatómica extremadamente móvil por estar unida a la laringe (a través de la membrana tirohioidea), a la lengua (de la que constituye en parte la armazón osteofibrosa), y a la mandíbula, el occipucio, el esternón, la clavícula y el omóplato.

Esta situación privilegiada lo convierte en un elemento capital. Por medio de él el cantante podrá controlar indirectamente la movilidad de su laringe utilizando elementos anatómicos (por ejemplo, la lengua, la mandíbula o el occipucio) sobre las cuales pueden actuar de forma consciente (...) En la emisión del registro agudo, la laringe está más o menos alta respecto a su posición de reposo, debido a la contracción más o menos importante de los músculos elevadores (...). En la emisión del registro grave, la laringe está en posición baja porque los músculos que la unen a la caja torácica están contraídos...

No es difícil asumir que los cantantes de ópera usan de un modo "especial" movimientos que de manera normal utilizamos todos.

Según los rasgos de gravedad y agudeza los sonidos vocálicos pueden clasificarse como:

A. Agudos [e] [i]

- B. Graves [o] [u]
- C. Neutros [a]

Si se aplican los movimientos de la laringe a la emisión de los sonidos vocálicos tendremos que la laringe se eleva al elevarse la lengua y emitir tanto [e] como [i], y retrocede al retroceder la lengua y pronunciar la vocal [o] y la [u], quedando en una posición intermedia con la lengua relajada a la hora de emitir [a].

Se han realizado trabajos como el de Wakita (1977), para tratar de establecer la longitud del tracto en la pronunciación de las vocales. No obstante en este apartado no ha querido plantearse el conocimiento de la longitud total del tracto, sino la captación de los movimientos que realiza la laringe.

Gili Gaya (1988), al hablar de las cualidades fisiológicas de las vocales, menciona los movimientos que la laringe y los labios efectúan durante la fonación, alargando o acortando la caja de resonancia. Sugiere que se coloquen los dedos sobre la nuez y se pronuncien las diferentes vocales para poder percibir tales desplazamientos; apunta que la laringe asciende al producir /e/, /i/ y desciende para /o/, /u/ en relación con la posición intermedia que corresponde a la /a/.

Dicho así uno puede comprobarlo, sin más, poniendo los dedos en el lugar indicado y emitiendo tales sonidos vocálicos. En este trabajo se ha comprobado lo anterior de un modo más científico y se ha verificado si tal subida o bajada mantenía alguna relación con el F₁ y el F₂ de las vocales.

Según Sataloff (1993) la laringe consta de cuatro componentes anatómicos básicos: el esqueleto cartilaginoso, los músculos intrínsecos, los músculos extrínsecos y la mucosa o capa blanda. Las partes principales del esqueleto laríngeo son el cartílago tiroides, el cartílago cricoides y los dos cartílagos aritenoides. Los músculos extrínsecos conectan estos cartílagos a otras estructuras del cuello; los músculos intrínsecos se alojan dentro de los mismos cartílagos.

Un par de músculos intrínsecos se extienden desde los cartílagos aritenoides hasta el ángulo del cartílago tiroides, justo debajo y detrás de la nuez de Adán. Estos músculos tiroaritenoides forman la masa de las cuerdas vocales; el espacio entre ellas es la glotis. En las cuerdas vocales se halla normalmente el origen de la voz humana.

Los músculos intrínsecos pueden cambiar las posiciones relativas de los cartílagos y tirar de ellos a través de una gama de movimientos. Estos cambios alteran la forma, posición y tensión de las cuerdas vocales suspendidas. El músculo cricotiroides, por ejemplo, participa en el control de la agudeza de tono al reforzar la tensión longitudinal (estiramiento) de las cuerdas vocales.

Los músculos extrínsecos suben y bajan el esqueleto laríngeo. El efecto de acordeón resultante cambia los ángulos y distancias entre los cartílagos y altera la longitud en reposo de los músculos intrínsecos. La laringe presenta una tendencia natural a subir y a bajar a medida que el tono de voz asciende y desciende.

2. MATERIAL Y MÉTODO

La frecuencia de uso de los fonemas vocálicos, que aparece como fr en abreviatura, es obtenida a partir de 30 textos de 100 palabras, transcritos fonológicamente, escogidos al azar de entre obras de literatura y teatro contemporáneo en lengua castellana. Tomamos en cuenta un nivel de análisis que asume la existencia de solo cinco fonemas vocálicos /a,e,i,o,u/. Siguiendo a Alarcos los diptongos se consideran constituidos por dos unidades monofonémicas. La tabla 1 contiene las frecuencias de presentación de los fonemas vocálicos.

Los valores de los dos primeros formantes, utilizados y mostrados en la tabla 1, están tomados de Martínez Celdrán (1984,1991), sobre datos acústicos de vocales en contexto, promediando los fonemas vocálicos tónicos y átonos.

Para medir los desplazamientos de la laringe se ha utilizado una técnica sencilla, se trata de una biometría externa, muy utilizada en zoología, que consiste en medir variables desde el exterior de los cuerpos. Gracias a la existencia en el Homo sapiens de un dimorfismo sexual a nivel del cartílago tiroideos, que está más desarrollado en el hombre que en la mujer -en el habla popular se dice que el hombre tiene nuez y la mujer no-, es posible medir el desplazamiento en los hombres del cartílago tiroideos en la emisión de vocales aisladas. Para ello se coloca una pequeña regleta paralela a la laringe, y con un pequeño marcador -que en este caso fue un simple palillo de dientes- apoyado, y presionando levemente, a la parte convexa del

cartílago. Al pronunciar la vocal el marcador se desplaza; este desplazamiento es comprobado sucesivas veces y después es anotado.

La biometría ha sido realizada en ocho varones con edades comprendidas entre los 23 y los 65 años, considerados desde el punto de vista fonatorio como normales. Los resultados expresados en milímetros quedan contenidos en la tabla 1.

Dado que el bocado de Adán y por tanto la laringe, se mueve desde el estado de reposo a una posición intermedia al pronunciar la [a], se ha tomado ésta como punto de referencia para calcular los milímetros que dicho cartílago asciende o desciende al pronunciar el resto de las vocales. A cada individuo se le hizo repetir sucesivas veces la serie [a], [e], [i] y posteriormente la serie [a], [o], [u]. Así se ha comprobado que la laringe se desplaza hacia arriba una media de 3 mm al pronunciar la [e], y de 4,62 mm al pronunciar la [i]. Por otra parte, y como queda reflejado en la tabla 1, con signo negativo, al pronunciar la [o] la laringe desciende 2,87 mm respecto a la posición neutra de la [a], mientras que en la [u] lo hace 5,5 mm. A esta variable la llamamos hla.

Por otro lado podemos tomar en cuenta de otro modo los desplazamientos medios de la laringe en las cinco vocales españolas medidas en los ocho varones, para ello tomamos los mismos valores absolutos, pero omitiendo el signo negativo correspondiente a los milímetros promedio que la laringe desciende al pronunciar [o] y [u], atendiendo, por tanto, a la movilidad de la laringe sin tener en cuenta si ésta asciende o desciende. A esta variable la llamamos dla.

Sobre los datos se han realizado dos tipos de análisis estadísticos:

1. Análisis de componentes principales.
2. Regresión lineal simple.

El análisis de componentes principales nos descubre la estructura de las variables. De esta manera un sistema complejo de relaciones se puede representar de manera sencilla en un plano bidimensional³.

³ Para los cálculos estadísticos hemos utilizado el paquete estadístico Statgraphics V.4.0.

Cada una de estas dimensiones corresponde a un vector desconocido, al que llamamos componente, que en algunos casos podemos deducir indirectamente y que en otros no, pero que nos permite representar visualmente a las variables y deducir algunas relaciones en función de su posición en el plano.

Cada componente asume un tanto por ciento de la varianza de los resultados, si los dos o tres primeros componentes acumulan un alto porcentaje de la varianza el análisis suele resultar esclarecedor.

3. RESULTADOS

La tabla 1 contiene los valores del primer y segundo formante, del desplazamiento laríngeo y de la frecuencia de acuerdo a lo expresado en el apartado de material y método.

Tabla 1.- Valores de las variables para cada fonema vocálico.

Vocal	F ₁	F ₂	dla	hla	fr
i	345,5	2197,5	4,6	4,6	869
e	461	1884	3	3	1750
a	680	1265	0	0	1704
o	499,5	1022	2,9	-2,9	1312
u	373	981	5,5	-5,5	413

La tabla 2 representa la matriz de correlación de las variables de la tabla 1, utilizando la teoría de decisión estadística. Se demuestra la existencia de una relación entre los desplazamientos de la laringe y los dos primeros formantes. De este modo podemos asegurar que hla se relaciona significativamente con F₁, con un nivel de confianza superior al 95% , y dla lo hace también a un nivel superior al 95% con F₂.

Tabla 2.- Matriz de correlación entre las variables de la tabla 1⁴.

N = 5	F ₁	F ₂	dla	hla	fr
F ₁	1	-0,359 (N)	-0,971 (S)	-0,069 (N)	0,736 (N)
F ₂		1	0,138 (N)	0,952 (S)	0,176 (N)
dla			1	-0,165 (N)	-0,843 (N)
hla				1	0,438 (N)
fr					1

A partir de esta tabla se realiza el análisis de componentes principales. Tal como se puede observar en la tabla 3 los dos primeros componentes acumulan el 97,01% de la varianza. El primero asume el 55,12% y el segundo el 41,89%.

Tabla 3.- Varianza asumida por los componentes principales.

Componente n ^o	Varianza %	% acumulado
1	55,12	55,12
2	41,89	97,01
3	2,89	99,9
4	0,1	100
5	0	100

4 (S) expresa la existencia de una relación estadística significativa a un nivel igual o superior al 95%. (N) expresa que con el tamaño de la muestra no se ha demostrado la existencia de una relación.

El gráfico 1 representa las cinco variables introducidas en el análisis de componentes principales, destacando:

1. Respecto del primer y segundo componente, la altura de la laringe, hla , y F_2 están muy próximas⁵.
2. Respecto del primer componente F_1 y fr están muy próximas.
3. Respecto del segundo componente dla y fr están próximas.

Por otro lado en la matriz de correlación se ponía de manifiesto que la relación entre dla y F_1 es estadísticamente significativa.

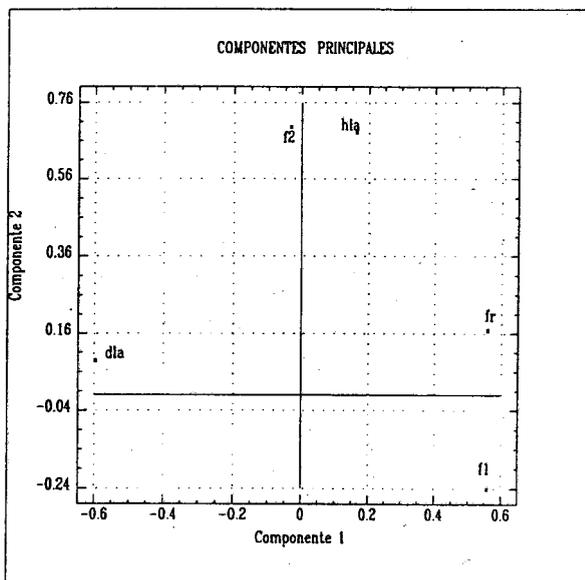


GRÁFICO 1

⁵ En un análisis de componentes principales medimos las relaciones entre variables según su posición en el plano.

Sin embargo podemos plantearnos la posibilidad de que el modelo matemático elegido no sea el más adecuado para percibir estadísticamente la relación. Por ello hemos ensayado el modelo de regresión simple pero con ausencia de constante. En la regresión lineal simple con constante

$$Y = a + bx,$$

pero hay casos en los que si $x = 0$ implica que $Y = 0$, de este modo la relación se convierte en

$$Y = bx.$$

Por ejemplo, es lógico que si el valor de F_1 es 0 el número de fonemas vocálicos pronunciados sea 0, también sucederá con F_2 y la frecuencia de uso. Sin embargo esta implicación no sucederá con dla y hla , puesto que siendo 0 el valor para ambas, se puede haber pronunciado un número determinado de $/a/$ ⁶. De este modo podemos prever la posibilidad de que en la regresión lineal simple se de una relación estadísticamente significativa, según el modelo $Y = bx$, entre los dos primeros formantes y la frecuencia de uso, y no así con los desplazamientos laríngeos.

La tabla 4 (que aparece en la página siguiente) muestra la confirmación de estas suposiciones, el primer formante explica el 92,8% de la varianza de la frecuencia de uso de los fonemas vocálicos, prediciendo con notable precisión las frecuencias de $/i,o,a/$ tal como se muestra en el gráfico 2 (página 128). Sin embargo la frecuencia real de $/e/$ es superior a la prevista por el modelo, pero se compensa con la frecuencia de $/u/$ que es inferior a la esperada. El nivel de confianza sobre la existencia de esta relación es del 99,8%. También entre F_2 y fr se da (aunque menor) esta relación, F_2 explica el 80,4% de la varianza de fr y el nivel de confianza es del 98,5%. La relación de fr con dla y hla es desestimada.

⁶ Se ha asumido en la biometría externa que el valor del desplazamiento del cartílago tiroideos en el fonema $/a/$ era 0.

Tabla 4⁷.- Relación según $Y = bx$ de la frecuencia de uso con los formantes y el desplazamiento laríngeo.

Variable independiente	Variable dependiente fr
F_1	$b = 2,6$ $R^2 = 0,93$ $Nc = 99,8$
F_2	$b = 0,76$ $R^2 = 0,80$ $Nc = 98,5$
dla	$b = 222,31$ $R^2 = 0,39$ $Nc = 81,8$
hla	$b = 46,9$ $R^2 = 0,02$ $Nc = 19,8$

El gráfico 3 (página 128) muestra la relación entre F_2 y fr; en él se observa la reproducción del triángulo vocálico en el que las vocales cerradas se sitúan por debajo de las previsiones y el resto por encima; de este modo la relación visible referente a F_2 -fr se ve complementada con el modo de articulación abierto-cerrado.

⁷ b = coeficiente de regresión, R^2 = coeficiente de correlación al cuadrado, Nc = Nivel de confianza de la estimación.

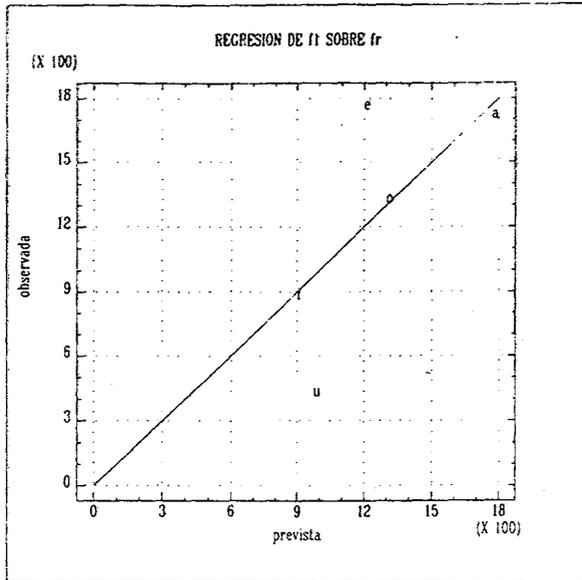


GRÁFICO 2

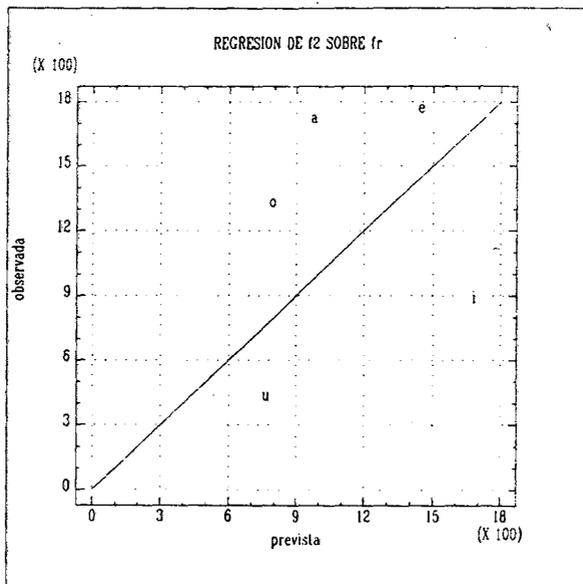


GRÁFICO 3

4. DISCUSIÓN

Podría objetarse al método que se mezclen datos de fonemas en contexto (F_1 y F_2), con datos de fonemas fuera de contexto -hla y dla-. Sin embargo debemos tener en cuenta que, al aplicar el método de componentes principales y el de regresión estamos trabajando no con valores absolutos, sino con relaciones entre variables. Al analizar fuera de contexto los desplazamientos de la laringe, medimos unos valores que asumen las vocales en su pureza máxima, sin ser perturbadas por consonantes asociadas. La matriz de correlación entre las cinco variables, tabla 2, nos ha demostrado estadísticamente que los valores de desplazamiento de la laringe están relacionados con el primer y segundo formante, por tanto tienen que ver entre sí y a priori no debemos rechazar que formen parte de un mismo sistema.

Una posible explicación a la existencia de esta relación entre formantes en contexto y desplazamiento del cartílago tiroideos fuera de contexto, sería la siguiente: los formantes en contexto se relacionarían con los desplazamientos de la laringe en contexto, éstos a su vez se relacionarían con los desplazamientos de la laringe fuera de contexto y por la propiedad transitiva estos últimos se relacionarían con los formantes en contexto.

Estos primeros resultados que mostramos a lo largo de este artículo indican que los factores acústico-articulatorios explican globalmente, aunque no completamente, la frecuencia de uso de los fonemas vocálicos de la lengua española. De todos modos esto no implica que los perceptivos no contribuyan a explicarla, ya que sabemos que el segundo formante va muy ligado a la percepción.

Quando Martinet (1964)⁸, escribe "Economía de los cambios fonéticos" es prudente a la hora de asumir las causas internas y lo hace por defecto, refiriéndose a la influencia entre fonemas contiguos. En Martinet (1984::223)⁹ se puede leer abiertamente referencias a la energía cuando por ejemplo dice *podemos establecer que la energía gastada con fines lingüísticos tiende a ser proporcional a la cantidad de información transmitida. En términos más simples y más directos, podemos decir que, cuando se habla para hacerse entender, se gasta solamente en la medida en que parece importar lo que se dice.* La economía como tal pone en relación

8 Se refiere la fecha a la segunda edición de la obra de 1955.

9 Se refiere a la tercera edición de la obra de 1965.

las fuentes de riqueza, los gastos posibles en función de esas fuentes y la optimización de la relación gastos-resultados. Si tenemos en cuenta que el concepto energía, como ya se ha dicho, se introdujo para explicar mejor el funcionamiento de determinados sistemas físicos y que dado el éxito de este parámetro se admite su existencia y se ha generalizado su uso en casi todos los campos, podríamos establecer en lingüística que la economía del lenguaje es la optimización de la relación entre la energía gastada en la producción de un mensaje y los resultados obtenidos también considerados en cantidad de energía. El problema surge, porque la energía es una de esos conceptos límite de la ciencia, un concepto que todavía no hemos sido capaces de explicar. Sabemos que los sistemas funcionan porque la energía los atraviesa, también admitimos que existe, ¿quien duda hoy en día de la existencia de la energía gravitatoria o de la térmica o de la eléctrica?. Sin embargo hoy por hoy la palabra energía es un interrogante ya que somos incapaces de dar una respuesta satisfactoria sobre su naturaleza. Pero es un interrogante con el que se explican muchas cuestiones científicas. Por ejemplo la intensidad acústica se define como una cantidad de energía, y cuando se mide una frecuencia de un formante se está midiendo una propiedad de una onda, y ésta no es más que una forma en que la energía se transmite a través del Universo. En Ecología cuando se trata sobre el funcionamiento del ecosistema se establecen las pirámides ecológicas. Existen tres tipos de pirámides, pero es aceptado que la que mejor explica el funcionamiento del ecosistema es la pirámide de energía. Múltiples ejemplos podrían citarse al respecto.

A nuestro entender, si se cumple en lingüística lo mismo que en otras ciencias, los parámetros energéticos están llamados a explicar muchos aspectos lingüísticos. Sin embargo la energía que se puede medir en un proceso fonatorio es producto de un conjunto de acciones más difíciles de medir, ya que controlar cuantitativamente todos los movimientos musculares y del esqueleto, la cantidad de aire expulsada y demás variables que intervienen en la emisión del mensaje hablado es poco menos que imposible. No hablemos ya de la dificultad de medir la cantidad de energía que un mensaje puede obtener como respuesta a su gasto.

Según nuestros resultados factores económicos contribuyen a explicar globalmente la fonología de una lengua¹⁰.

¹⁰ Aunque la explicación global sea satisfactoria no se debe entender que sea completa. Desde un punto de vista estricto y asumiendo la realidad como inaccesible, ni con los factores internos y externos juntos podríamos explicar completamente la fonología de ninguna lengua.

5. CONCLUSIONES

Las variables primer formante y segundo formante contribuyen a explicar, de manera global, la frecuencia de uso de los fonemas vocálicos en español.

6. BIBLIOGRAFÍA

BORZONE, A. M^a. (1980): *Manual de Fonética Acústica*. Buenos Aires.

DELATTRE, P.; LIBERMAN, A.M.; COOPER, F.S. y GERSTMAN, J.L., "An experimental study of the acoustic determinants of vowel color: observation on one and two-formant vowel synthesized from spectrographic patterns", *Word*, 8 , pp.195-210.

FLANAGAN, J.L. & HOUSE, A. (1956): "Development & testing of a formant coding speech compression system", *Journal of the Acustical Society of America*, 28 ,pp. 1099-1106.

GILI GAYA, S. (1988): *Elementos de Fonética General*, Madrid.

LAITMAN, J.T. (1986): "El origen del lenguaje articulado". *Mundo Científico*, 64 , pp. 1182-1192.

MARTINET, A. (1964): *Economía de los cambios fonéticos* , Madrid.

MARTINET, A. (1984): *Elementos de lingüística general*, Madrid.

MARTÍNEZ CELDRÁN, E. (1986): *Fonética*, Barcelona.

MARTÍNEZ CELDRÁN, E. (1991): *Fonética Experimental: Teoría y práctica*. Madrid.

PETITOT-COCORDA, J. (1985): *Les Catastrophes de la Parole de Roman Jakobson à René Thom*, Maloine.

QUILIS, A. (1981): *Fonética Acústica de la Lengua Española*, Madrid.

RAMÓN, J.L.; SPREKELSEN, C.; MARÍN, M.L.; GONZÁLEZ-ORTÍN, M., y

- RUBIO, M.V. (1979): "Método de estudio de las frecuencias fundamentales y análisis espectrográfico de los dos primeros formantes de las vocales castellanas emitidas por cien sujetos normales", *Acta Otorrinolaring Esp.*, 30 , pp. 399-414.
- RAMÓN, J.L.; SPREKELSEN, C.; MARÍN, M.L.; GONZÁLEZ-ORTÍN, M., y RUBIO, M.V. (1980): "Contribución al estudio de la fonación mediante análisis secuencial de frecuencias", *Acta Otorrinolaring. Esp.*, 31, pp. 577-588.
- SATALOFF, R.T. (1993): "La voz humana", *Investigación y Ciencia*, 197, pp. 50-57.
- SCOTTO DI CARLO, N. (1990): "El arma secreta de los cantantes de opera", *Mundo Científico*. 101, pp. 456-458.
- WAKITA, H. (1977): "Normalization of Vowels by Vocal-Tract Length and Its Application to Vowel Identification". *I.E.E.E. A.S.S.P.*, Vol. 2. April.