

UNIVERSIDAD DEL CEMA
Buenos Aires
Argentina

Serie
DOCUMENTOS DE TRABAJO

Área: Lingüística y Estadística

**UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE
LA FONOLOGÍA DE LOS IDIOMAS**

Germán Coloma

Enero 2025
Nro. 891

www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html
UCEMA: Av. Córdoba 374, C1054AAP Buenos Aires, Argentina
ISSN 1668-4575 (impreso), ISSN 1668-4583 (en línea)
Editor: Jorge M. Streb; Coordinador del Departamento de Investigaciones: Maximiliano Ivickas

Un modelo de optimización de la fonología de los idiomas

Germán Coloma *

Resumen

Este trabajo presenta un modelo que sirve para interpretar las principales relaciones entre las variables fonológicas de los idiomas (número de consonantes, número de vocales, tonos, acento), basándose en la idea de que tales variables se determinan a través de un proceso de optimización de una función de bienestar, que surge de considerar la facilidad de decodificación y el esfuerzo de producción de las expresiones que conforman el lenguaje. El modelo se aplica a una muestra de 100 idiomas, y para estimarlo se utiliza un procedimiento de regresión estadística (mínimos cuadrados en tres etapas). El mismo hace uso de la idea de que las variables fonológicas se determinan endógenamente, y a la vez están influidas por variables exógenas (filogenéticas, geográficas y demográficas). Lo que se obtiene es una estimación de los parámetros de la función de bienestar implícita en los idiomas de la muestra, así como también ciertas conclusiones acerca de las principales interacciones entre las variables. Las mismas indican relaciones de complementariedad entre consonantes y vocales, y relaciones de sustitución entre consonantes y uso del acento, y entre vocales y uso del acento.

Palabras clave: optimización, fonología, regresión estadística, mínimos cuadrados en tres etapas.

1. Introducción

La comparación entre las características que tienen los distintos idiomas que se hablan en el mundo puede hacerse de diferentes maneras. Las mismas ponen mayor o menor énfasis en los aspectos comunes que los idiomas pueden tener, y en las diferencias que se establecen entre ellos. Pueden tener también un carácter más cualitativo, o bien intentar una cuantificación de la “distancia” que existe entre las distintas lenguas en términos de alguna variable relevante.

Para ese último aspecto (el de la medición de las diferencias entre los idiomas) resulta sumamente ventajoso concentrarse en las características que son más fácilmente cuantificables, y en esto la fonología es sin duda el componente del lenguaje que ofrece un camino más claro. La fonología es la parte de la lingüística que estudia el sistema de sonidos de los idiomas, y cómo el mismo se estructura para transmitir significados. Comprende así la identificación de los sonidos que se utilizan dentro de cada lengua, así como también las reglas relacionadas con sus posibles

* Universidad del CEMA, Av. Córdoba 374, Buenos Aires, C1054AAP, Argentina; Tel: 54-11-3614-3000; E-mail: gcoloma@cema.edu.ar. Las opiniones expresadas son las del autor, y no necesariamente representan las de la Universidad del CEMA.

combinaciones y su interacción con otros elementos distintivos, tales como el tono y el acento.

Concentrarse en el componente fonológico de las lenguas es también la manera más directa de presentar al lenguaje como un sistema, y permite también obtener algunos resultados acerca de la evolución y de la complejidad de dicho sistema. Una parte de la literatura sobre estos temas ha resaltado así la idea de que el lenguaje puede ser visto como un “sistema adaptativo complejo” (Ellis & Larsen, 2009), y que su estructura y evolución están ligadas con un proceso por el cual son el aprendizaje y la transmisión de las lenguas los factores que terminan otorgándoles ciertas características particulares a dichas lenguas (Kirby & Christiansen, 2003).

La forma en la cual los distintos elementos de un idioma se van estructurando puede ser vista también como el resultado de un proceso de optimización, tal como postula la denominada “lingüística sinérgica” (Köhler, 2005). Dicha optimización, sin embargo, no surge de la decisión de ningún agente individual ni de ningún mecanismo de votación, sino más bien de la propia dinámica del lenguaje cuando el mismo se transmite entre las personas, y de las funciones que el lenguaje debe cumplir para poder servir como vehículo de comunicación (Bentz, 2018).

En el presente trabajo tomaremos como base la concepción del lenguaje como un sistema adaptativo, concentrándonos en ciertas características fonológicas cuantificables. Las mismas serán comparadas utilizando datos de distintos idiomas, bajo el supuesto de que en ellos el sistema ha evolucionado tratando de conseguir una estructura óptima para satisfacer las necesidades de comunicación de sus hablantes. También utilizaremos como variables que influyen en la estructura de los idiomas una serie de características ligadas con factores filogenéticos, geográficos y demográficos, que en cierto modo operarán como explicativas de los distintos caminos que han tomado las lenguas en su evolución paralela.

La estructura del trabajo será la siguiente. En la sección 2 presentaremos las principales características del modelo teórico subyacente, en tanto que en la sección 3 describiremos la base de datos utilizada (que contiene información sobre 100 idiomas distintos). Luego, en la sección 4, presentaremos los resultados obtenidos de estimar nuestro modelo respecto de las interacciones que pueden establecerse entre las variables utilizadas, dejando para lo último (sección 5) un apartado de conclusiones y consideraciones finales.

2. Modelo teórico

El modelo teórico que utilizaremos en el presente trabajo parte de la idea de que los idiomas

han ido evolucionando con el objetivo de hacer máxima su capacidad de comunicar conceptos que tengan significado y, al mismo tiempo, utilizar para ello la menor cantidad posible de elementos. La primera de dichas propiedades está relacionada con el proceso de codificar y decodificar expresiones (por ejemplo, a través de palabras), en tanto que la segunda tiene que ver con la producción de dichas expresiones (por ejemplo, a través de sonidos que se combinan de acuerdo con ciertas reglas).

Los distintos idiomas que se hablan en el mundo tratan de cumplir con estos requisitos de maneras bastante diversas, pero todos tienen en común la característica de utilizar una “fonología combinatoria”. Eso implica elegir un conjunto (relativamente pequeño) de sonidos, definidos de cierta manera, y combinar los elementos de ese conjunto a fin de producir palabras con distintos significados. Por ejemplo, en español existe la palabra “paso”, que está formada por cuatro sonidos que pueden representarse fonéticamente como /p/, /a/, /s/ y /o/. Dichos sonidos no tienen un significado en sí mismo, pero pueden usarse para construir esa palabra y varias otras. Por ejemplo, también pueden combinarse para producir palabras tales como “sapo”, “sopa”, “posa” y “opas”. Eso quiere decir que /p/, /a/, /s/ y /o/ son en castellano distintos “fonemas”, cuya combinación genera palabras con diferentes significados.

Todas las lenguas habladas siguen una estrategia parecida, en el sentido de que definen cierta cantidad de fonemas que luego combinan para producir palabras.¹ Los sonidos que utilizan, sin embargo, no siempre son los mismos, y es relativamente fácil encontrar fonemas que existen en español pero no en otros idiomas (como por ejemplo el fonema /ɲ/, que en castellano se escribe utilizando la letra “ñ”, y que no existe en inglés), así como también fonemas que existen en otros idiomas pero no en español (como por ejemplo el fonema /ʌ/, que existe en inglés pero no en castellano).² Todas las lenguas habladas, sin embargo, agrupan sus fonemas en dos grandes categorías (vocales y consonantes), y no se conoce ningún idioma que use solo vocales o solo consonantes.³

¹ Las lenguas de señas, en cambio, no usan sonidos sino señas para expresar significados. Sin embargo, también parecen adoptar una estrategia combinatoria similar a la de las lenguas habladas, en el sentido de que la mayoría de sus palabras son combinaciones de señas y no señas aisladas con significado propio. Para una explicación más completa de esto, véase Brentari (2012).

² Dicho fonema, por ejemplo, corresponde al sonido de la letra “o” en la palabra “son” (“hijo”), al de la combinación “oo” en la palabra “blood” (“sangre”) y al de la letra “u” en la palabra “cut” (“cortar”).

³ Todas estas semejanzas, y algunas otras acerca de la estructura sintáctica de los idiomas, avalan la idea de que el lenguaje hablado “se inventó una sola vez”, en África oriental, hace unos 70.000 u 80.000 años. Luego de ello los idiomas habrían empezado a divergir, no bien los seres humanos comenzaron a esparcirse por el mundo. Para más información sobre esto, véase Hurford (2014).

Los idiomas también difieren entre sí en el uso de algunas características que pueden hacer que la pronunciación de los distintos fonemas, y en especial de las vocales, se modifique. Dos de las más utilizadas son el acento y el tono. En español, por ejemplo, el acento es variable y distintivo, y es posible encontrar pares de palabras (por ejemplo, “esta” y “está”, o “revolver” y “revólver”) que tienen los mismos fonemas en el mismo orden, pero difieren en cuál es la vocal acentuada.

No hay en cambio casos de palabras castellanas cuyo significado se modifique por cambiar la entonación. Eso sí sucede en otras lenguas como el chino mandarín, que es un idioma que tiene cuatro tonos distintivos (alto, bajo, creciente, decreciente). En mandarín, por ejemplo, la palabra “*ba*” significa “ocho” si se pronuncia con un tono alto, “retener” si se pronuncia con un tono bajo, “extraer” si se pronuncia con un tono creciente y “padre” si se pronuncia con un tono decreciente.

El modelo teórico que presentaremos a continuación busca interpretar las características de los distintos idiomas suponiendo que cada uno de ellos elige una combinación que resulta óptima para maximizar la diferencia entre la “facilidad de decodificación” (D) y el “esfuerzo de producción” (P). Por cuestiones de conveniencia en la obtención de datos y de cuantificación de los mismos, el modelo se limitará a analizar variables fonológicas (número de consonantes, número de vocales, número de tonos distintivos, existencia o no de distinciones basadas en el acento), pero también podría extenderse a otras variables lingüísticas de tipo morfológico, sintáctico o semántico.⁴

En general, puede suponerse que la facilidad de decodificación depende positivamente de la existencia de numerosas distinciones en el conjunto de variables fonológicas. Si, por ejemplo, un idioma solo tuviera una consonante y una vocal (p.ej., /p/ y /a/), las únicas palabras posibles en dicho idioma serían combinaciones tales como “papa”, “apap”, “pappap”, etc. Esto haría que una lengua así tuviera muchos problemas para generar un vocabulario útil para comunicar ideas. Pero tener demasiadas distinciones (p.ej., más de 100 consonantes, o más de 30 vocales, o más de 10 tonos distintivos) seguramente implicaría un esfuerzo demasiado grande en términos de producir las distintas combinaciones necesarias para hablar un idioma, y también en términos de aprender el idioma en cuestión. Es probablemente por ello que los idiomas suelen elegir valores más moderados para sus variables fonológicas, y los combinan de algún modo particular.

Todo esto puede expresarse suponiendo la existencia de una “función de bienestar” (W), que surja de la resta entre un componente relacionado con la facilidad de decodificación y otro

⁴ Para una exploración alternativa, que incorpora esas variables en un contexto diferente, véase Coloma (2016).

relacionado con el esfuerzo de producción. La misma podría tener una forma como esta:

$$W = D(X_1, X_2, \dots, X_n) - P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_i a_i \cdot X_i + \frac{1}{2} \cdot \sum_i \sum_{j \neq i} a_{ij} \cdot X_i \cdot X_j - \frac{1}{2} \cdot \sum_i b_i \cdot X_i^2 \quad (1);$$

donde X_1, X_2, \dots, X_n son las variables fonológicas (p.ej., número de consonantes, número de vocales, número de tonos, etc.), y a_i, a_{ij} y b_i son parámetros.⁵ La maximización de esta función respecto de dichas variables fonológicas implica cumplir con “n” condiciones de primer orden que tienen la siguiente forma:

$$\frac{\partial W}{\partial X_i} = a_i + \sum_{j \neq i} a_{ij} \cdot X_j - b_i \cdot X_i = 0 \quad \rightarrow \quad X_i = \frac{a_i}{b_i} + \sum_{j \neq i} \frac{a_{ij}}{b_i} \cdot X_j \quad (2);$$

y eso implica a su vez elegir cada variable individual (X_i) como una función de las otras variables (X_j).⁶

En teoría, por lo tanto, uno podría explicar los valores de las principales variables fonológicas de un idioma (por ejemplo, del español, que tiene 18 fonemas consonánticos y 5 fonemas vocálicos, y que no usa el tono como característica distintiva pero sí el acento) como el resultado de resolver el problema implícito en las ecuaciones 1 y 2 para ciertos valores particulares de los parámetros a_i, a_{ij} y b_i . En la práctica, sin embargo, dichos parámetros nos resultan desconocidos, por lo cual es necesario estimarlos utilizando alguna “estrategia empírica”. Una opción consiste en correr una serie de regresiones estadísticas entre los valores observados para las variables fonológicas, para lo cual resulta necesario contar con un número considerable de datos.

Si nos limitamos a un único idioma, sin embargo, la aplicación de esta estrategia resulta por definición imposible, ya que hay muchos valores de a_i, a_{ij} y b_i que sirven para explicar, por ejemplo, la existencia de las 18 consonantes y de las 5 vocales del castellano.⁷ Para implementarla, entonces, resulta necesario utilizar una muestra de idiomas, en la que cada idioma represente una “observación” (para la cual cada variable fonológica adopta un valor determinado). En la muestra que utilizaremos en este trabajo, por ejemplo, al japonés le corresponden 16 consonantes, 10

⁵ En esta formulación se supone también que, para cada par de idiomas “i” y “j”, se cumple que “ $a_{ij} = a_{ji}$ ”, con lo cual el número total de parámetros se reduce considerablemente.

⁶ Para una explicación de la lógica detrás de este tipo de maximización, véase Sundaran (1996), capítulo 2.

⁷ En rigor, estas cifras corresponden a la variedad de español estándar hablado en la península ibérica. En América, en cambio, lo habitual es que solo se usen 17 fonemas consonánticos, y que no se distinga entre los sonidos de las letras “s” (fonema /s/) y “z” (fonema /θ/). En una amplia zona de Sudamérica, sin embargo, hay hablantes que usan 18 fonemas consonánticos, pero eso es porque diferencian entre el sonido de la letra “y” (fonema /ʒ/) y el de la “ll” (fonema /ʎ/), cosa que no hacen el resto de los hablantes del idioma castellano.

vocales, 2 tonos y ninguna distinción de acento, y al georgiano le corresponden 28 consonantes, 6 vocales, un solo tono y una distinción entre sílabas acentuadas y no acentuadas.⁸

La lógica detrás de la estrategia de regresión estadística esbozada consiste por lo tanto en estimar una ecuación para cada una de las condiciones de primer orden de maximización de la ecuación 1. Esto implica estimar n ecuaciones, y que cada una de ellas dependa de $n-1$ variables. Por ejemplo, si tenemos cuatro variables (Consonantes, Vocales, Tonos y Acento), la regresión correspondiente a “Consonantes” tendrá como variables explicativas a las vocales, los tonos y el acento, en tanto que la correspondiente a “Tonos” dependerá de las consonantes, las vocales y el acento, y así sucesivamente. El sistema de ecuaciones será por definición “simétrico”, en el sentido de que cada una de las variables será la variable dependiente en una ecuación y formará parte del conjunto de variables explicativas en las otras $n-1$ ecuaciones.

Esta particularidad del sistema generado por el problema de optimización expresado a través de las ecuaciones 1 y 2 hace que, en este caso, todas las variables disponibles sean “endógenas”. Esto quiere decir que cada una de ellas sirve para determinar y, a la vez, es determinada por el valor de las otras variables, y esto es una contradicción respecto de los supuestos sobre los cuales se basan los procedimientos estándar de regresión estadística.⁹

La forma más común de resolver este tipo de problemas de endogeneidad consiste en reemplazar a las variables explicativas endógenas por lo que se conoce como “variables instrumentales”. Las mismas son variables o combinaciones de variables cuyos valores son lo más parecidos posibles a los de las variables que pretenden reemplazar, pero que no son endógenas sino “exógenas” al problema que se está analizando. En nuestro caso, una alternativa posible consiste en buscar variables que se sepa que tienen relación con las características de los idiomas, pero que no estén dentro del sistema lingüístico que se está intentando explicar.

Los tres tipos de variables exógenas que resulta más fácil incorporar son los que tienen que ver con factores filogenéticos, factores geográficos y factores demográficos. Los factores filogenéticos implican la existencia de relaciones entre los idiomas a través de “ancestros comunes”. Por ejemplo, el español y el italiano son relativamente parecidos porque los dos

⁸ Nótese que tres de las variables que estamos utilizando (Consonantes, Vocales y Tonos) son variables numéricas que en principio pueden tomar cualquier valor entero entre 1 e infinito. La variable “Acento”, en cambio, es una “variable categórica”, que solo sirve para categorizar un idioma según use o no al acento como característica distintiva. En este caso, además, se trata de una variable “binaria” o “dicotómica” (*dummy*), ya que solo puede tomar dos valores: 0 (si el acento no es distintivo) y 1 (si sí lo es).

⁹ Para una explicación acerca de este problema, véase Bonamente (2022), capítulo 11.

comparten un ancestro común inmediato (que es el latín), y por eso se dice que ambos pertenecen al mismo “género” (o sea, al grupo de lenguas latinas o romances). Pero como el latín también tiene un ancestro común con el idioma germánico antiguo del cual descende el inglés moderno, entonces puede decirse que el inglés, el español y el italiano pertenecen a la misma “familia lingüística” (llamada “familia indoeuropea”), junto con muchas otras lenguas tales como el francés, el alemán, el griego, el ruso, el irlandés, el persa, el hindi, etc.¹⁰

Otros idiomas como el mandarín, el árabe, el japonés, el filipino, el yoruba, el húngaro y el zapoteco, en cambio, pertenecen a familias lingüísticas distintas de la indoeuropea (y también distintas entre sí). Por ello, pertenecer a cierta familia puede ser un factor que incida en la elección de los fonemas y de otras características fonológicas de los idiomas, que influye sobre el sistema de la lengua pero que es exógeno al mismo.

Una situación parecida ocurre con la ubicación de los idiomas en ciertos continentes o regiones (factores geográficos). Las lenguas pueden así clasificarse según las áreas en las cuales se originaron, y también de acuerdo con la expansión que hayan alcanzado. Este último fenómeno puede aproximarse a través del número de hablantes nativos de cada lengua, que es el principal factor demográfico relacionado con la importancia de los idiomas. Esto permite clasificar a las lenguas en categorías tales como “idiomas grandes”, “idiomas medianos” e “idiomas pequeños”.

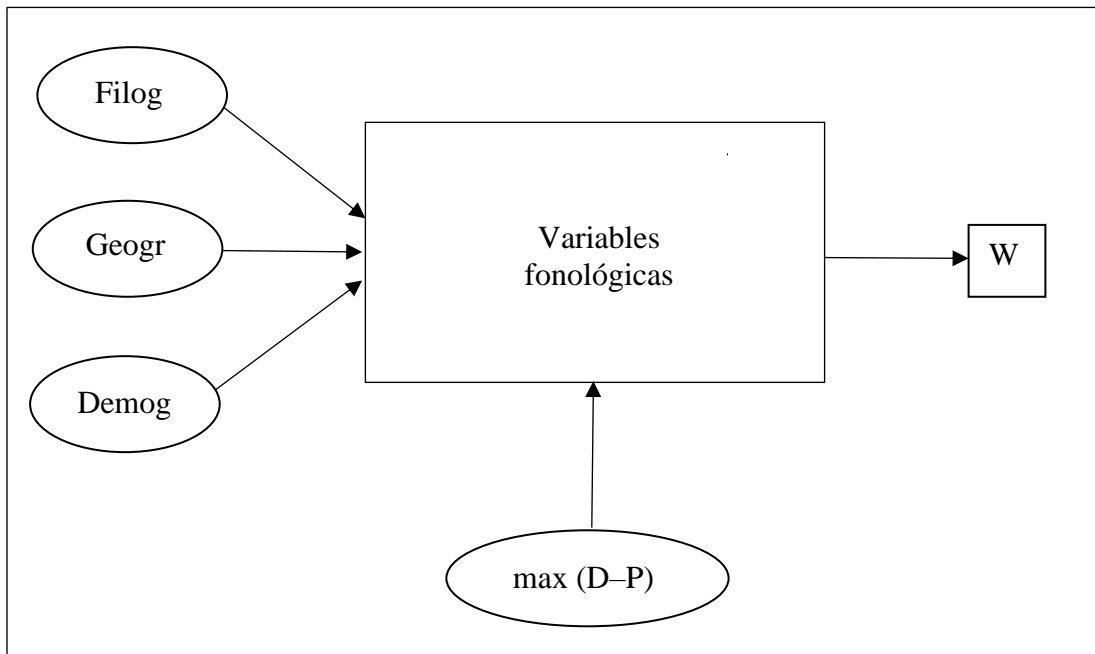
El gráfico 1 nos muestra las relaciones previstas por nuestro modelo entre los factores exógenos de tipo filogenético (Filog), geográfico (Geog) y demográfico (Demog), las variables fonológicas de los idiomas, y el valor de la función de bienestar (W). Los mismos surgen de tener en cuenta dichos factores exógenos, así como también el hecho de que se supone que el sistema lingüístico intentará maximizar la diferencia entre la facilidad de decodificación (D) y el esfuerzo de producción (P).

El procedimiento estadístico que utilizaremos para llevar a cabo la implementación de este modelo es el que se conoce como “mínimos cuadrados en tres etapas” (3SLS, por su sigla en inglés). El mismo consiste en una primera etapa en la cual se corren regresiones entre cada variable fonológica y todas las variables exógenas disponibles (filogenéticas, geográficas y demográficas). Con ello se obtiene un conjunto de variables instrumentales (exógenas) que pueden reemplazar a las variables fonológicas explicativas (endógenas) en las regresiones entre cada variable fonológica

¹⁰ Esta categorización de los idiomas en géneros y familias es básicamente la que se utiliza en el Atlas Mundial de Estructuras Lingüísticas (WALS, por su sigla en inglés), editado por Dryer & Haspelmath (2013).

y las restantes variables fonológicas (segunda etapa). Por último (tercera etapa) el sistema introduce un ajuste en los coeficientes estimados, teniendo en cuenta las covarianzas de los errores de estimación que se estén produciendo en cada una de las regresiones realizadas.¹¹

Gráfico 1: Diagrama del sistema de determinación de las variables fonológicas



Para llevar a cabo esta estimación resulta sin embargo necesario definir previamente una muestra de idiomas, y conseguir para cada una de las observaciones de la misma (es decir, para cada uno de los idiomas) datos sobre sus características fonológicas (consonantes, vocales, tono, acento), sus características filogenéticas (familia, género), sus características geográficas (continente, región) y sus características demográficas (si es un idioma grande, mediano o pequeño). Dicha muestra y los datos de la misma serán presentados de manera general en la siguiente sección del presente trabajo.

3. Descripción de los datos de la muestra

A efectos de construir la muestra de idiomas que utilizamos en este trabajo, hicimos una división del mundo en 10 regiones, e incluimos 10 idiomas de cada una de dichas regiones. Para

¹¹ Para una explicación mucho más completa de este procedimiento, véase Greene (2020), capítulo 10.

ello buscamos que las principales familias lingüísticas estuvieran representadas por varios idiomas, y es así que en nuestra muestra aparecen 9 idiomas nigercongoleses, 8 indoeuropeos, 7 austronesios, 6 sinotibetanos, 5 afroasiáticos y 5 altaicos.¹² En la elección de las lenguas, sin embargo, tuvimos cuidado en que cada una de ellas perteneciera a un género distinto, a fin de lograr una mayor diversidad y representatividad de los idiomas incluidos.¹³

La muestra quedó constituida por 26 idiomas “grandes” (con más de 10 millones de hablantes nativos cada uno), 54 idiomas “medianos” (con más de 100 mil hablantes nativos, pero menos de 10 millones) y 20 idiomas “pequeños” (con menos de 100 mil hablantes nativos). Al elegirlos, tuvimos en cuenta su representatividad en términos del género, la familia y la región a la cual pertenecían, y eso hizo que nos abstuviéramos de incluir idiomas con menos de 1000 hablantes nativos. Esto no fue en general un problema para elegir lenguas de las principales familias de Europa, Asia y África, pero sí representó un desafío para algunos casos de lenguas americanas y de Oceanía.¹⁴

Otro factor que se tuvo en cuenta para elegir los idiomas de la muestra fue la disponibilidad de una descripción fonológica relativamente reciente de cada idioma. Cuando fue posible, intentamos utilizar las ilustraciones que aparecen en IPA (1999) o en la serie de artículos publicados desde 1999 en la revista *Journal of the International Phonetic Association*. Cuando esto no fue posible, utilizamos datos extraídos de gramáticas o de reseñas gramaticales publicadas en forma de libro o de artículo, y en algunos casos usamos también datos provenientes de tesis doctorales dedicadas a describir distintas lenguas.¹⁵ En virtud de todo ello, terminamos quedándonos con la lista de idiomas que aparece en el apéndice 1, cuya ubicación geográfica puede verse en el mapa del gráfico 2.

De cada uno de los idiomas incluidos en la muestra, relevamos los datos correspondientes al número de fonemas consonánticos, el número de fonemas vocálicos, el número de tonos distintivos (igual a 1 para los idiomas no tonales, y a 2 o más para los idiomas en los que el tono es distintivo), y la existencia de distinción o predictibilidad acerca del acento (0 para los idiomas

¹² Otras 14 familias lingüísticas están representadas por 2 o más idiomas. Tales son las familias nilosahariana (4 idiomas), urálica (4 idiomas), austroasiática (3 idiomas) y transneoguineana (3 idiomas), así como también las familias na-dené, álgica, utoazteca, otomangueana, maya, arahuaca, tupí, khoisan, dravídica y pamañungana (con 2 idiomas cada una). Otras 26 familias están también representadas en la muestra, con un idioma cada una.

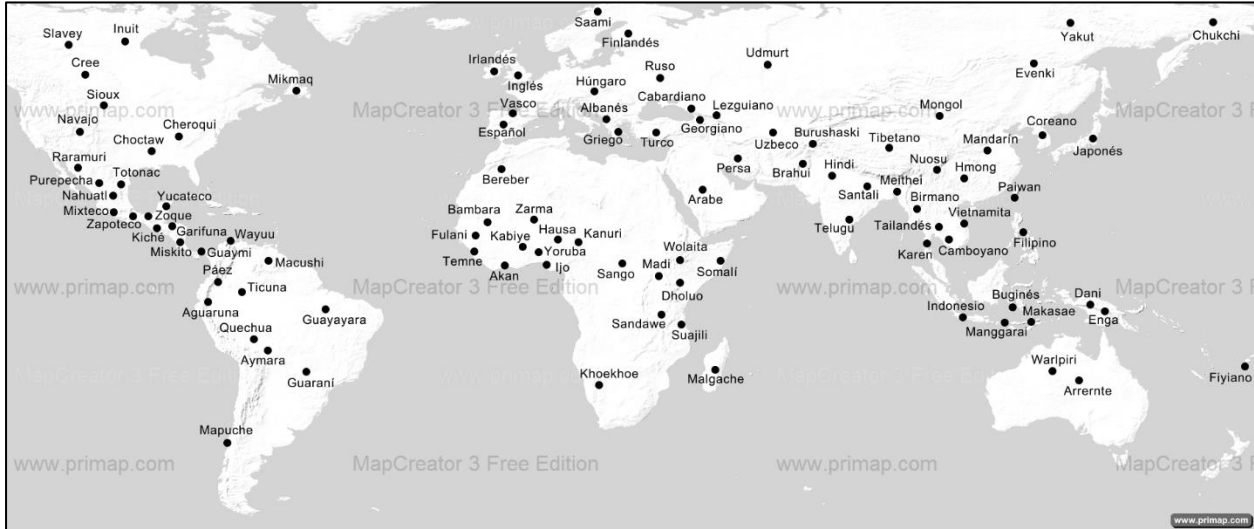
¹³ Los idiomas indoeuropeos de la muestra, por ejemplo, son inglés (germánico), español (latino), hindi (índico), ruso (eslavo), persa (iranio), griego (helénico), irlandés (celta) y albanés (albánico).

¹⁴ En Australia, por ejemplo, no hay ninguna lengua aborigen que tenga más de 4000 hablantes nativos.

¹⁵ La lista completa de las fuentes utilizadas aparece en el apéndice 3 del presente trabajo.

que no usan el acento o tienen un acento predecible, y 1 para los idiomas con distinción de palabras a través del acento o con sílabas acentuadas no predecibles).

Gráfico 2: Idiomas incluidos en la muestra



Las series correspondientes al número de consonantes y al número de vocales fueron a su vez divididas en dos variables cada una. Para el caso de las consonantes, incluimos una variable referida a las “consonantes simples” (ConSimp) y otra referida a las “consonantes complejas” (ConComp). Esta última nos informa el número de consonantes de cada idioma que pertenecen a alguna de las siguientes categorías: consonantes faríngeas (como, por ejemplo, los fonemas /t^ʕ/ y /s^ʕ/ del árabe y del bereber), consonantes eyectivas (como, por ejemplo, los fonemas /pʼ/ y /tʼ/ del aymara y del yucateco), consonantes implosivas (como, por ejemplo, los fonemas /b/ y /d/ del vietnamita y del camboyano), consonantes prenasalizadas aspiradas (como, por ejemplo, los fonemas /^mp^h/ y /ⁿt^h/ del hmong), consonantes con doble articulación (como, por ejemplo, los fonemas /kp/ y /gb/ del yoruba) y clics (como, por ejemplo, los fonemas // y !/ del khoekhoe).

Todas las otras consonantes no incluidas en las categorías mencionadas en el párrafo anterior fueron consideradas “simples”, por lo cual hay en la muestra 73 idiomas que no tienen consonantes complejas y solo tienen consonantes simples. No hay en cambio ningún idioma que tenga consonantes complejas y no simples, y solo hay una lengua (el khoekhoe, hablado en Namibia) que tiene más consonantes complejas que consonantes simples.

En lo que se refiere a los fonemas vocálicos, los hemos dividido en “vocales primarias” (VocPrim) y “vocales secundarias” (VocSec). Las vocales primarias son las que corresponden a

las diferentes “calidades vocálicas posibles” que tiene un idioma, en tanto que las secundarias son variaciones de dichas calidades, obtenidas a través de procesos de alargamiento vocálico y/o nasalización. Al igual que con las consonantes, aquí se da que existen idiomas (46, en nuestra muestra de 100) que solo tienen vocales primarias y no secundarias, en tanto que no hay idiomas que solo tengan vocales secundarias y no primarias.

Para ilustrar cómo es la relación entre las vocales primarias y las secundarias, podemos partir del ejemplo del castellano, que es un idioma que solo tiene 5 vocales primarias (/a/, /e/, /i/, /o/ y /u/) y no tiene vocales secundarias. El japonés, en cambio, también tiene 5 vocales primarias (que en su caso son /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/) pero tiene otras 5 vocales secundarias, que son las contrapartes alargadas de sus vocales primarias (o sea, /a:/, /e:/, /i:/, /o:/ y /u:/). Algo parecido sucede con el guaraní, que tiene 6 vocales primarias (/a/, /e/, /i/, /i/, /o/ y /u/) y otras 6 vocales secundarias. Estas últimas, sin embargo, no son alargadas sino que son vocales nasalizadas (/ã/, /ẽ/, /ĩ/, /ĩ/, /õ/ y /ũ/).

Hay algunos idiomas (6 en total, en nuestra muestra de 100) que tienen tanto vocales alargadas como nasalizadas. Un ejemplo de ello es el navajo, que cuenta con solo 4 vocales primarias (/a/, /e/, /i/ y /o/) pero tiene 12 vocales secundarias (/ã/, /ẽ/, /ĩ/, /õ/, /a:/, /e:/, /i:/, /o:/, /ã:/, /ẽ:/, /ĩ:/ y /õ:/). También existen lenguas con más vocales primarias que secundarias, porque solo nasalizan o alargan algunas vocales y no otras. El birmano, por ejemplo, tiene 8 vocales primarias (/a/, /e/, /ɛ/, /ə/, /i/, /o/, /ɔ/ y /u/) y solo 3 vocales (nasalizadas) secundarias (/ã/, /ĩ/ y /ũ/). Y el vietnamita tiene 9 vocales primarias (/a/, /e/, /ɛ/, /ə/, /i/, /o/, /ɔ/, /u/ y /u/) y solo 2 vocales (alargadas) secundarias (/a:/ y /ə:/).

En el cuadro 1 aparecen resumidos los principales datos de nuestra muestra. Además de los promedios de toda la base de datos, hay también promedios por región, así como los correspondientes a las seis familias lingüísticas más importantes. También hay tres renglones más, que corresponden a la división entre lenguas grandes, medianas y pequeñas.¹⁶

El cuadro 1 nos muestra que el promedio de fonemas consonánticos en el total de la muestra es de 24,01, pero dicho número varía mucho por grupo de idiomas. Los idiomas de Asia occidental, por ejemplo, tienen en promedio 32,5 consonantes, en tanto que los idiomas de Australasia tienen solo 18,2 consonantes. Pero si solamente nos concentramos en las consonantes simples, vemos que la región con un promedio más alto es Asia central (29,2), en tanto que la región con menos

¹⁶ El conjunto completo de valores por idioma está reproducido en el apéndice 2 del presente trabajo.

consonantes simples es Centroamérica (16,7). En cuanto a las consonantes complejas, el promedio más alto corresponde a la región de África oriental (5,7), en tanto que existen tres regiones (Europa, Asia central y Australasia) en las cuales ninguno de los idiomas incluidos en la muestra tiene consonantes complejas.

Cuadro 1. Valores promedio de las principales variables fonológicas

Concepto	Conson	ConSimp	ConComp	Vocales	VocPrim	VocSec	Tonos	Acento
Norteamérica	21.2	19.4	1.8	9.4	4.7	4.7	1.9	40%
Centroamérica	17.8	16.7	1.1	8.3	5.1	3.2	1.6	50%
Sudamérica	19.0	17.8	1.2	8.8	5.1	3.7	1.9	40%
África oriental	30.6	24.9	5.7	8.9	6.6	2.3	2.4	0%
África occidental	23.5	21.0	2.5	10.7	7.1	3.6	2.2	0%
Europa	25.6	25.6	0.0	9.0	7.0	2.0	1.0	50%
Asia occidental	32.5	28.8	3.7	6.5	5.3	1.2	1.0	60%
Asia central	29.2	29.2	0.0	12.6	8.4	4.2	2.4	0%
Asia oriental	22.5	21.2	1.3	11.2	7.1	4.1	2.7	20%
Australasia	18.2	18.2	0.0	6.7	5.2	1.5	1.4	40%
Nigercongoleses	23.4	21.9	1.6	10.6	7.8	2.8	2.1	0%
Indoeuropeos	27.1	27.1	0.0	8.8	7.8	1.0	1.0	63%
Austronesios	20.9	20.9	0.0	5.9	5.1	0.7	1.0	29%
Sinotibetanos	29.0	29.0	0.0	9.0	8.0	1.0	3.2	0%
Afroasiáticos	28.4	22.6	5.8	7.8	5.2	2.6	1.8	0%
Altaicos	22.6	22.6	0.0	12.0	8.0	4.0	1.0	20%
Grandes	24.1	23.3	0.8	9.6	6.9	2.7	1.9	27%
Medianos	25.1	23.0	2.2	9.1	6.3	2.8	1.8	29%
Pequeños	21.1	19.5	1.7	8.8	4.8	4.1	1.9	35%
Total muestra	24.01	22.28	1.73	9.21	6.16	3.1	1.85	30%

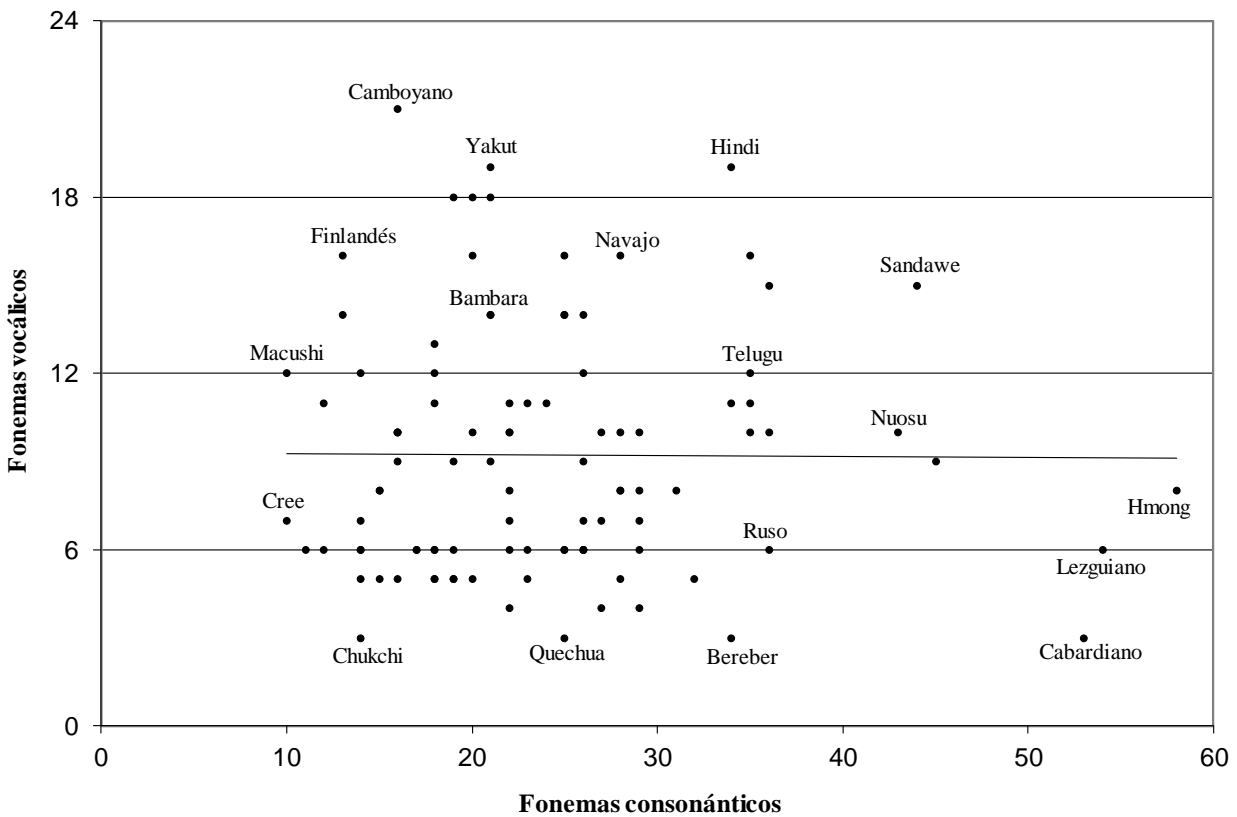
En lo que se refiere a las vocales, la región con un promedio más alto por idioma es Asia central (12,6), y eso vale también para las vocales primarias (cuyo promedio en Asia central es 8,4). En cuanto a las vocales secundarias, aquí la región en la cual estas son más abundantes es Norteamérica, cuyos idiomas tienen en promedio 4,7 vocales secundarias. Norteamérica es también la región que tiene en promedio menos vocales primarias (4,7), en tanto que la región con menos vocales totales es Asia occidental (6,5).

Asia oriental, por su parte, es el área con un promedio más alto de tonos por idioma (2,7), en un contexto en el cual hay dos regiones (Europa y Asia occidental) en las cuales ninguno de los idiomas de nuestra muestra es tonal. También se da que existen áreas en las que no hay ningún idioma que use el acento como elemento distintivo, y tal es el caso de África oriental, África occidental y Asia central. Asia occidental es, en cambio, la región en la cual hay más idiomas (60%) que usan al acento como elemento distintivo o no predecible.

Estas diferencias entre los valores promedio de las variables fonológicas se manifiestan también si comparamos entre distintas familias lingüísticas. Los idiomas de la familia sinotibetana, por ejemplo, tienen 29 consonantes en promedio, en tanto que las lenguas austronesias tienen un promedio de solo 20,9 consonantes. La familia austronesia es también la que tiene un promedio más bajo de vocales (5,9), y en ese rubro la que tiene un promedio más alto (con 12 vocales por idioma) es la familia altaica.

Los idiomas altaicos incluidos en nuestra muestra se caracterizan también por no ser tonales, al igual que los idiomas de las familias indoeuropea y austronesia. El promedio más alto de tonos por idioma, por su parte, corresponde a la familia sinotibetana (3,2), formada por lenguas que en ningún caso usan el acento como elemento distintivo. Esto último ocurre también con los idiomas afroasiáticos y nigercongoleses, en tanto que la familia indoeuropea tiene al 63% de los idiomas incluidos en la muestra con un sistema de acento distintivo o no predecible.

Gráfico 3: Número de fonemas consonánticos y vocálicos

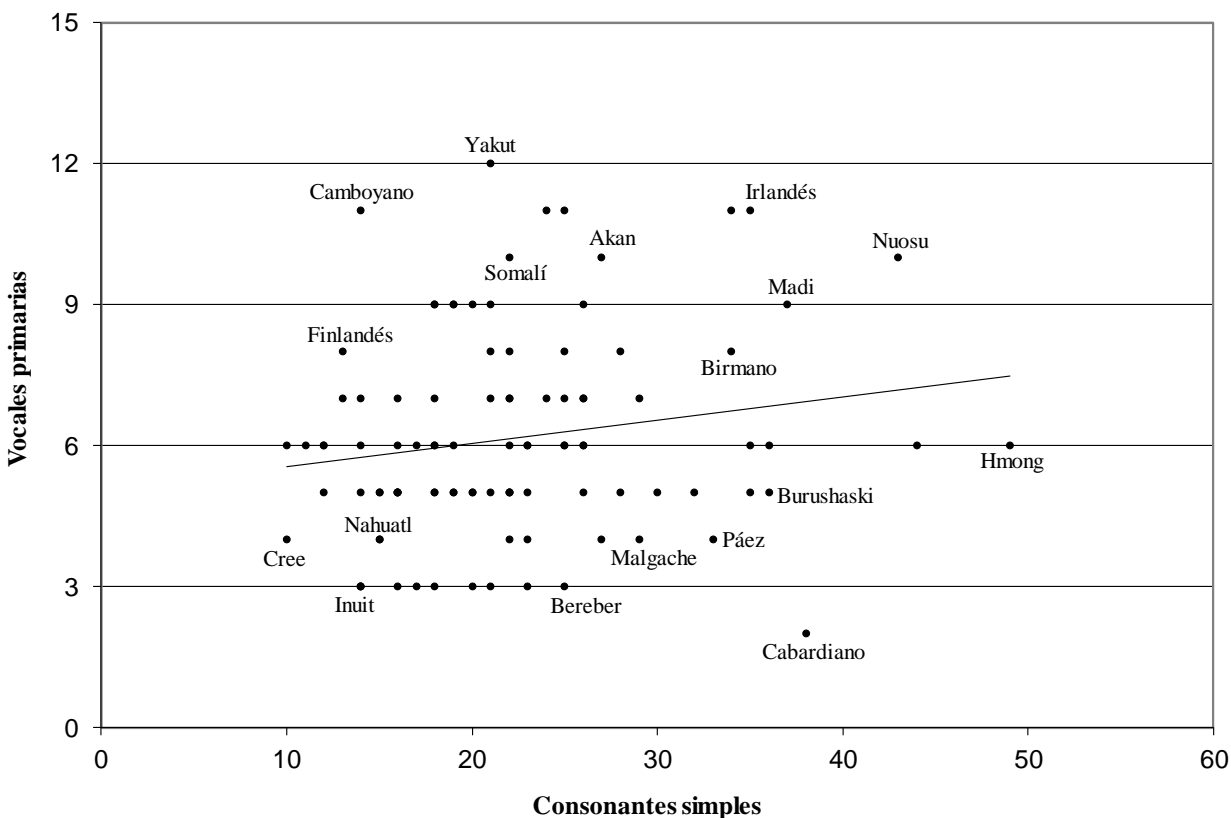


Los valores correspondientes a las distintas variables fonológicas por idioma pueden utilizarse también para calcular correlaciones entre dichas variables. Si tomamos, por ejemplo, el

total de las vocales y el total de las consonantes, observaremos que tal correlación es prácticamente inexistente, ya que el coeficiente de correlación entre esas variables es igual a $-0,0065$. Esto se visualiza en el gráfico 3, en el cual cada punto representa un idioma, y hay una línea con pendiente levemente negativa que representa la correlación entre consonantes y vocales.

Tal como puede verse en el gráfico 3, la mayoría de los idiomas se ubica en un espacio que se extiende entre 5 y 14 vocales, y entre 15 y 35 consonantes. Los idiomas con menos vocales son el chukchi, el quechua, el bereber y el cabardiano (con 3 vocales cada uno) y el que tiene más es el camboyano (con 21 vocales). En cuanto a los fonemas consonánticos, el número mínimo en nuestra muestra es igual a 10 (para los idiomas cree y macushi) y el máximo es 58 (para el hmong).¹⁷ Los idiomas macushi, dani, finlandés y camboyano llaman también la atención por ser los únicos en la muestra que tienen más fonemas vocálicos que consonánticos.

Gráfico 4: Consonantes simples vs. vocales primarias



¹⁷ Hay otros idiomas relativamente importantes que no están en nuestra muestra y que tienen valores por fuera de este rango. El hawaiano, por ejemplo, solo tiene 8 fonemas consonánticos (/p/, /t/, /ʔ/, /m/, /n/, /w/, /r/ y /h/). En el otro extremo, el idioma xun (que se habla en Angola) tiene 94 consonantes.

Si depuramos las cifras de vocales y consonantes, y nos concentramos exclusivamente en las consonantes simples y en las vocales primarias, veremos que el coeficiente de correlación que se obtiene en esta comparación es positivo y más elevado ($r = 0,1753$) que el hallado para la relación entre el número total de consonantes y el número total de vocales. Esto puede observarse en el gráfico 4, en el cual la línea de correlación ahora tiene pendiente positiva.

Tal como se ve en el gráfico 4, los idiomas se hallan aquí agrupados de manera más compacta que en el gráfico 3. Esto se debe a que en su mayoría las lenguas se ubican en el espacio que va entre 4 y 8 vocales primarias, y entre 14 y 26 consonantes simples. No se verifica en nuestra muestra ningún caso con menos consonantes simples que vocales primarias, y el idioma con más vocales primarias (12) resulta ser el yakut (hablado en Rusia, en la zona de Siberia). Con menos vocales primarias (solo 2) nos aparece en cambio el idioma cabardiano (también hablado en Rusia, pero en la zona del Cáucaso), en tanto que para las consonantes simples los extremos siguen siendo el cree y el macushi (con 10 consonantes simples) y el hmong (con 49 consonantes simples).

Cuadro 2. Correlaciones entre variables fonológicas

Concepto	Conson	ConSimp	ConComp	Vocales	VocPrim	VocSec	Tonos	Acento
Consonantes	1.0000							
Cons Simples	0.9207	1.0000						
Cons Complejas	0.5815	0.2179	1.0000					
Vocales	-0.0065	0.0102	-0.0376	1.0000				
Voc Primarias	0.0507	0.1753	-0.2386	0.5797	1.0000			
Voc Secundarias	-0.0404	-0.0996	0.1067	0.8534	0.0699	1.0000		
Tonos	0.0688	0.0344	0.1002	0.0757	0.1890	-0.0282	1.0000	
Acento	-0.0218	0.0017	-0.0582	-0.1059	-0.1079	-0.0607	-0.3238	1.0000

Las correlaciones entre las otras variables fonológicas aparecen reportadas en el cuadro 2. De las cifras del mismo surge que la mayoría de los coeficientes para estas variables de nuestra muestra son pequeños, destacándose solamente como importantes las correlaciones positivas que se dan entre Consonantes y sus dos series componentes (0,9207 respecto de ConSimp, y 0,5815 respecto de ConComp), y las que se establecen entre Vocales y sus dos series componentes (0,5797 respecto de VocPrim, y 0,8534 respecto de VocSec). No hay en cambio coeficientes de correlación realmente significativos entre ConSimp y ConComp ($r = 0,2179$), y mucho menos entre VocPrim y VocSec ($r = 0,0699$). Del resto de los coeficientes, solo parece ser significativo (y negativo) el que mide la correlación entre Tonos y Acento ($r = -0,3238$) y, en menor medida, el que se refiere a la relación entre VocPrim y ConComp ($r = -0,2386$).

La ausencia de correlaciones importantes entre nuestras variables puede tener que ver en alguna medida con la existencia de interacción entre dichas variables, lo cual podría a su vez ocultar efectos que se generaran entre unas variables y otras de manera concomitante. También podría ser que hubiera efectos que se transmitieran a través de factores no lingüísticos (filogenéticos, geográficos, demográficos), como los vistos en la sección anterior. Esos efectos indirectos pueden ser captados a través de la regresión de un sistema de ecuaciones simultáneas como el que surge de las ecuaciones 1 y 2, y del uso de variables instrumentales como las que aparecen cuando se lleva a cabo un procedimiento de estimación por mínimos cuadrados en tres etapas. Eso será precisamente lo que haremos en las próximas secciones de este trabajo, utilizando primero un sistema más agregado y luego otro con un mayor grado de desagregación.

4. Estimación del modelo

4.1. Sistema agregado

El primer sistema de ecuaciones que intentaremos estimar, utilizando el modelo teórico desarrollado en la sección 2 y los datos presentados en la sección 3, consiste en un conjunto de cuatro ecuaciones que relacionan entre sí a las variables que miden el número total de consonantes (C), el número total de vocales (V), el número de tonos (T) y la existencia de acento distintivo o no predecible (A). El sistema en cuestión puede escribirse del siguiente modo:

$$C = c(1) + c(2)*V + c(3)*T + c(4)*A \quad (3) ;$$

$$V = c(11) + c(12)*C + c(13)*T + c(14)*A \quad (4) ;$$

$$T = c(21) + c(22)*C + c(23)*V + c(24)*A \quad (5) ;$$

$$A = c(31) + c(32)*C + c(33)*V + c(34)*T \quad (6) ;$$

donde $c(1)$, $c(2)$, $c(3)$, $c(4)$, $c(11)$, $c(12)$, $c(13)$, $c(14)$, $c(21)$, $c(22)$, $c(23)$, $c(24)$, $c(31)$, $c(32)$, $c(33)$ y $c(34)$ son los coeficientes a estimar a través de un procedimiento de regresión estadística.

Para que estas cuatro ecuaciones representen estrictamente un modelo de optimización, en el cual se supone que los idiomas generan valores que hacen máxima la función “ $W = D - P$ ”, resulta necesario que los coeficientes estimados se interpreten como equivalentes a los parámetros implícitos en la función W . Esto implica que el sistema formado por las ecuaciones 3 a 6 debe transformarse en uno que tenga la siguiente forma:

$$C = \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_{12}}{b_1} \cdot V + \frac{a_{13}}{b_1} \cdot T + \frac{a_{14}}{b_1} \cdot A \quad (7);$$

$$V = \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_{12}}{b_2} \cdot C + \frac{a_{23}}{b_2} \cdot T + \frac{a_{24}}{b_2} \cdot A \quad (8);$$

$$T = \frac{a_3}{b_3} + \frac{a_{13}}{b_3} \cdot C + \frac{a_{23}}{b_3} \cdot V + \frac{a_{34}}{b_3} \cdot A \quad (9);$$

$$A = \frac{a_4}{b_4} + \frac{a_{14}}{b_4} \cdot C + \frac{a_{24}}{b_4} \cdot V + \frac{a_{34}}{b_4} \cdot T \quad (10);$$

donde $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{23}, a_{24}$ y a_{34} son los parámetros de la función W.

Como nuestro modelo supone que los valores de C, V, T y A son elegidos simultáneamente por el sistema fonológico del lenguaje (y son por lo tanto endógenos a dicho sistema), el procedimiento de estimación debe incluir una primera etapa en la cual se reemplace a estas variables por variables instrumentales exógenas. Las mismas surgen de llevar a cabo un conjunto de regresiones previas que relacionan a cada una de estas variables fonológicas con una serie de variables filogenéticas, geográficas y demográficas que influyen desde fuera del sistema. En virtud de los datos con los que contamos, este conjunto de regresiones previas (primera etapa del procedimiento de estimación) adoptará la siguiente forma:

$$\begin{aligned} C = & c(1)*nam + c(2)*cam + c(3)*sam + c(4)*eaf + c(5)*waf + c(6)*eur + c(7)*was \\ & + c(8)*cas + c(9)*eas + c(10)*aus + c(11)*ncon + c(12)*ieur + c(13)*ausn \\ & + c(14)*stib + c(15)*afas + c(16)*altc + c(17)*nsah + c(18)*auas + c(19)*ural \\ & + c(20)*trng + c(21)*nadm + c(22)*algc + c(23)*utaz + c(24)*otom + c(25)*mayn \\ & + c(26)*arwk + c(27)*tupn + c(28)*khos + c(29)*drav + c(30)*pnyn + c(31)*cauc \\ & + c(32)*amaz + c(33)*grnd + c(34)*peqn \end{aligned} \quad (11);$$

$$\begin{aligned} V = & c(41)*nam + c(42)*cam + c(43)*sam + c(44)*eaf + c(45)*waf + c(46)*eur + c(47)*was \\ & + c(48)*cas + c(49)*eas + c(50)*aus + c(51)*ncon + c(52)*ieur + c(53)*ausn \\ & + c(54)*stib + c(55)*afas + c(56)*altc + c(57)*nsah + c(58)*auas + c(59)*ural \\ & + c(60)*trng + c(61)*nadm + c(62)*algc + c(63)*utaz + c(64)*otom + c(65)*mayn \\ & + c(66)*arwk + c(67)*tupn + c(68)*khos + c(69)*drav + c(70)*pnyn + c(71)*cauc \\ & + c(72)*amaz + c(73)*grnd + c(74)*peqn \end{aligned} \quad (12);$$

$$\begin{aligned} T = & c(81)*nam + c(82)*cam + c(83)*sam + c(84)*eaf + c(85)*waf + c(86)*eur + c(87)*was \\ & + c(88)*cas + c(89)*eas + c(90)*aus + c(91)*ncon + c(92)*ieur + c(93)*ausn \\ & + c(94)*stib + c(95)*afas + c(96)*altc + c(97)*nsah + c(98)*auas + c(99)*ural \\ & + c(100)*trng + c(101)*nadm + c(102)*algc + c(103)*utaz + c(104)*otom + c(105)*mayn \\ & + c(106)*arwk + c(107)*tupn + c(108)*khos + c(109)*drav + c(110)*pnyn + c(111)*cauc \\ & + c(112)*amaz + c(113)*grnd + c(114)*peqn \end{aligned} \quad (13);$$

$$A = c(121)*nam + c(122)*cam + c(123)*sam + c(124)*eaf + c(125)*waf + c(126)*eur + c(127)*was$$

$$\begin{aligned}
& +c(128)*cas +c(129)*eas +c(130)*aus +c(131)*ncon +c(132)*ieur +c(133)*ausn \\
& +c(134)*stib +c(135)*afas +c(136)*altc +c(137)*nsah +c(138)*auas +c(139)*ural \\
& +c(140)*trng +c(141)*nadm +c(142)*algc +c(143)*utaz +c(144)*otom +c(145)*mayn \\
& +c(146)*arwk +c(147)*tupn +c(148)*khos +c(149)*drav +c(150)*pnyn +c(151)*cauc \\
& +c(152)*amaz +c(153)*grnd +c(154)*peqn \quad (14) .
\end{aligned}$$

Cuadro 3. Coeficientes estimados en las regresiones de la primera etapa

Variable / Ecuación	Consonantes	Vocales	Tonos	Acento
Norteamérica (nam)	19.83072	7.68941	2.51016	0.64338
Centroamérica (cam)	18.12628	8.16563	1.13890	0.79453
Sudamérica (sam)	24.43336	8.90223	1.37580	0.33336
África oriental (eaf)	33.40024	8.67628	2.63923	0.42870
África occidental (waf)	28.59854	10.45714	2.74898	0.44570
Europa (eur)	26.75707	6.68728	1.70681	0.43138
Asia occidental (was)	30.33140	5.79651	1.78125	0.57325
Asia central (cas)	31.51988	14.32321	2.26860	0.04456
Asia oriental (eas)	26.12883	11.09405	3.03642	0.24308
Australasia (aus)	23.99314	12.54258	2.60916	0.72052
Nigercongoleses (ncon)	-5.31866	0.41060	-0.67955	-0.44302
Indoeuropeos (ieur)	1.35638	1.03155	-0.93499	0.22177
Austronesios (ausn)	-3.91016	-6.04286	-1.68844	-0.32184
Sinotibetanos (stib)	-0.71889	-4.86858	0.70402	-0.07874
Afroasiáticos (afas)	-0.84132	-1.16309	-0.83046	-0.46639
Altaicos (altc)	-5.60483	2.26592	-1.36068	-0.13048
Nilosaharianos (nsah)	-3.94982	1.12851	0.33333	-0.43295
Austroasiáticos (auas)	-6.45421	2.99576	0.42071	0.15423
Urálicos (ural)	-2.72346	5.20656	-0.65072	-0.20982
Transneoguineanos (trng)	-9.99314	-4.54258	-0.27582	-0.38718
Na-Dené (nadm)	11.16993	7.77825	-0.26167	-0.62768
Álgicos (algc)	-10.82943	1.24591	-1.01318	-0.61197
Utoaztecas (utaz)	-2.97785	-1.45986	0.42396	0.29675
Otomanguanos (otom)	-0.12628	-0.66563	1.86110	-0.79453
Mayas (mayn)	2.87372	1.83437	0.36110	-0.79453
Arahuacos (arwk)	-5.77982	0.46607	-0.25735	-0.06394
Tupí (tupn)	-2.81906	1.05587	-1.50046	0.09523
Khoisan (khos)	3.10040	2.79138	0.60926	-0.41300
Dravídicos (drav)	1.92809	-0.18521	-1.12403	-0.31055
Pamañunganos (pnyn)	-3.49185	-7.60726	-1.11218	-0.18911
Caucásicos (cauc)	14.66860	-1.12984	-0.78125	0.42675
Amazónicos (amaz)	-13.22731	-0.98088	2.74630	0.17425
Grandes (grnd)	-2.70746	0.25071	0.19821	0.00330
Pequeños (peqn)	1.99871	0.06469	-0.49698	-0.03141

En este sistema de ecuaciones, las variables *nam*, *cam*, *sam*, *eaf*, *waf*, *eur*, *was*, *cas*, *eas* y *aus* representan las 10 regiones en las cuales hemos dividido al mundo; *ncon*, *ieur*, *ausn*, *stib*, *afas*, *altc*, *nsah*, *auas*, *ural*, *trng*, *nadm*, *algc*, *utaz*, *otom*, *mayn*, *arwk*, *tupn*, *khos*, *drav* y *pnyn* representan las 20 familias que tienen más de un idioma en la muestra; *cauc* y *amaz* son dos variables que

representan a los tres idiomas caucásicos (georgiano, cabardiano y lezguiano) y a los cuatro idiomas amazónicos de la muestra (macushi, guayayara, ticuna y aguaruna); y *grnd* y *peqn* son variables demográficas que representan a los idiomas grandes y pequeños. Todas estas variables son binarias o dicotómicas, ya que adoptan un valor igual a 1 cuando un idioma posee la característica en cuestión (es decir, es parte del grupo denotado por la variable) y 0 cuando un idioma no posee dicha característica.

Lo obtenido de efectuar primero un grupo de regresiones como las del sistema de ecuaciones 11 a 14, por lo tanto, nos servirá para reemplazar los valores de las variables *C*, *V*, *T* y *A* por “valores estimados” de las mismas variables (que llamaremos \hat{C} , \hat{V} , \hat{T} y \hat{A}), y que luego usaremos en las siguientes etapas para llevar a cabo las regresiones correspondientes a sistemas tales como el formado por las ecuaciones 3 a 6, o por las ecuaciones 7 a 10. En el cuadro 3 se exponen los valores obtenidos para los coeficientes $c(1)$ a $c(154)$ de las ecuaciones 11 a 14, estimados por mínimos cuadrados. Cada columna corresponde así a una ecuación, y cada fila a una de las variables binarias de tipo filogenético, geográfico o demográfico.¹⁸

Cuadro 4. Resultados de la estimación por mínimos cuadrados en tres etapas

Concepto	Estimación 2SLS		Estimación 3SLS		Estimac 3SLS (restr)	
	Coefic	Probab	Coefic	Probab	Coefic	Probab
Ecuación 3 (Consonantes)						
Vocales - c(2)	-0.02616	0.9477	-0.12551	0.7470		
Tonos - c(3)	-0.77561	0.4959	-2.40915	0.0261	-2.52512	0.0182
Acento - c(4)	-2.94368	0.4218	-7.20483	0.0402	-6.59862	0.0381
Ecuación 4 (Vocales)						
Consonantes - c(12)	-0.00339	0.9601	-0.02320	0.7258		
Tonos - c(13)	0.40436	0.4492	0.60258	0.2228		
Acento - c(14)	-3.95087	0.0123	-7.19699	0.0000	-7.75289	0.0000
Ecuación 5 (Tonos)						
Consonantes - c(22)	-0.01222	0.5947	-0.05157	0.0184	-0.05417	0.0124
Vocales - c(23)	0.04917	0.4387	0.09113	0.1269		
Acento - c(24)	-0.79208	0.1684	-0.94208	0.0869	-1.50140	0.0018
Ecuación 6 (Acento)						
Consonantes - c(32)	-0.00447	0.5205	-0.01368	0.0406	-0.01100	0.0198
Vocales - c(33)	-0.04626	0.0088	-0.08378	0.0000	-0.08639	0.0000
Tonos - c(34)	-0.07626	0.1585	-0.08301	0.1078	-0.09882	0.0067

La segunda etapa del procedimiento consiste en estimar por mínimos cuadrados el sistema de ecuaciones 3 a 6, reemplazando a *C*, *V*, *T* y *A* por \hat{C} , \hat{V} , \hat{T} y \hat{A} . Esto nos da por resultado los

¹⁸ Esta estimación, al igual que todas las demás que aparecen en el presente trabajo, han sido realizadas con el programa estadístico EViews 10.

coeficientes que aparecen en la primera columna del cuadro 4 (Estimación 2SLS), que luego son usados para calcular una “matriz de covarianzas” de los residuos de la correspondiente estimación. Dicha matriz es la que aparece en el cuadro 5, y es incorporada a la tercera etapa de la estimación (3SLS), cuyos resultados aparecen en las columnas 3 y 4 del cuadro 4.

Cuadro 5. Matriz de covarianzas de los residuos de la segunda etapa

Concepto	Consonantes	Vocales	Tonos	Acento
Consonantes	89.53436	0.70364	3.60601	0.89874
Vocales	0.70364	19.90910	-1.68545	1.37083
Tonos	3.60601	-1.68545	2.31187	0.10107
Acento	0.89874	1.37083	0.10107	0.21239

En rigor, los números reportados en el cuadro 5 son utilizados directamente por el procedimiento de mínimos cuadrados en tres etapas sin necesidad de ser calculados por separado, y lo mismo ocurre con los resultados de las estimaciones de la primera etapa (cuadro 3) y de la segunda etapa (primeras columnas del cuadro 4). Una vez que uno define las ecuaciones a estimar (ecuaciones 3 a 6) y las variables exógenas a emplear como instrumentos (o sea, las que aparecen en las filas del cuadro 3), el procedimiento de 3SLS nos da directamente los resultados que aparecen en las columnas 3 y 4 del cuadro 4.

Una sofisticación adicional que puede hacerse a las estimaciones por mínimos cuadrados en tres etapas es depurar sus resultados de los coeficientes que no resultan estadísticamente significativos al 5% de probabilidad. Esto es lo que hemos hecho en las últimas dos columnas del cuadro 4, en las cuales se muestran los resultados de correr las regresiones de manera “restringida”, suponiendo que los coeficientes $c(2)$, $c(12)$, $c(13)$ y $c(23)$ del sistema de ecuaciones 3 a 6 son iguales a cero. Esto hace que nuestro sistema termine teniendo solamente coeficientes negativos, que corresponden a las relaciones entre consonantes y tonos, consonantes y acento, vocales y acento, y tonos y acento.

4.2. Sistema desagregado

Tal como puede observarse de las cifras informadas en las últimas dos columnas del cuadro 4, la versión agregada del sistema de relaciones entre variables fonológicas, basada en las ecuaciones 3 a 6, generó como resultado la ausencia de una relación significativa entre consonantes y vocales. Sin embargo, en virtud de que nuestra base de datos discrimina entre consonantes

simples y complejas, y entre vocales primarias y secundarias, resulta posible investigar si dichas relaciones existen a un nivel más desagregado (por ejemplo, entre consonantes simples y complejas, o entre alguna de dichas categorías y las vocales primarias o secundarias). Para ello podemos re-expresar nuestro sistema de ecuaciones del siguiente modo:

$$CS = c(1) + c(2)*CC + c(3)*VP + c(4)*VS + c(5)*T + c(6)*A \quad (15) ;$$

$$CC = c(11) + c(12)*CS + c(13)*VP + c(14)*VS + c(15)*T + c(16)*A \quad (16) ;$$

$$VP = c(21) + c(22)*CS + c(23)*CC + c(24)*VS + c(25)*T + c(26)*A \quad (17) ;$$

$$VS = c(31) + c(32)*CS + c(33)*CC + c(34)*VP + c(35)*T + c(36)*A \quad (18) ;$$

$$T = c(41) + c(42)*CS + c(43)*CC + c(44)*VP + c(45)*VS + c(46)*A \quad (19) ;$$

$$A = c(51) + c(52)*CS + c(53)*CC + c(54)*VP + c(55)*VS + c(56)*T \quad (20) ;$$

donde las variables C y V han sido reemplazadas por CS (consonantes simples), CC (consonantes complejas), VP (vocales primarias) y VS (vocales secundarias). Esto hace que el sistema cuente ahora con seis ecuaciones en vez de cuatro.

El sistema formado por las ecuaciones 15 a 20 puede ser estimado utilizando el mismo procedimiento que empleamos en la sección anterior para las ecuaciones 3 a 6 (es decir, mínimos cuadrados en tres etapas). Los principales resultados obtenidos son los que aparecen en el cuadro 6, en el cual se muestran la estimación preliminar de la segunda etapa (2SLS), la estimación por tres etapas que incluye todos los coeficientes posibles (3SLS) y la estimación que solo incluye los coeficientes cuyo valor es estadísticamente significativo (3SLS restr).

Esta nueva estimación implica transformar al sistema de ecuaciones 15 a 20 en el siguiente sistema restringido:

$$CS = c(1) + c(2)*CC + c(3)*VP + c(5)*T \quad (21) ;$$

$$CC = c(11) + c(12)*CS + c(13)*VP + c(14)*VS + c(15)*T \quad (22) ;$$

$$VP = c(21) + c(22)*CS + c(23)*CC + c(25)*T + c(26)*A \quad (23) ;$$

$$VS = c(31) + c(33)*CC + c(36)*A \quad (24) ;$$

$$T = c(41) + c(42)*CS + c(43)*CC + c(44)*VP \quad (25) ;$$

$$A = c(51) + c(54)*VP + c(55)*VS \quad (26) .$$

Tal como se puede ver en las últimas columnas del cuadro 6, todos los coeficientes de la estimación 3SLS restringida son significativos al 1% de probabilidad, y muestran una relación positiva entre consonantes simples y consonantes complejas, consonantes simples y vocales

principales, consonantes complejas y vocales secundarias, consonantes complejas y tonos, y vocales principales y tonos; y una relación negativa entre consonantes simples y tonos, consonantes complejas y vocales principales, vocales principales y acento, y vocales secundarias y acento.

Cuadro 6. Resultados de la estimación del sistema desagregado

Concepto	Estimación 2SLS		Estimación 3SLS		Estimac 3SLS (restr)	
	Coefic	Probab	Coefic	Probab	Coefic	Probab
Ec 15 (Cons simples)						
Cons complejas - c(2)	0.49319	0.0573	1.23742	0.0000	1.07968	0.0000
Voc principales - c(3)	1.13585	0.0448	2.27917	0.0000	2.48667	0.0000
Voc secundarias - c(4)	-0.47317	0.2163	-1.00924	0.0055		
Tonos - c(5)	-1.75358	0.0665	-4.02657	0.0000	-3.96297	0.0000
Acento - c(6)	-1.78911	0.5501	-4.51746	0.1084		
Ec 16 (Cons complejas)						
Cons simples - c(12)	0.16987	0.0160	0.32729	0.0000	0.31014	0.0000
Voc principales - c(13)	-0.84062	0.0010	-1.36820	0.0000	-1.43569	0.0000
Voc secundarias - c(14)	0.32559	0.0642	0.49741	0.0027	0.51733	0.0001
Tonos - c(15)	0.87504	0.0505	1.71426	0.0000	1.66054	0.0000
Acento - c(16)	-0.39624	0.7757	0.09921	0.9404		
Ec 17 (Voc prinicipales)						
Cons simples - c(22)	0.08140	0.0530	0.16078	0.0000	0.17093	0.0000
Cons complejas - c(23)	-0.17491	0.0119	-0.37392	0.0000	-0.36122	0.0000
Voc secundarias - c(24)	0.00174	0.9872	-0.04048	0.6894		
Tonos - c(25)	0.52946	0.0435	0.92102	0.0001	0.92567	0.0000
Acento - c(26)	-1.20677	0.1370	-2.00768	0.0049	-1.99481	0.0001
Ec 18 (Voc secundarias)						
Cons simples - c(32)	-0.07858	0.2736	-0.15867	0.0194		
Cons complejas - c(33)	0.15698	0.1960	0.29082	0.0105	0.27986	0.0009
Voc principales - c(34)	0.00402	0.9883	-0.12394	0.6262		
Tonos - c(35)	-0.11387	0.8032	-0.49033	0.2609		
Acento - c(36)	-2.72806	0.0354	-5.68635	0.0000	-4.86962	0.0000
Ec 19 (Tonos)						
Cons simples - c(42)	-0.04477	0.1339	-0.13634	0.0000	-0.14012	0.0000
Cons complejas - c(43)	0.06486	0.2077	0.23148	0.0000	0.23353	0.0000
Voc primarias - c(44)	0.18861	0.0873	0.47594	0.0000	0.54176	0.0000
Voc secundarias - c(45)	-0.01751	0.8183	-0.09434	0.1978		
Acento - c(46)	-0.70501	0.2182	-0.63751	0.2391		
Ecuación 6 (Acento)						
Cons simples - c(52)	-0.00499	0.6012	-0.01330	0.1373		
Cons complejas - c(53)	-0.00321	0.8442	0.00143	0.9260		
Voc primarias - c(54)	-0.04699	0.1773	-0.07371	0.0161	-0.08831	0.0001
Voc secundarias - c(55)	-0.04584	0.0377	-0.09661	0.0000	-0.09688	0.0000
Tonos - c(56)	-0.07706	0.1872	-0.07788	0.1574		

El sistema de ecuaciones 21 a 26 puede a su vez expresarse en términos de los parámetros de la función de bienestar, y eso hace que quede representado de esta forma:

$$CS = \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_{12}}{b_1} \cdot CC + \frac{a_{13}}{b_1} \cdot VP + \frac{a_{15}}{b_1} \cdot T \quad (27) ;$$

$$CC = \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_{12}}{b_2} \cdot CS + \frac{a_{23}}{b_2} \cdot VP + \frac{a_{24}}{b_2} \cdot VS + \frac{a_{25}}{b_2} \cdot T \quad (28) ;$$

$$VP = \frac{a_3}{b_3} + \frac{a_{13}}{b_3} \cdot CS + \frac{a_{23}}{b_3} \cdot CC + \frac{a_{35}}{b_3} \cdot T + \frac{a_{36}}{b_3} \cdot A \quad (29) ;$$

$$VS = \frac{a_4}{b_4} + \frac{a_{24}}{b_4} \cdot CC + \frac{a_{46}}{b_4} \cdot A \quad (30) ;$$

$$T = \frac{a_5}{b_5} + \frac{a_{15}}{b_5} \cdot CS + \frac{a_{25}}{b_5} \cdot CC + \frac{a_{35}}{b_5} \cdot VP \quad (31) ;$$

$$A = \frac{a_6}{b_6} + \frac{a_{36}}{b_6} \cdot VP + \frac{a_{46}}{b_6} \cdot VS \quad (32) .$$

Tal como puede observarse, en esta nueva estimación aparecen varias relaciones significativas entre consonantes y vocales, que era algo que no existía cuando solo considerábamos al total de fonemas vocálicos y al total de fonemas consonánticos (sistema agregado). Esta mayor desagregación nos permite también interpretar de manera más detallada la interacción entre las variables fonológicas predichas por un modelo de maximización del bienestar que presupone que sus condiciones de optimización son las que aparecen en el sistema de ecuaciones 27 a 32. Para estimar dicho sistema, podemos re-exresar el sistema de ecuaciones 21 a 26 del siguiente modo:

$$CS = c(101) + c(101)*c(102)*CC + c(101)*c(103)*VP + c(101)*c(105)*T \quad (33) ;$$

$$CC = c(111) + c(112)*c(102)*CS + c(112)*c(113)*VP + c(112)*c(114)*VS + c(112)*c(115)*T \quad (34) ;$$

$$VP = c(121) + c(122)*c(103)*CS + c(122)*c(113)*CC + c(122)*c(125)*T + c(122)*c(126)*A \quad (35) ;$$

$$VS = c(131) + c(132)*c(114)*CC + c(132)*c(136)*A \quad (36) ;$$

$$T = c(141) + c(142)*c(105)*CS + c(142)*c(115)*CC + c(142)*c(125)*VP \quad (37) ;$$

$$A = c(151) + c(152)*c(126)*VP + c(152)*c(136)*VS \quad (38) .$$

En este nuevo sistema, hay algunos coeficientes que representan directamente a los parámetros de la función de bienestar. Tal es el caso de los coeficientes $c(102)$, $c(103)$, $c(105)$, $c(113)$, $c(114)$, $c(115)$, $c(125)$, $c(126)$ y $c(136)$, cuyos valores son los estimadores de a_{12} , a_{13} , a_{15} , a_{23} , a_{24} , a_{25} , a_{35} , a_{36} y a_{46} del sistema de ecuaciones 27 a 32. Los coeficientes $c(101)$, $c(112)$, $c(122)$,

$c(132)$, $c(142)$ y $c(152)$, por su parte, son estimadores de $1/b_1$, $1/b_2$, $1/b_3$, $1/b_4$, $1/b_5$ y $1/b_6$, en tanto que el valor de a_1 puede ser considerado como igual a 1, y actuar como numerario de todo el sistema.¹⁹ Realizando ese supuesto, los valores de los parámetros a_2 , a_3 , a_4 , a_5 y a_6 pueden estimarse como iguales a $c(111)/c(112)$, $c(121)/c(122)$, $c(131)/c(132)$, $c(141)/c(142)$ y $c(151)/c(152)$, respectivamente.

4.3. Función de bienestar

El siguiente paso en la tarea de implementar el modelo teórico de la sección 2 con los datos expuestos en la sección 3 consiste en escribir la función de bienestar W implícita en la estimación del sistema de las ecuaciones 33 a 38. Dicho sistema también puede ser estimado por mínimos cuadrados en tres etapas, y genera los siguientes coeficientes: $c(101) = 11,88089$, $c(102) = 0,09278$, $c(103) = 0,21427$, $c(105) = -0,32709$, $c(111) = -0,77567$, $c(112) = 3,22617$, $c(113) = -0,44291$, $c(114) = 0,15586$, $c(115) = 0,52022$, $c(121) = 1,61419$, $c(122) = 0,82140$, $c(125) = 1,19351$, $c(126) = -2,27135$, $c(131) = 4,06578$, $c(132) = 1,75322$, $c(136) = -2,83004$, $c(141) = 1,41639$, $c(142) = 0,44962$, $c(151) = 1,10299$ y $c(152) = 0,03549$.

Aplicando las relaciones expuestas en el último párrafo de la sección anterior entre esos coeficientes y los parámetros de la función de bienestar, dicha función puede a su vez escribirse del siguiente modo:

$$\begin{aligned}
 W = & CS - 0,2404*CC + 1,9652*VP + 2,3190*VS + 3,1502*T + 31,0752*A + 0,0928*CS*CC \\
 & + 0,2143*CS*VP - 0,3271*CS*T - 0,4429*CC*VP + 0,1559*CC*VS \\
 & + 0,5202*CC*T + 1,1935*VP*T - 2,2714*VP*A - 2,8300*VS*A \\
 & - 0,5*(0,0842*CS^2 + 0,3100*CC^2 + 1,2174*VP^2 + 0,5704*VS^2 \\
 & + 2,2241*T^2 + 28,1736*A^2)
 \end{aligned} \tag{39}$$

El sistema formado por las ecuaciones 33 a 38 tiene cuatro coeficientes menos que el sistema formado por las ecuaciones 21 a 26. Esto se debe al hecho de que aquel sistema incorpora una serie de coeficientes que representan parámetros simétricos de la función W , y cada uno de ellos aparece en dos ecuaciones simultáneamente. Resulta por lo tanto posible testear si la reducción en el número de coeficientes del sistema de ecuaciones 33 a 38 altera significativamente los resultados del sistema de ecuaciones 21 a 26, y para ello puede realizarse un test de Wald en el cual los resultados del nuevo sistema sean contrastados contra los del otro sistema. Lo que se

¹⁹ Esto se debe al hecho de que el bienestar es un concepto cuya medida es arbitraria, por lo cual cualquier transformación lineal de la función W es adecuada para utilizar en este contexto.

obtiene es un estadístico χ^2 igual a 0,22778, cuyo valor de probabilidad es 0,9940. Esto indica que dicho estadístico no es significativamente distinto de cero a ningún nivel razonable de probabilidad, por lo cual los resultados del sistema formado por las ecuaciones 33 a 38 pueden considerarse adecuados a la luz de los resultados del modelo básico (es decir, de los resultados de estimar el sistema formado por las ecuaciones 21 a 26).

Los parámetros de la función de bienestar, calculados en base a los coeficientes de las ecuaciones 33 a 38, pueden usarse también para generar un conjunto de coeficientes de correlación parcial para todo el sistema. Dichos coeficientes son iguales a cero para los pares de variables fonológicas para las cuales se da que “ $a_{ij} = 0$ ” pero, para los nueve casos que tienen parámetros que son distintos de cero, los coeficientes de correlación (r_{ij}) pueden calcularse utilizando la siguiente fórmula:

$$r_{ij} = \pm \sqrt{\frac{a_{ij}^2}{b_i \cdot b_j}} \quad (34) ;$$

donde el signo de r_{ij} es positivo o negativo, dependiendo del signo de cada parámetro a_{ij} .

Cuadro 7. Coeficientes de correlación parcial surgidos de la función de bienestar

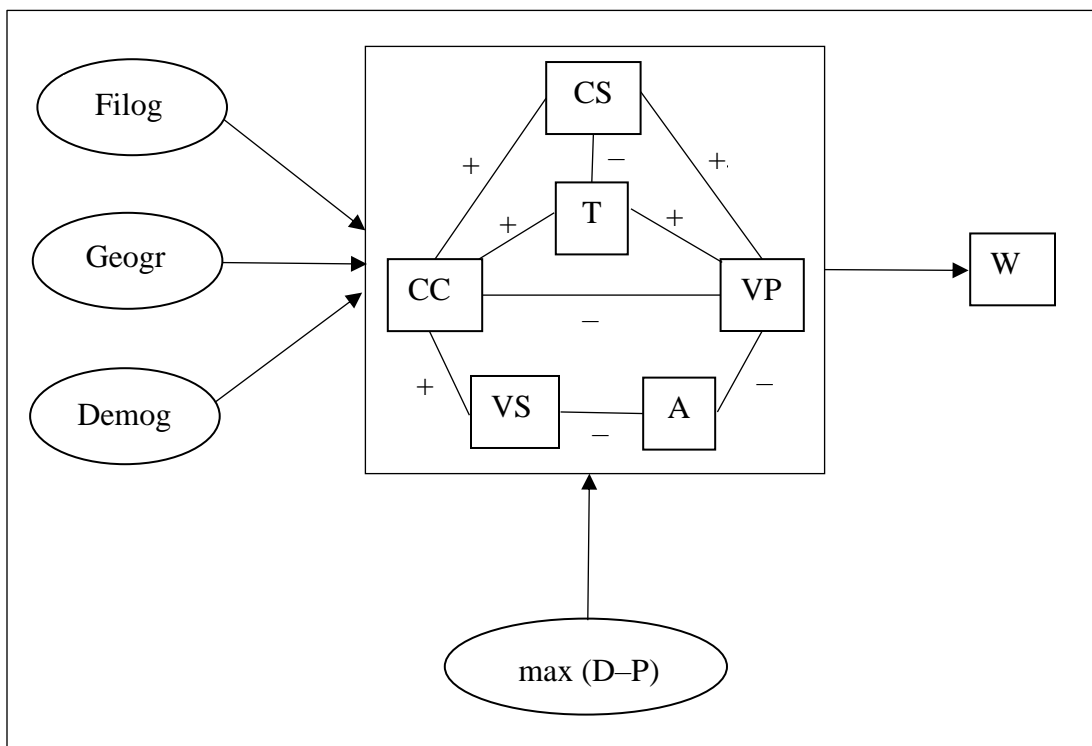
Concepto	ConSimp	ConComp	VocPrim	VocSec	Tonos	Acento
Consonantes simples	1.0000					
Consonantes complejas	0.5744	1.0000				
Vocales primarias	0.6694	-0.7210	1.0000			
Vocales secundarias		0.3707		1.0000		
Tonos	-0.7560	0.6265	0.7253		1.0000	
Acento			-0.3878	-0.7060		1.0000

Estos coeficientes de correlación parcial así calculados son los que aparecen en el cuadro 7. Cuando los comparamos con los coeficientes de correlación simple reportados en el cuadro 2, vemos que los nuevos coeficientes son en todos los casos mayores en valor absoluto. Esto se debe a que estas cifras provienen de una estimación que ha sido restringida para capturar solo las relaciones más significativas entre las variables fonológicas de nuestro sistema, y también a que las mismas provienen de un supuesto según el cual dichas variables han sido elegidas con el objetivo de maximizar una función de bienestar.

La lógica detrás de los coeficientes de correlación informados en el cuadro 7 aparece también en el gráfico 5, que es una transformación del gráfico 1 para el caso particular que hemos

estimado en el presente trabajo. En dicho gráfico se ve que las variables fonológicas, que están dentro del sistema que busca maximizar la diferencia entre D y P, adoptan ciertas relaciones explícitas entre sí, que se basan fundamentalmente en la conexión que se establece entre la cantidad de consonantes simples (CS), la cantidad de consonantes complejas (CC) y la cantidad de vocales primarias (VP) que exhiben en promedio los distintos idiomas. De esta conexión se desprenden a su vez relaciones con las restantes variables, que son el número de tonos (T), las vocales secundarias (VS) y la presencia de acento distintivo (A), en un contexto en el cual, además, esas últimas dos variables están ligadas entre sí a través de una correlación negativa.

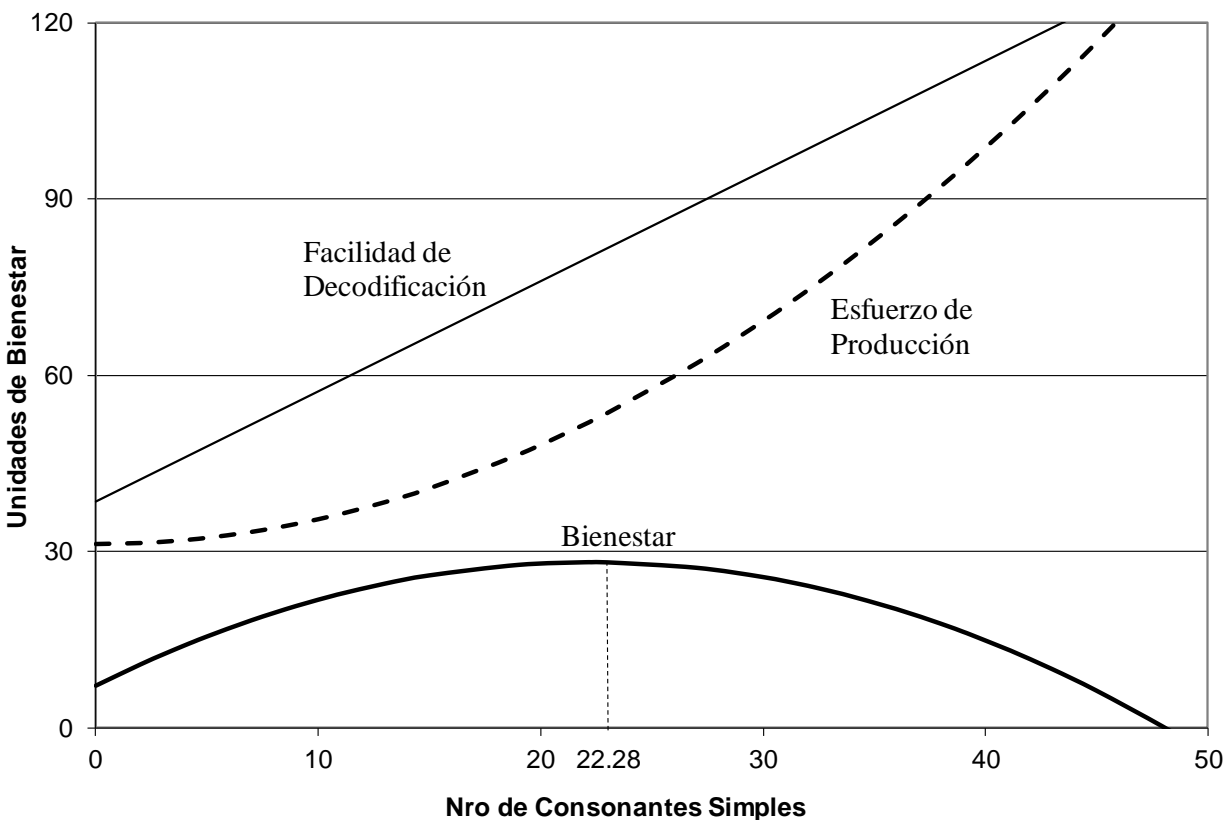
Gráfico 5: Diagrama del sistema fonológico estimado



También son negativas las correlaciones que el sistema establece entre el número de tonos y el de consonantes simples, entre el acento y el número de vocales primarias, y entre dicho número y el de las consonantes complejas. En cambio, las restantes correlaciones generadas por el sistema son positivas, indicando la existencia de algún tipo de complementariedad entre algunas de las variables fonológicas utilizadas (por ejemplo, entre consonantes simples y complejas, o entre consonantes simples y vocales primarias).

Otra manera de representar la forma en la cual el sistema fonológico lleva a cabo el proceso de maximización de W es la que aparece en el gráfico 6. En él hemos dibujado los valores que toma la función de bienestar para distintos números de consonantes simples, suponiendo que las restantes variables adoptan valores iguales a sus promedios en la muestra total de idiomas. Vemos allí que la diferencia entre la facilidad de decodificación y el esfuerzo de producción se hace máxima cuando un idioma tiene 22,28 consonantes simples, que es precisamente el valor promedio de consonantes simples en nuestra base de datos. Esto se debe a que todos los parámetros de la función de bienestar han sido calibrados por el procedimiento estadístico de regresión, a fin de representar una situación en la cual el bienestar se maximiza cuando las variables fonológicas consideradas toman exactamente su valor promedio.

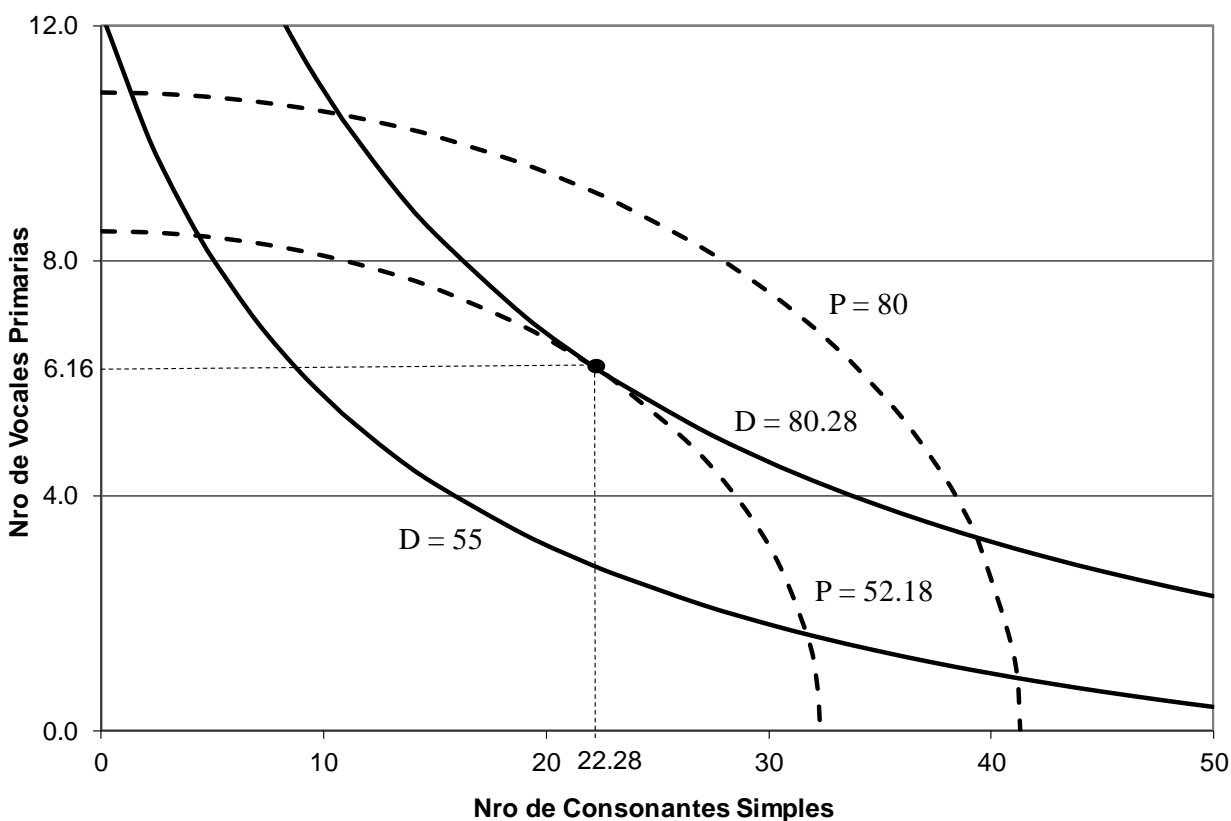
Gráfico 6: Facilidad de decodificación, esfuerzo de producción y bienestar



La interacción entre la facilidad de decodificación y el esfuerzo de producción en la maximización del bienestar puede verse también en el gráfico 7, en el cual ambos conceptos han sido representados en el espacio de consonantes simples versus vocales primarias. Tal como puede

verse, el punto en el cual “CS = 22,28” y “VP = 6,16” (o sea, los valores promedio de nuestra muestra de idiomas) es aquel en el que la facilidad de decodificación es máxima ($D = 80,28$) para cierto nivel de esfuerzo de producción ($P = 52,18$), y también es el lugar en el que dicho esfuerzo de producción es mínimo para ese nivel de facilidad de decodificación.

Gráfico 7: Niveles de facilidad de decodificación y esfuerzo de producción



Por supuesto, también sería posible obtener el mismo valor “ $D = 80,28$ ” con otras combinaciones de consonantes simples y vocales primarias (por ejemplo, con 10,7 consonantes simples y 10,49 vocales primarias, o con 39,37 consonantes simples y 3,29 vocales primarias), pero eso implicaría un esfuerzo de producción mayor ($P = 80$). Del mismo modo, resultaría posible elegir otras combinaciones en las que el esfuerzo de producción fuera “ $P = 52,18$ ” (por ejemplo, con 4,38 consonantes simples y 8,42 vocales primarias, o con 31,72 consonantes simples y 1,65 vocales primarias), pero eso implicaría una menor facilidad de decodificación ($D = 55$).

Nótese que estas últimas alternativas están asociadas con casos en los cuales las curvas de facilidad de decodificación y esfuerzo de producción se cruzan en puntos que se encuentran en

posiciones relativamente extremas en el espacio de consonantes simples versus vocales primarias (es decir, puntos en los que hay muchas consonantes y pocas vocales, o viceversa). Por el contrario, en el punto en el cual el bienestar se maximiza, los valores de las variables fonológicas son más moderados, y la curva de facilidad de decodificación ($D = 80,28$) es tangente a la correspondiente curva de esfuerzo de producción ($P = 52,18$).

5. Consideraciones finales

La interpretación que hemos hecho en este trabajo acerca de las relaciones que pueden establecerse entre las principales variables fonológicas de los idiomas (tonos, acento, consonantes, vocales) nos muestra la factibilidad de utilizar un modelo teórico de optimización para explicar este tipo de relaciones. El enfoque utilizado, sin embargo, no deja de tener ciertas limitaciones, a las que nos referiremos brevemente en esta sección de consideraciones finales.

La primera de dichas limitaciones tiene que ver con que el modelo utilizado no puede testearse fácilmente contra otras explicaciones posibles de las cifras utilizadas. Esto es así porque la metodología empleada “supone” que el modelo es cierto (es decir, que los valores de las variables fonológicas han sido generados por un proceso de maximización) y lo que busca es por lo tanto “descubrir” cuál es la función que ha sido maximizada.

Otro punto a tener en cuenta es que, por la propia lógica del modelo, se supone que las relaciones entre las variables fonológicas son endógenas al proceso que se está estudiando, y por lo tanto resulta necesario incluir variables desde fuera del modelo (filogenéticas, geográficas y demográficas) que sirvan para interpretar por qué unos idiomas eligen unos valores para sus variables y otros eligen valores que son sumamente distintos.

Esto último permite que la significación de los coeficientes estimados se incremente, pero tiene el costo de que el ajuste del modelo a los datos utilizados para estimarlo se resienta de manera considerable. Lo único que se obtiene de forma “casi mágica” es que los coeficientes estimados maximicen la función de bienestar para los valores promedio de toda la muestra, pero eso es a costa de desvíos mucho más pronunciados si uno quiere emplear dichos coeficientes para explicar o para “pronosticar” los valores de las variables fonológicas de un idioma en particular.

El procedimiento es también muy sensible a cambios en los datos utilizados, y sus resultados pueden variar significativamente si modificamos la muestra utilizada. En Coloma (2014), por ejemplo, hay una estimación relativamente parecida utilizando otra muestra (también

de 100 idiomas, pero menos diversa y representativa que la de este trabajo) y empleando solo un sistema agregado (y sin corregir por la posible endogeneidad de las variables fonológicas). Los resultados obtenidos fueron en ese caso muy diferentes, sobre todo si los comparamos con la versión desagregada del sistema estimado en este trabajo.

A pesar de todas estas limitaciones, nos parece que el procedimiento esbozado resulta útil para ilustrar relaciones entre variables lingüísticas que permanecen ocultas cuando se las analiza con métodos menos sofisticados. Eso se ve con claridad en nuestra muestra para el caso de las consonantes y las vocales, cuya correlación parece ser nula cuando se la evalúa haciendo un cálculo directo que no tiene en cuenta la existencia de otras variables, pero que pasa a ser significativa cuando se divide a las consonantes en simples y complejas, y a las vocales en primarias y secundarias, y cuando se recurre a un procedimiento en el cual se tienen en cuenta también las interacciones con otras variables fonológicas (tonos, acento) y con algunas variables exógenas (filogenéticas, geográficas y demográficas).

Referencias bibliográficas

- Bentz, Christian (2018) *Adaptive Languages*. Berlin, De Gruyter.
- Bonamente, Massimiliano (2022) *Statistics and Analysis of Scientific Data*, 3rd edition. New York, Springer.
- Brentari, Diane (2012) Phonology. En Pfau, Roland, Markus Steinbach and Bencie Woll: *Sign Language: An International Handbook*, 21-54. Berlin, De Gruyter.
- Coloma, Germán (2014) Towards a Synergetic Statistical Model of Language Phonology. *Journal of Quantitative Linguistics* 21: 100-122.
- Coloma, Germán (2016) An Optimization Model of Global Language Complexity. *Glottometrics* 35: 49-63.
- Dryer, Matthew & Martin Haspelmath (2013) *The World Atlas of Language Structures Online*. Leipzig, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology.
- Ellis, Nick & Diane Larsen-Freeman (2009) *Language as a Complex Adaptive System*. Ann Arbor, University of Michigan.
- Greene, William (2020) *Econometric Analysis*, 8th edition. Harlow, Pearson.
- Hurford, James (2014) *The Origins of Language*. Oxford, Oxford University Press.
- IPA (1999) *Handbook of the International Phonetic Association*. Cambridge, Cambridge University Press.

- Kirby, Simon & Morten Christiansen (2003) From Language Learning to Language Evolution. En Christiansen, Morten & Simon Kirby: *Language Evolution*, 272-294. Oxford, Oxford University Press.
- Klymenko, Olga & Saniya Yenikeyeva (2022) Synergetic Linguistics as a New Philosophy of Language Studies. *Theory and Practice in Language Studies* 12: 417-423.
- Köhler, Reinhard (2005) Synergetic Linguistics. En Altmann, Gabriel, Reinhard Köhler and Raimund Piotrowski: *Quantitative Linguistics: An International Handbook*, 760-774. Berlin, De Gruyter.
- Rasinger, Sebastian (2013) *Quantitative Research in Linguistics*, 2nd edition. London, Bloomsbury.
- Sundaram, Rangarajan (1996): *A First Course in Optimization Theory*. Cambridge, Cambridge University Press.

Apéndice 1: Lista de idiomas

Idioma	Género	Familia	Area	País	Tamaño
Aguaruna	Awajún	Jívara	Sudamérica	Perú	Pequeño
Akan	Kwa	Nigercongolesa	Africa Occidental	Ghana	Mediano
Albanés	Albánico	Indoeuropea	Europa	Albania	Mediano
Arabe	Semítico	Afroasiática	Asia Occidental	Arabia Saudita	Grande
Arrernte	Arándico	Pamañungana	Australasia	Australia	Pequeño
Aymara	Aymara	Aymara	Sudamérica	Bolivia	Mediano
Bambara	Mande	Nigercongolesa	Africa Occidental	Mali	Mediano
Bereber	Bereber	Afroasiática	Africa Occidental	Marruecos	Mediano
Birmano	Búrmico	Sinotibetana	Asia Central	Myanmar	Grande
Brahui	Dravídico Norteño	Dravídica	Asia Occidental	Pakistán	Mediano
Buginés	Sulawesi	Austronesia	Australasia	Indonesia	Mediano
Burushaski	Burushaskio	Burushaskia	Asia Occidental	Pakistán	Mediano
Cabardiano	Circasiano	Caucásica Occidental	Asia Occidental	Rusia	Mediano
Camboyano	Khmer	Austroasiática	Asia Oriental	Camboya	Grande
Cheroqui	Iroqués Meridional	Iroquesa	Norteamérica	Estados Unidos	Pequeño
Choctaw	Muskogeano	Muskogeano	Norteamérica	Estados Unidos	Pequeño
Chukchi	Chukotco	Paleosiberiana	Asia Oriental	Rusia	Pequeño
Coreano	Coreánico	Coreánica	Asia Oriental	Corea	Grande
Cree	Algonquiano Central	Algica	Norteamérica	Canadá	Pequeño
Dani	Dani	Transneoguineana	Australasia	Indonesia	Mediano
Dholuo	Nilótico	Nilosahariana	Africa Oriental	Kenia	Mediano
Enga	Engano	Transneoguineana	Australasia	Papúa Nueva Guinea	Mediano
Español	Latino	Indoeuropea	Europa	España	Grande
Evenki	Tungúsico	Altaica	Asia Oriental	Rusia	Pequeño
Filipino	Filipino Central	Austronesia	Australasia	Filipinas	Grande
Finlandés	Fínico	Urálica	Europa	Finlandia	Mediano
Fiyiano	Océánico	Austronesia	Australasia	Fiyi	Mediano
Fulani	Senegambiano	Nigercongolesa	Africa Occidental	Mali	Grande
Garifuna	Caribeño	Arahuaca	Centroamérica	Belize	Mediano
Georgiano	Kartveliano	Caucásica Meridional	Asia Occidental	Georgia	Mediano
Griego	Helénico	Indoeuropea	Europa	Grecia	Grande
Guaraní	Guaranítico	Tupí	Sudamérica	Paraguay	Mediano
Guayayara	Tenetehara	Tupí	Sudamérica	Brasil	Pequeño
Guaymi	Guáimico	Chibcha	Centroamérica	Panamá	Mediano
Hausa	Chádico	Afroasiática	Africa Occidental	Nigeria	Grande
Hindi	Indico	Indoeuropea	Asia Central	India	Grande
Hmong	Hmónguico	Hmong-Mien	Asia Oriental	China	Mediano
Húngaro	Ugrico	Urálica	Europa	Hungría	Grande
Ijo	Ijoide	Nigercongolesa	Africa Occidental	Nigeria	Mediano
Indonesio	Malayo	Austronesia	Australasia	Indonesia	Grande
Inglés	Germánico	Indoeuropea	Europa	Reino Unido	Grande
Inuit	Esquimal	Esquimoaleutiana	Norteamérica	Canadá	Pequeño
Irlandés	Celta	Indoeuropea	Europa	Irlanda	Mediano
Japonés	Japónico	Japónica	Asia Oriental	Japón	Grande
Kabiye	Gur	Nigercongolesa	Africa Occidental	Togo	Mediano
Kanuri	Sahariano	Nilosahariana	Africa Oriental	Nigeria	Mediano
Karen	Karéxico	Sinotibetana	Asia Central	Myanmar	Mediano
Khoekhoe	Khoe-Kwadi	Khoisan	Africa Oriental	Namibia	Mediano
Kiché	Quicheano	Maya	Centroamérica	Guatemala	Mediano
Lezguiano	Lézguico	Caucásica Oriental	Asia Occidental	Rusia	Mediano
Macushi	Pemongano	Caribe	Sudamérica	Guyana	Pequeño

Idioma	Género	Familia	Area	País	Tamaño
Madi	Sudánico Central	Nilosahariana	Africa Oriental	Uganda	Mediano
Makasae	Timor-Alor-Pantar	Transneoguineana	Australasia	Timor Oriental	Mediano
Malgache	Barito	Austronesia	Africa Oriental	Madagascar	Grande
Mandarín	Sinítico	Sinotibetana	Asia Oriental	China	Grande
Manggarai	Sumba-Flores	Austronesia	Australasia	Indonesia	Mediano
Mapuche	Araucano	Araucana	Sudamérica	Chile	Mediano
Meithei	Manipuri	Sinotibetana	Asia Central	India	Mediano
Mikmaq	Algonquiano Oriental	Algica	Norteamérica	Canadá	Pequeño
Miskito	Misumalpa	Misumalpa	Centroamérica	Nicaragua	Mediano
Mixteco	Mixteco	Otomangueana	Centroamérica	México	Mediano
Mongol	Mongólico	Altaica	Asia Central	Mongolia	Mediano
Nahuatl	Azteca	Utoazteca	Centroamérica	México	Mediano
Navajo	Apache	Na-Dené	Norteamérica	Estados Unidos	Mediano
Nuosu	Lolo	Sinotibetana	Asia Central	China	Mediano
Páez	Paezano	Paezana	Sudamérica	Colombia	Pequeño
Paiwan	Formosano Meridional	Austronesia	Asia Oriental	Taiwán	Pequeño
Persa	Iranio	Indoeuropea	Asia Occidental	Irán	Grande
Purepecha	Tarasco	Tarasca	Norteamérica	México	Mediano
Quechua	Quechua	Quechua	Sudamérica	Perú	Mediano
Raramuri	Tarahumara	Utoazteca	Norteamérica	México	Pequeño
Ruso	Eslavo	Indoeuropea	Europa	Rusia	Grande
Saami	Lapónico	Urálica	Europa	Noruega	Pequeño
Sandawe	Sandawe	Khoisan	Africa Oriental	Tanzania	Pequeño
Sango	Ubangi	Nigercongolesa	Africa Oriental	Rep. Centroafricana	Mediano
Santali	Munda	Austroasiática	Asia Central	India	Mediano
Sioux	Dakota	Siouana	Norteamérica	Estados Unidos	Pequeño
Slavey	Atabascano Norteño	Na-Dené	Norteamérica	Canadá	Pequeño
Somalí	Cushítico	Afroasiática	Africa Oriental	Somalia	Grande
Suajili	Bantú	Nigercongolesa	Africa Oriental	Tanzania	Grande
Tailandés	Zhuang-Tai	Tai-Kadai	Asia Central	Tailandia	Grande
Telugu	Dravídico Central	Dravídica	Asia Central	India	Grande
Temne	Mel	Nigercongolesa	Africa Occidental	Sierra Leona	Mediano
Tibetano	Bódico	Sinotibetana	Asia Central	China	Mediano
Ticuna	Ticuna	Ticuna-Yuri	Sudamérica	Brasil	Pequeño
Totonac	Totonaco	Totonaca	Centroamérica	México	Mediano
Turco	Túrquico Oghuz	Altaica	Asia Occidental	Turquía	Grande
Udmurt	Pérmico	Urálica	Asia Occidental	Rusia	Mediano
Uzbeco	Túrquico Karluk	Altaica	Asia Occidental	Uzbekistán	Grande
Vasco	Vascónico	Vascónica	Europa	España	Mediano
Vietnamita	Viético	Austroasiática	Asia Oriental	Vietnam	Grande
Warlpiri	Ngárrkico	Pamañungana	Australasia	Australia	Pequeño
Wayuu	Guajiro	Arahuaca	Sudamérica	Venezuela	Mediano
Wolaita	Omótico	Afroasiática	Africa Oriental	Etiopía	Mediano
Yakut	Túrquico Siberiano	Altaica	Asia Oriental	Rusia	Mediano
Yoruba	Yoruboide	Nigercongolesa	Africa Occidental	Nigeria	Grande
Yucateco	Yucateco	Maya	Centroamérica	México	Mediano
Zapoteco	Zapoteco	Otomangueana	Centroamérica	México	Mediano
Zarma	Songhay	Nilosahariana	Africa Occidental	Níger	Mediano
Zoque	Zoque	Mixe-Zoque	Centroamérica	México	Mediano

Apéndice 2: Valores de las variables fonológicas

Idioma	Conson	ConSimp	ConComp	Vocales	VocPrim	VocSec	Tonos	Acento
Aguaruna	15	15	0	8	4	4	1	1
Akan	27	27	0	10	10	0	3	0
Albanés	29	29	0	7	7	0	1	0
Arabe	29	23	6	6	3	3	1	0
Arrernte	27	27	0	4	4	0	1	1
Aymara	26	21	5	6	3	3	1	0
Bambara	21	21	0	14	7	7	2	0
Bereber	34	25	9	3	3	0	1	0
Birmanio	34	34	0	11	8	3	4	0
Brahui	28	28	0	8	5	3	1	0
Buginés	19	19	0	6	6	0	1	0
Burushaski	36	36	0	10	5	5	1	1
Cabardiano	53	38	15	3	2	1	1	1
Camboyano	16	14	2	21	11	10	1	1
Cheroqui	23	23	0	11	6	5	6	0
Choctaw	16	16	0	9	3	6	1	1
Chukchi	14	14	0	3	3	0	1	0
Coreano	19	19	0	18	9	9	1	0
Cree	10	10	0	7	4	3	1	0
Dani	13	13	0	14	7	7	1	1
Dholuo	26	26	0	9	9	0	3	0
Enga	15	15	0	5	5	0	5	0
Español	18	18	0	5	5	0	1	1
Evenki	18	18	0	13	7	6	1	0
Filipino	16	16	0	5	5	0	1	1
Finlandés	13	13	0	16	8	8	1	0
Fiyiano	16	16	0	10	5	5	1	0
Fulani	27	24	3	7	7	0	1	0
Garifuna	17	17	0	6	6	0	1	1
Georgiano	28	22	6	5	5	0	1	1
Griego	18	18	0	5	5	0	1	1
Guaraní	18	18	0	12	6	6	1	1
Guayayara	14	14	0	7	7	0	1	0
Guaymí	25	25	0	16	8	8	1	1
Hausa	28	22	6	10	5	5	2	0
Hindi	34	34	0	19	11	8	1	0
Hmong	58	49	9	8	6	2	7	0
Húngaro	25	25	0	14	7	7	1	0
Ijo	20	18	2	18	9	9	2	0
Indonesio	18	18	0	6	6	0	1	0
Inglés	24	24	0	11	11	0	1	1
Inuit	14	14	0	6	3	3	1	0
Irlandés	35	35	0	11	11	0	1	0
Japonés	16	16	0	10	5	5	2	0
Kabiye	21	19	2	9	9	0	2	0
Kanuri	22	22	0	7	7	0	2	0
Karen	25	25	0	14	11	3	4	0
Khoekhoe	31	12	19	8	5	3	4	0
Kiché	22	16	6	10	5	5	1	0
Lezguiano	54	44	10	6	6	0	1	1
Macushi	10	10	0	12	6	6	1	1

Idioma	Conson	ConSimp	ConComp	Vocales	VocPrim	VocSec	Tonos	Acento
Madi	45	37	8	9	9	0	3	0
Makasae	14	14	0	5	5	0	1	0
Malgache	29	29	0	4	4	0	1	0
Mandarín	19	19	0	5	5	0	4	0
Manggarai	26	26	0	6	6	0	1	1
Mapuche	22	22	0	6	6	0	1	0
Meithei	25	25	0	6	6	0	2	0
Mikmaq	12	12	0	11	6	5	1	0
Miskito	14	14	0	6	3	3	2	0
Mixteco	16	16	0	10	6	4	3	0
Mongol	26	26	0	14	7	7	1	0
Nahuatl	15	15	0	8	4	4	1	1
Navajo	28	23	5	16	4	12	2	0
Nuosu	43	43	0	10	10	0	3	0
Páez	35	33	2	16	4	12	1	1
Paiwan	22	22	0	4	4	0	1	0
Persa	23	23	0	6	6	0	1	1
Purepecha	25	25	0	6	6	0	1	1
Quechua	25	20	5	3	3	0	1	0
Raramuri	19	19	0	5	5	0	3	1
Ruso	36	36	0	6	6	0	1	1
Saami	35	35	0	10	5	5	1	0
Sandawe	44	26	18	15	5	10	2	0
Sango	26	22	4	12	7	5	3	0
Santali	21	21	0	14	8	6	1	0
Sioux	29	22	7	8	5	3	1	1
Slavey	36	30	6	15	5	10	2	0
Somalí	22	22	0	10	10	0	3	0
Suajili	32	32	0	5	5	0	1	0
Tailandés	21	21	0	18	9	9	5	0
Telugu	35	35	0	12	6	6	1	0
Temne	19	18	1	9	9	0	2	0
Tibetano	28	28	0	8	8	0	2	0
Ticuna	11	11	0	6	6	0	10	0
Totonac	17	17	0	6	3	3	1	1
Turco	22	22	0	8	8	0	1	0
Udmurt	26	26	0	7	7	0	1	1
Uzbeco	26	26	0	6	6	0	1	0
Vasco	23	23	0	5	5	0	1	1
Vietnamita	22	20	2	11	9	2	8	0
Warlpiri	18	18	0	6	3	3	1	0
Wayuu	14	14	0	12	6	6	1	0
Wolaita	29	21	8	10	5	5	2	0
Yakut	21	21	0	19	12	7	1	1
Yoruba	18	16	2	11	7	4	3	0
Yucateco	20	15	5	10	5	5	2	0
Zapoteco	20	20	0	5	5	0	3	0
Zarma	20	20	0	16	5	11	4	0
Zoque	12	12	0	6	6	0	1	1
Promedio	24.01	22.28	1.73	9.21	6.16	3.05	1.85	30%

Apéndice 3: Fuentes de los datos

- Abbott, Miriam (1991) Macushi. En Derbyshire, Desmond & Geoffrey Pullum: *Handbook of Amazonian Languages* 3: 23-160. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Abtahian, Maya, Manasvi Chaturvedi & Cameron Greenop (2024) Garifuna. *Journal of the International Phonetic Association* 54: 381-398.
- Aikio, Ante & Jussi Ylikoski (2022) North Saami. En Bakró-Nagy, Marianne: *The Oxford Guide to the Uralic Languages*, 147-177. Oxford, Oxford University Press.
- Alvarez, José (2021) Panorama de la fonología y la morfología de la lengua wayuu. *Letras* 61(98): 47-92.
- Arvaniti, Amalia (1999) Standard Modern Greek. *Journal of the International Phonetic Association* 29: 167-172.
- Barclay, Peter (2008) *A Grammar of Western Dani*. Munich, Lincom Europa.
- Bendezú, Raúl & Jorge Acurio (2024) Cuzco Quechua. En Urban, Matthias: *The Oxford Guide to the Languages of the Central Andes*. Oxford, Oxford University Press.
- Bendor-Samuel, David (2009) *A Phonemic Analysis of Guajajara*. Anápolis, SIL International.
- Bertet, Denis (2021) Tikuna, a Ten-Toneme Language in Amazonia. *Amerindia* 43: 55-101.
- Bhaskararao, Peri & Arpita Ray (2017) Telugu. *Journal of the International Phonetic Association* 47: 231-241.
- Blackings, Mairi & Nigel Fabb (2003) *A Grammar of Ma'di*. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Boeschoten, Hendrik (2022) Uzbek. En Johanson, Lars: *The Turkic Languages*, 2nd edition, 388-408. London, Routledge.
- Boyd, Adam (2013) *Enga for English Speakers*. Ukarumpa, SIL International.
- Breedveld, J. O. (1995) *Form and Meaning in Fulfulde: A Morphophonological Study of Maansinankoore*. Leiden, Leiden University.
- Breen, Gavan & Veronica Dobson (2005) Central Arrernte. *Journal of the International Phonetic Association* 35: 249-254.
- Broadwell, George (2006) *A Choctaw Reference Grammar*. Lincoln, University of Nebraska Press.
- Brugman, Johanna (2009) *Segments, Tones and Distribution in Khoekhoe Prosody*, Ph.D. Dissertation. Ithaca, Cornell University.
- Caballero, Gabriela (2022) *A Grammar of Choguita Rarámuri*. Berlin, Language Science Press.
- Can Pixabaj, Thelma (2017) K'iche'. En Aissen Judith, Nora England & Roberto Zavala: *The Mayan Languages*, 461-499. London, Routledge.
- Chamoreau, Claudine (2024) Purepecha: An Isolate Non-Mesoamerican Language in Mesoamerica. En Wichmann, Soren: *The Languages and Linguistics of Mexico and Northern Central America*. Berlin, De Gruyter.
- Chang, Anna (2006) *A Reference Grammar of Paiwan*, Ph.D. Dissertation. Canberra, Australian National University.

- Chelliah, Shobhana (1997) *A Grammar of Meithei*. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Coler, Matt (2024) Aymara. En Urban, Matthias: *The Oxford Guide to the Languages of the Central Andes*. Oxford, Oxford University Press.
- Contini-Morava, Ellen (1997) Swahili Phonology. En Kaye, Alan: *Phonologies of Asia and Africa*, 841-860. University Park, Pennsylvania State University Press.
- Coretta, Stefano, Josiane Riverin, Enkeleida Kapia & Stephen Nichols (2023) Northern Tosk Albanian. *Journal of the International Phonetic Association* 53: 1122-1144.
- Correia, Adérito (2011) *Describing Makasae: A Trans-New Guinea Language of East Timor*, Ph.D. Dissertation. Penrith, University of Western Sydney.
- Dorais, Louis-Jacques (2014) *The Language of the Inuit*. Montreal, McGill-Queen's University Press.
- Dunn, Michael (1999) *A Grammar of Chukchi*, Ph.D. Dissertation. Canberra, Australian National University.
- Eaton, Helen (2006) Sandawe. *Journal of the International Phonetic Association* 36: 235-242.
- Edmonson, Jerold & John Esling (2017) Nuosu Yi. *Journal of the International Phonetic Association* 47: 87-97.
- Elfenbein, Josef (1998) Brahui. En Steever, Sanford: *The Dravidian Languages*, 388-414. London, Routledge.
- Estigarribia, Bruno (2020) *A Grammar of Paraguayan Guarani*. London, UCL Press.
- Ghosh, Arun (2008) Santali. En Anderson, Gregory: *The Munda Languages*, 11-98. London, Routledge.
- Green, Christopher (2010) *Prosodic Phonology in Bamana (Bambara)*, Ph.D. Dissertation. Bloomington, Indiana University.
- Gordon, Matthew & Ayla Applebaum (2014) Kabardian. En Genetti, Carol: *How Languages Work*, 375-388. New York, Cambridge University Press.
- Haiman, John (2011) *Cambodian*. Amsterdam, John Benjamins.
- Harry, Otelemate (2003) Kalabari-Ijo. *Journal of the International Phonetic Association* 33: 113-120.
- Haspelmath, Martin (1993) *A Grammar of Lezgian*. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Herlihy, Laura (2017) *Yamni Balram: A Miskitu Grammar and Workbook*. Lawrence, University of Kansas.
- Howe, Penelope (2021) Central Malagasy. *Journal of the International Phonetic Association* 51: 103-136.
- Hualde, José & Jon Urbina (2003) *A Grammar of Basque*. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Hutchison, John (2023) *Introduction to the Kanuri Language*. East Lansing, Michigan State University.
- Ingham, Bruce (2003) *Lakota (Sioux)*. Munich, Lincom Europa.

- Janhunen, Juha (2012) *Mongolian*. Amsterdam, John Benjamins.
- Jarkey, Nerida (2015) *Serial Verbs in White Hmong*. Leiden, Brill.
- Jung, Ingrid (2008) *Gramática del páez o nasa yuwe*. Munich, Lincom Europa.
- Kanu, Sullay & Benjamin Tucker (2010) Temne. *Journal of the International Phonetic Association* 40: 247-253.
- Karlsson, Fred (2018) *Finnish: A Comprehensive Grammar*. London, Routledge.
- Kato, Atsuhito (2003) Pwo Karen. En Thurgood, Graham & Randy LaPolla: *The Sino-Tibetan Languages*, 632-648. London, Routledge.
- Kirby, James (2011) Vietnamese (Hanoi Vietnamese). *Journal of the International Phonetic Association* 41: 381-392.
- Lee, Hyun Bok (1999) Korean. En IPA (1999), 120-123.
- Lee, Wai-Sum & Eric Zee (2003) Standard Chinese (Beijing). *Journal of the International Phonetic Association* 33: 109-112.
- Macaulay, Monica (1996) *A Grammar of Chalcatongo Mixtec*. Berkeley, University of California Press.
- MacKay, Caroline (1994) A Sketch of Misantla Totonac Phonology. *International Journal of American Linguistics* 60: 369-419.
- Majidi, Mohammad & Elmar Ternes (1999) Persian (Farsi). En IPA (1999), 124-125.
- Martínez, Eugenio, Ana Fernández & Josefina Carrera (2003). Castilian Spanish. *Journal of the International Phonetic Association* 33: 255-260.
- McDermott, Luke (2017) *An Investigation of the Spatial Semantics of Chiapas Zoque*, Ph.D. Dissertation. Manchester, University of Manchester.
- McDonough, Joyce (2003) *The Navajo Sound System*. Amsterdam, Kluwer.
- Menz, Astrid & Vladimir Monastirev (2022) Yakut. En Johanson, Lars: *The Turkic Languages*, 2nd edition, 444-459. London, Routledge.
- Montgomery-Anderson, Brad (2008) *A Reference Grammar of Oklahoma Cherokee*, Ph.D. Dissertation. Lawrence, University of Kansas.
- Nash, David (1986) *Topics in Warlpiri Grammar*. New York, Garland.
- Nedjalkov, Igor (1997) *Evenki*. London, Routledge.
- Ní Chasaide, Ailbhe (1999) Irish. En IPA (1999), 111-116.
- Njuki, Muriithi (2016) *The Phonological and Lexical Variation within Kisumu-South Nyanza Dialect of Dholuo*, M.A. Thesis. Nairobi, University of Nairobi.
- Noorduyn, J. (2012) The Bugis Language. En Macknight, Campbell: *Bugis and Makasar: Two Short Grammars*, 33-55. Canberra, Karuda.
- Ohala, Manjari (1999). Hindi. En IPA (1999), 100-103.
- Okada, Hideo (1999) Japanese. En IPA (1999), 117-119.

- Osam, Emmanuel (1994). *Aspects of Akan Grammar*, Ph.D. Dissertation. Eugene, University of Oregon.
- Oumaou, Bourahima (1993) *Eléments de description du zarma (Niger)*, Ph.D. Dissertation. Grenoble, Stendhal University.
- Overall, Simon (2007) *A Grammar of Aguaruna*, Ph.D. Dissertation. Bundoora, La Trobe University.
- Padayodi, Cécile (2008) Kabiye. *Journal of the International Phonetic Association* 38: 215-221.
- Pickett, Velma, María Villalobos & Stephen Marlett (2010) Isthmus (Juchitán) Zapotec. *Journal of the International Phonetic Association* 40: 365-372.
- Pulleyblank, Douglas (2009) Yoruba. En Comrie, Bernard: *The World's Major Languages*, 2nd edition, 866-882. London, Routledge.
- Quesada, Miguel (2008) *Gramática de la lengua guaymí (ngäbe)*. Munich, Lincom.
- Rice, Keren (1989) *A Grammar of Slave*. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Ridouane, Rachid (2014) Tashlhiyt Berber. *Journal of the International Phonetic Association* 44: 207-221.
- Roach, Peter (2004). British English: Received Pronunciation. *Journal of the International Phonetic Association* 34: 239-245.
- Saeed, John (1999) *Somali*. Amsterdam, John Benjamins.
- Sadowsky, Scott, Héctor Painequeo, Gastón Salamanca & Heriberto Avelino (2013) Mapudungun. *Journal of the International Phonetic Association* 43: 87-96.
- Schuh, Russell & Lawan Yalwa (1999) Hausa. En IPA (1999), 90-95.
- Schütz, Albert (1985) *The Fijian Language*. Honolulu, University of Hawaii Press.
- Shosted, Ryan & Vakhtang Chikovani (2006) Standard Georgian. *Journal of the International Phonetic Association* 36: 255-264.
- Smith, Alexander (2017) Burushaski. En Campbell, Lyle: *Language Isolates*, 117-138. London, Routledge.
- Soderbergh, Craig & Kenneth Olson (2008). Indonesian. *Journal of the International Phonetic Association* 38: 209-213.
- Steeves, Sydney (2022) *A Reexamination of Newfoundland Mi'kmaq Phonetics*, M.A. Thesis. St. John's, Memorial University of Newfoundland.
- Szende, Tamás (1999) Hungarian. En IPA (1999), 104-107.
- Thelwall, Robin & Akram Sa'adeddin (1999) Arabic. En IPA (1999), 51-54.
- Tingsabath, Kalaya & Arthur Abramson (1999) Thai. En IPA (1999), 147-150.
- Verheijen, J. A. J. & Charles Grimes (1994) Manggarai. En Tryon, Darrell: *Comparative Austronesian Dictionary*, 585-592. Berlin, Mouton de Gruyter.
- Wakasa, Motomichi (2008) *A Descriptive Study of the Modern Wolaytta Language*, Ph.D. Dissertation. Tokyo, University of Tokyo.

- Walker, James & William Samarin (1997) Sango Phonology. En Kaye, Alan: *Phonologies of Asia and Africa*, 861-880. University Park, Pennsylvania State University Press.
- Watkins, Justin (2001) Burmese. *Journal of the International Phonetic Association* 31: 291-295.
- Winkler, Eberhard (2001) *Udmurt*. Munich, Lincom Europa.
- Wolgemuth, Carl (2007) *Nahuatl Grammar*. Dallas, SIL International.
- Wolvengrey, Arok (2011) *Semantic and Pragmatic Functions in Plains Cree Syntax*, Ph.D. Dissertation. Amsterdam, University of Amsterdam.
- Yanushevskaya, Irena & Daniel Buncic (2015). Russian. *Journal of the International Phonetic Association* 45: 221-228.
- Yoshida, Shigeto (2014) *Guía gramatical de la lengua maya yucateca*. Sendai, Tohoku University.
- Zamar, Sheila (2023) *Filipino: An Essential Grammar*. London, Routledge.
- Zhang, Yubin (2024). Central Tibetan (Lhasa). *Journal of the International Phonetic Association*, in press.
- Zimmer, Karl & Orhan Orgun (1999) Turkish. En IPA (1999), 154-156.