

PERSPECTIVAS ACTUALES EN EL ANÁLISIS DEL HABLA: ENFOQUES INTERDISCIPLINARIOS DE LA FFT DESDE LA LINGÜÍSTICA PARA LA ACÚSTICA FORENSE

Rocío Pérez Vargas¹

¹ Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada; Universidad de Cádiz
{e-mail: rocio.perez@uca.es}

Resumen

En el campo de la lingüística forense, la fonética forense se destaca como una rama prominente. Una faceta intrigante de investigación en este ámbito radica en comprender cuánto altera el entorno y las características sociológicas la voz de un hablante. Con el propósito de examinar el habla en diversos entornos acústicos mediante el análisis de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), este estudio se estructura en dos etapas distintas: en primer lugar, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la calidad acústica de las cámaras semianecoica y reverberante del Instituto de Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz, así como de un aula ubicada en las instalaciones mencionadas. Posteriormente, mediante el empleo del programa Praat y el software ArtemiS SUITE, se procede al análisis de muestras de voz correspondientes a estudiantes y profesorado universitario grabadas en las tres salas mencionadas previamente, considerando variables sociológicas como el género y la edad.

En cuanto a los resultados anticipados y las conclusiones derivadas, se espera observar que los niveles de ruido ambiental influyen directamente en la claridad acústica de los espacios evaluados, lo cual repercute significativamente en las características de la voz de los usuarios. Asimismo, se prevé confirmar la relevancia de factores sociológicos como el género y la edad en la producción del habla.

Palabras clave: fonética forense, acústica forense, claridad de la voz, ArtemiS SUITE, Praat.

Abstract

In the field of forensic linguistics, forensic phonetics stands out as a prominent branch. An intriguing facet of research in this area lies in understanding how much the environment and sociological characteristics alter a speaker's voice. With the aim of examining speech in various acoustic environments through Fast Fourier Transform (FFT) analysis, this study is structured in two distinct stages: first, a comprehensive analysis of the acoustic quality of the semi-anechoic and reverberant chambers at the Institute of Applied Linguistics at the University of Cádiz, as well as a classroom located in the mentioned facilities, is carried out. Subsequently, using the Praat program and ArtemiS SUITE software, the analysis of voice samples from university students and faculty recorded in the three previously mentioned rooms is conducted, considering sociological variables such as gender and age.

Regarding the anticipated results and derived conclusions, it is expected that ambient noise levels will directly influence the acoustic clarity of the evaluated spaces, significantly affecting the characteristics of the users' voices. Additionally, it is anticipated that the relevance of sociological factors such as gender and age in speech production will be confirmed.

Keywords: forensic phonetics, forensic acoustics, voice clarity, ArtemiS SUITE, Praat.

PACS n°. 43.55.Hy, 43.70.-h, 43.70.Kv.

1 Introducción

La Lingüística Forense es una disciplina aplicada de la Lingüística que actúa como una intersección entre esta ciencia y el derecho con el objetivo de aplicar el conocimiento lingüístico a un entorno social, normalmente legal (Olsson/Luchjenbroers, 2014: 2) [1].

Al analizar el origen de esta disciplina, observamos que sus antecedentes se remontan a la década de 1950, cuando un acontecimiento en la sociedad británica impactó el panorama judicial no solo del Reino Unido, sino del mundo entero: el caso Evans. En este caso, las declaraciones contradictorias de T. Evans ante la policía fueron objeto de análisis por parte del lingüista sueco J. Svartvik (Coulthard, 1994) [2], quien enmarcó los resultados de su investigación dentro de una nueva disciplina lingüística, a la que denominó Lingüística Forense. Aunque se puede situar el surgimiento de la Lingüística Forense en 1968, tras el trabajo de Svartvik, esta disciplina comenzó a adquirir relevancia en la década de 1990, principalmente con la creación en 1991 de la International Association for Forensic Phonetics and Acoustics (IAFPA) y en 1992 de la International Association of Forensic Linguists (IAFL) (Ramírez Salado, 2017: 530) [3]. A partir de ese momento, la Lingüística Forense ha contribuido a varios casos, entre ellos el caso Unabomber, el secuestro de Anabel Segura y el encarcelamiento de Óscar Sánchez.

En un riguroso análisis lexicográfico y conceptual realizado por Ramírez Salado (2017: 530-535) [3] sobre la disciplina de la lingüística forense en su papel como disciplina encargada del estudio del lenguaje probatorio o evidencial, fundamentándose en las investigaciones llevadas a cabo por Gibbons (1999, 2003) [4] [5], Blackwell (2013) [6], Garayzábal, Jiménez y Reigosa (2014) [7], y Coulthard, Johnson y Wright (2017) [8], se identifican los siguientes campos de actuación: fonética forense, análisis de autoría, análisis de plagio, marcas registradas. A estos cuatro campos, debemos añadir la identificación de locutores en relación con la fonética forense y el análisis forense del discurso como ámbito del estudio del lenguaje evidencial, del lenguaje judicial y del lenguaje de la ley.

En relación con el discurso oral, esta disciplina abarca dos campos principales: la fonética forense y la identificación de locutores. La fonética forense, siendo la rama más reconocida y desarrollada dentro de la lingüística forense, se ocupa del análisis de la voz en contextos legales. Esta área comprende diversas tareas, como la elaboración del perfil fonético de un hablante desconocido, la determinación de la autenticidad de una grabación, la interpretación del contenido de una grabación, el diseño y validación de ruedas de reconocimiento, y la comparación forense de hablantes (San Segundo Fernández, 2023: 177-182) [9]. Por otro lado, la identificación de locutores se define como la técnica acústica, fonético-lingüística y/o auditivo-perceptiva encargada de identificar y/o verificar la identidad de un locutor (Delgado Romero, 2005: 116-117) [10]. En la actualidad, la inteligencia artificial y las redes neuronales se emplean en este campo como herramientas fundamentales mediante sistemas automáticos de identificación y verificación de locutores, tales como *SpeechBrain* o *DeepSpeaker*.

Como se puede apreciar en estos dos campos, existe una intersección entre la fonética y la acústica que ya se vislumbraba con la creación de la International Association for Forensic Phonetics and Acoustics (IAFPA). Sin embargo, raramente se han combinado métodos fonéticos y acústicos para llevar a cabo investigaciones en Lingüística Forense. En este contexto, resulta interesante examinar el impacto del ruido ambiental en la voz. De acuerdo con un estudio realizado por Bottalico y Graetzer (2015) [11], los entornos con altos niveles de ruido y situaciones de estrés pueden provocar un incremento en el volumen y la frecuencia fundamental de la voz. Este fenómeno, conocido como el efecto Lombard, se produce debido al esfuerzo adicional que el hablante debe realizar para ser escuchado y comprendido en medio del ruido de fondo. Este efecto implica una adaptación automática del sistema vocal, lo que facilita una mayor inteligibilidad en condiciones acústicamente desafiantes. A partir de esta premisa,

se infiere que, en ambientes más tranquilos, el hablante tiende a reducir tanto el volumen como la frecuencia fundamental de su voz, dado que no necesita realizar un esfuerzo adicional para comunicarse eficazmente.

A raíz de estas premisas, el propósito de esta investigación es analizar la voz en entornos tanto silenciosos como ruidosos, con el fin de identificar las diferencias en la producción del habla. Este estudio pretende observar cómo varían las características vocales en función del nivel de ruido ambiental, proporcionando una comprensión más profunda de los ajustes vocales que los individuos realizan en distintas condiciones acústicas.

2 Metodología

El propósito de esta investigación es examinar las características del habla en tres espacios distintos del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz: una cámara semianecoica, una cámara reverberante y una sala de control. Esta última se asemeja más a la realidad, presentando características espaciales y sonoras en las que un sujeto podría grabarse cometiendo un delito. Con el fin de abordar los factores sociológicos de sexo y edad, se han grabado las voces de seis alumnas y seis alumnos de segundo, tercer y cuarto año del grado de Lingüística y Lenguas Aplicadas de la Universidad de Cádiz, así como las voces de seis profesoras y seis profesores miembros del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la misma universidad.

Una vez recopiladas todas las grabaciones, se procedió a realizar el análisis FFT mediante el software ArtemiS SUITE de Head Acoustics. Además, se llevó a cabo el análisis de la frecuencia fundamental y la intensidad utilizando el software Praat. Este estudio no solo busca identificar las variaciones en la producción vocal en diferentes entornos, sino también entender cómo factores sociológicos y ambientales influyen en dichas variaciones.

3 Resultados y discusión

Comenzando por el análisis FFT, realizado mediante el software ArtemiS SUITE de Head Acoustics, en la cámara semianecoica, tanto las alumnas como las profesoras comienzan su señal entre 20 y 30 dB (véase Figura 1), mientras que los chicos y los profesores comienzan entre 30 y 40 dB (véase Figura 2). En la reverberante, aunque las mujeres, tanto alumnas como profesoras, siguen entre 20 y 30 dB, suelen subir y estar mucho más cerca de 30 dB (véase Figura 3). Los hombres, sin embargo, presentan variaciones: los alumnos presentan la señal de entrada parecida a la cámara semianecoica, sin muchas variaciones, pero los profesores suelen subir y situarse más cerca de los 40 dB (véase Figura 4). Por último, en la sala de control, las alumnas y las profesoras se sitúan más cerca de los 30 dB (véase Figura 5). En los hombres, sin embargo, sucede algo distinto: los alumnos se sitúan entre 30 y 40 dB, más o menos en la mitad, mientras que los profesores se acercan mucho más a los 40 dB (véase Figura 6).

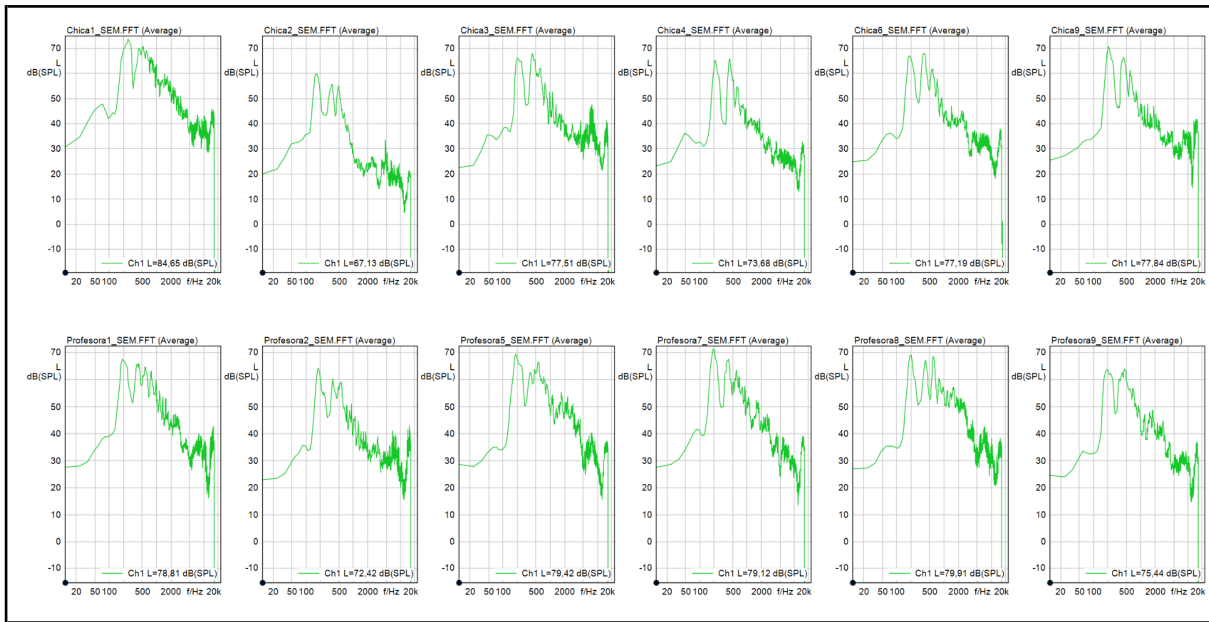


Figura 1 - Gráficas FFT de alumnas y profesoras en cámara semianecoica del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz extraídas de ArtemiS SUITE.

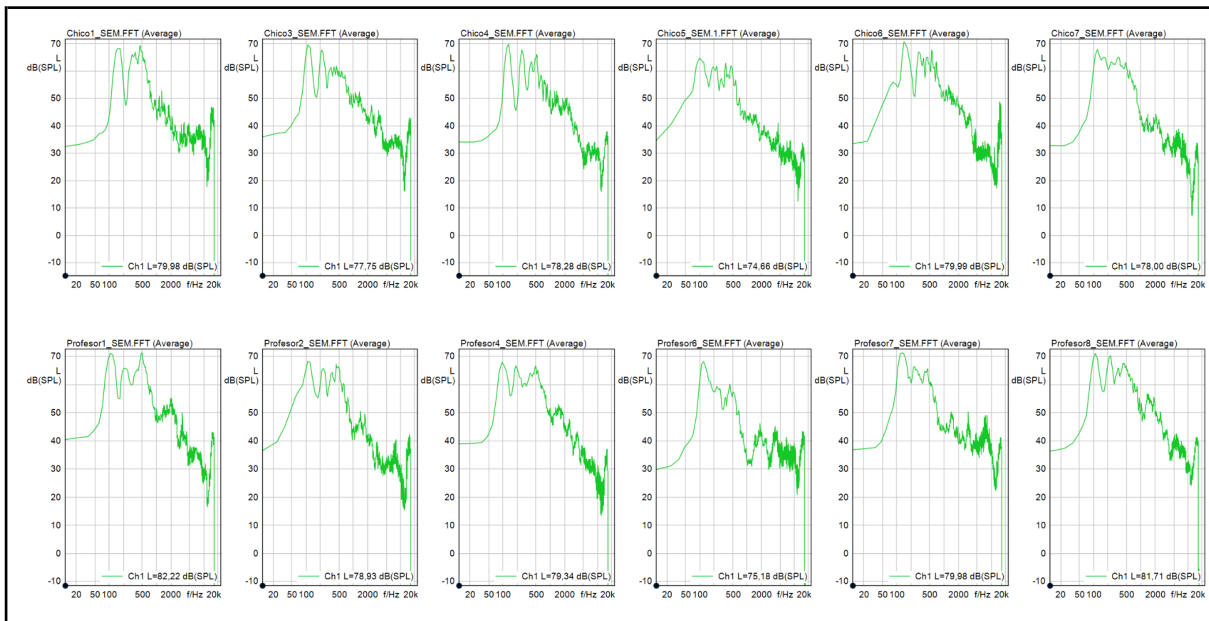


Figura 2 - Gráficas FFT de alumnos y profesores en cámara semianecoica del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz extraídas de ArtemiS SUITE.

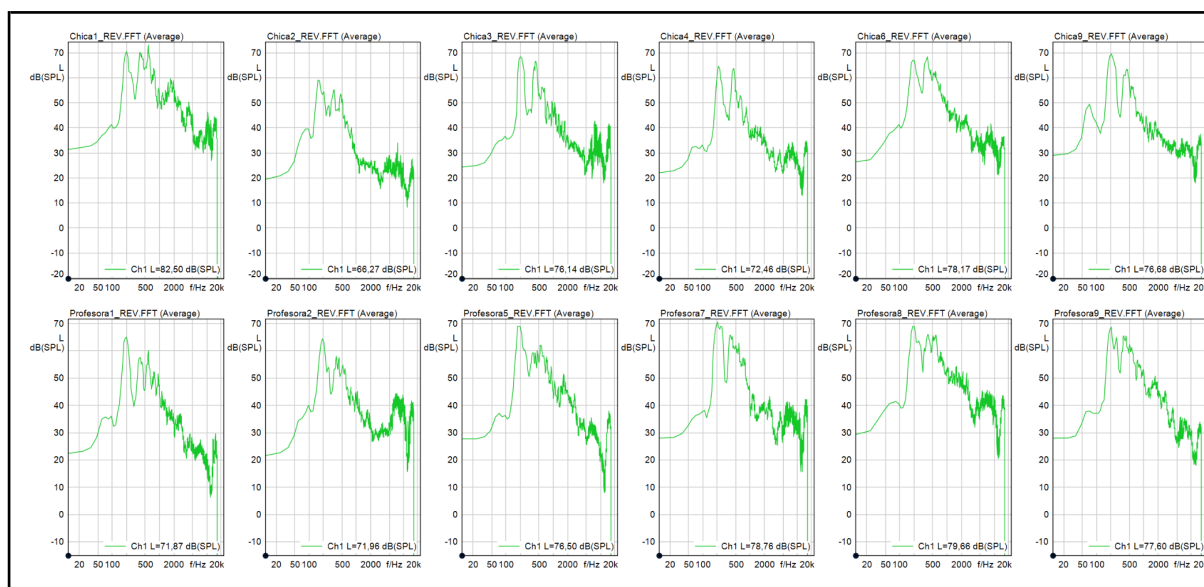


Figura 3 - Gráficas FFT de alumnas y profesoras en cámara reverberante del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz extraídas de ArtemiS SUITE.

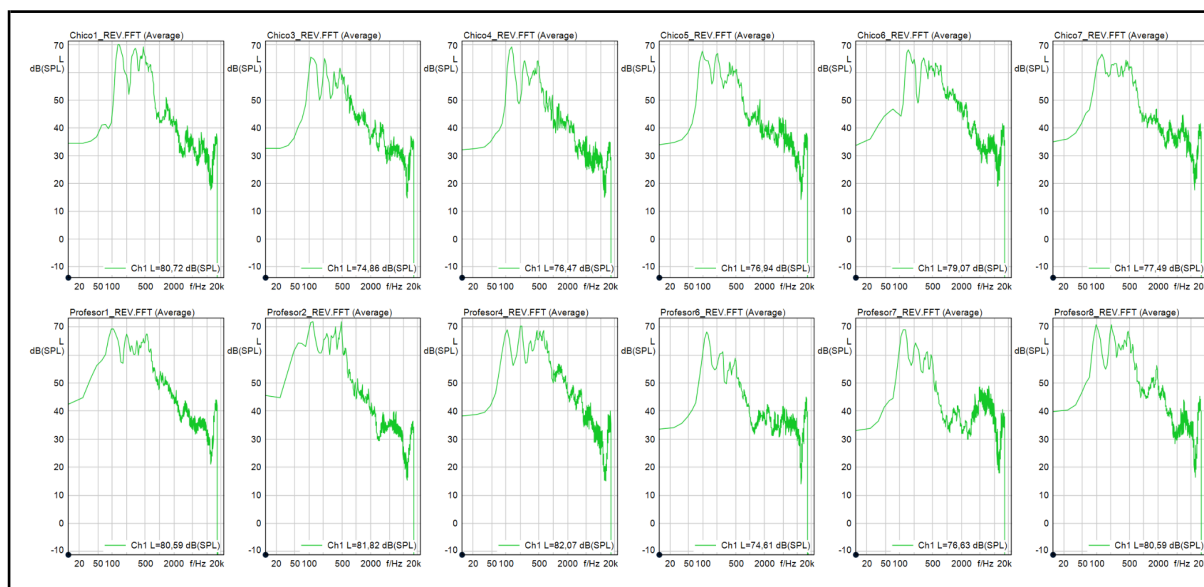


Figura 4 - Gráficas FFT de alumnos y profesores en cámara reverberante del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz extraídas de ArtemiS SUITE.

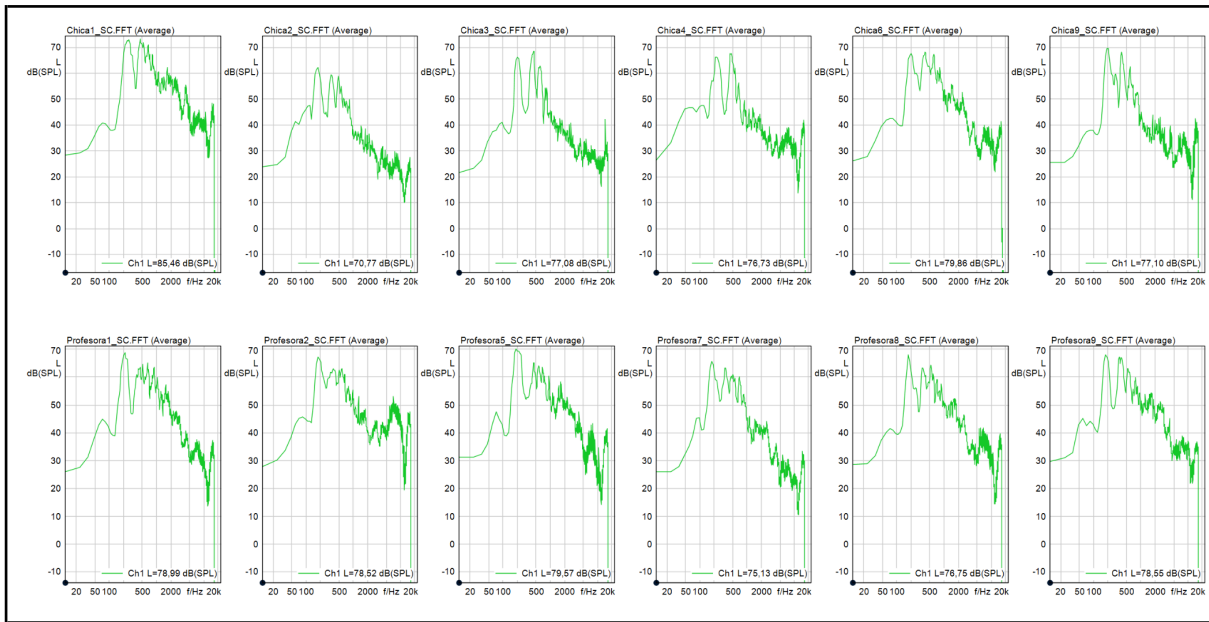


Figura 5 - Gráficas FFT de alumnas y profesoras en sala de control del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz extraídas de ArtemiS SUITE.

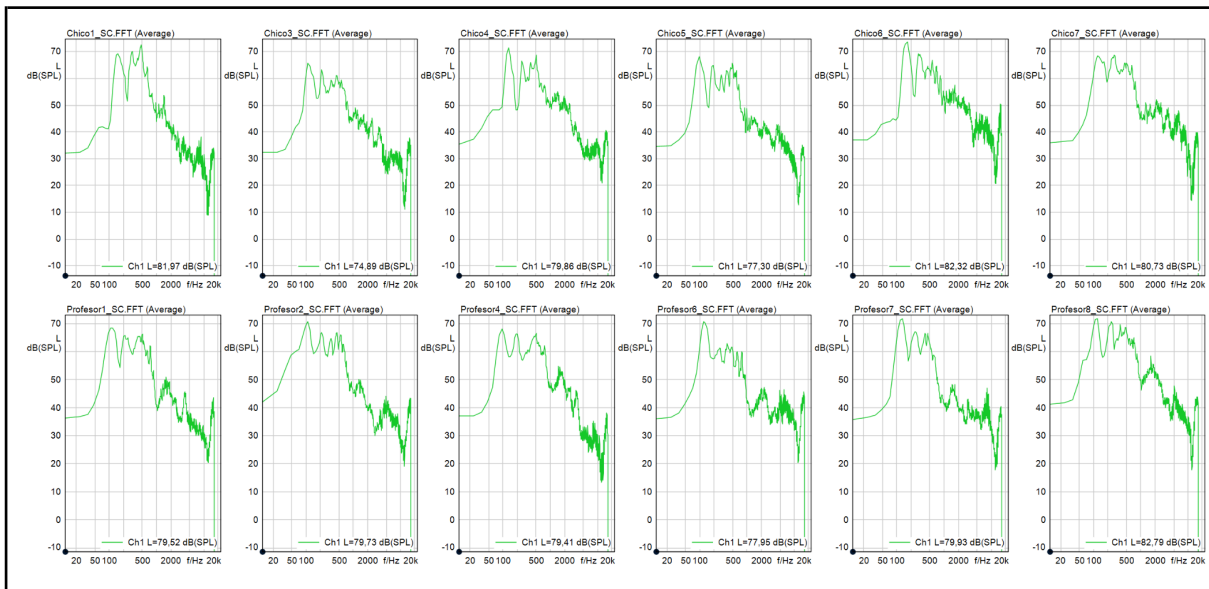


Figura 6 - Gráficas FFT de alumnos y profesores en sala de control del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz extraídas de ArtemiS SUITE.

En lo que respecta al análisis de la frecuencia fundamental y la intensidad de los hablantes en cada cámara, se observa que, en la cámara semianecoica, tanto las alumnas como las profesoras presentan una frecuencia fundamental considerablemente más alta en comparación con los alumnos y profesores. No obstante, los alumnos y profesores muestran una intensidad ligeramente superior a la de las alumnas y profesoras en este entorno.

Considerando la variable de la edad, se puede apreciar que las alumnas tienen una frecuencia fundamental ligeramente más alta que las profesoras, y esta misma tendencia se observa entre los alumnos y los profesores. Sin embargo, en términos de intensidad, las profesoras y los profesores exhiben niveles más altos en comparación con las alumnas y los alumnos.

	ALUMNAS	PROFESORAS	ALUMNOS	PROFESORES
FRECUENCIA FUNDAMENTAL	195,78 Hz	190,16 Hz	125,13 Hz	109,69 Hz
INTENSIDAD	67,3 dB	68,4 dB	69,08 dB	70,50 dB

Tabla 1 - Frecuencia fundamental e intensidad de alumnas, profesoras, alumnos y profesores en la cámara semianecoica del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz.

En la cámara reverberante, se observa que las alumnas y los profesores muestran una ligera tendencia a reducir su frecuencia fundamental en comparación con la cámara semianecoica, mientras que las profesoras y los alumnos tienden a aumentarla. Tanto el alumnado como el profesorado, sin embargo, presentan una ligera disminución en la intensidad en este entorno. Además, se destaca que tanto las alumnas como las profesoras exhiben una frecuencia fundamental significativamente más alta en comparación con los alumnos y los profesores. No obstante, a diferencia de lo observado en la cámara semianecoica, donde las alumnas tenían una frecuencia fundamental más elevada que las profesoras, en la cámara reverberante se invierte esta relación: las profesoras muestran una frecuencia fundamental superior.

En cuanto a la intensidad, al igual que en la cámara semianecoica, los alumnos y profesores presentan niveles ligeramente superiores a los de las alumnas y profesoras en este entorno.

Es interesante destacar que la frecuencia fundamental y la intensidad tanto del alumnado como del profesorado, incluyendo ambos sexos, no muestran cambios significativos entre las cámaras semianecoica y reverberante.

	ALUMNAS	PROFESORAS	ALUMNOS	PROFESORES
FRECUENCIA FUNDAMENTAL	189,3 Hz	192,99 Hz	126,6 Hz	108,57 Hz
INTENSIDAD	66,36 dB	67,06 dB	67,06 dB	70,35 dB

Tabla 2 - Frecuencia fundamental e intensidad de alumnas, profesoras, alumnos y profesores en la cámara reverberante del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz.

Por último, en la sala de control se observan variaciones más destacadas. En relación con la frecuencia fundamental, tanto las alumnas como las profesoras muestran una frecuencia fundamental más alta que los hombres, y dentro de cada grupo de género, los individuos más jóvenes exhiben una frecuencia fundamental considerablemente superior a la de los mayores.

En términos de intensidad, al igual que en las cámaras semianecoica y reverberante, los alumnos y profesores muestran una mayor intensidad en comparación con las alumnas y profesoras. Sin embargo, en contraste con las otras dos cámaras, en esta sala las alumnas presentan una intensidad ligeramente superior a la de las profesoras.

Por otra parte, al comparar la sala de control, un espacio con ventanas abiertas y ruido de la calle, con las cámaras semianecoica y reverberante, se observa que las alumnas aumentan su frecuencia fundamental, igualándose con la de la cámara semianecoica. Por otro lado, los alumnos muestran en esta sala la frecuencia fundamental más elevada en comparación con las cámaras semianecoica y reverberante. En contraste, tanto los profesores como las profesoras exhiben en la sala de control la frecuencia fundamental más baja en comparación con sus resultados en las otras dos cámaras. En términos de intensidad, tanto el alumnado como el profesorado muestran una mayor intensidad en la sala de control en comparación con las cámaras.

	ALUMNAS	PROFESORAS	ALUMNOS	PROFESORES
FRECUENCIA FUNDAMENTAL	195,98 Hz	186,12 Hz	127,69 Hz	107,48 Hz
INTENSIDAD	68,80 dB	68,21 dB	70,46 dB	70,85 dB

Tabla 3 - Frecuencia fundamental e intensidad de alumnas, profesoras, alumnos y profesores en la sala de control del Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada de la Universidad de Cádiz.

Tras realizar un análisis acústico y fonético, se observa que ambos análisis respaldan la idea de una variación mínima entre las cámaras semianecoica y reverberante. Sin embargo, se ha notado que tanto los alumnos como el profesorado, excluyendo a las alumnas, muestran una ligera elevación tanto en el análisis FFT como en el análisis de la frecuencia fundamental. A pesar de esto, la intensidad experimenta una leve disminución. Esta disminución leve podría atribuirse al hecho de que, aunque los seres humanos tienden a elevar el volumen de su voz en presencia de ruido o voces de fondo, cuando este ruido de fondo es la reverberación de la propia voz del hablante, existe una tendencia a moderar y reducir el volumen de la voz.

En contraste, en la sala de control se observa, tanto en el análisis FFT como en el análisis de la intensidad, una ligera elevación en comparación con las otras dos cámaras, tanto en el alumnado como en el profesorado. Además, se observa una ligera elevación en la frecuencia fundamental del alumnado, aunque se registra una ligera disminución en la frecuencia fundamental del profesorado.

4 Conclusiones

En esta investigación se destaca la considerable importancia de la fonética y la acústica dentro del ámbito de la Lingüística Forense. La fonética forense, siendo el subcampo más consolidado dentro de esta disciplina, ha alcanzado su prominencia a través de una extensa trayectoria de investigación y aplicación, abarcando una amplia gama de actividades relacionadas con el análisis de la voz y el sonido en contextos policiales y judiciales, incluyendo la identificación de locutores, la autenticación de grabaciones y el desarrollo de perfiles fonéticos detallados. La acústica, por su parte, en su ámbito forense, se dedica al análisis forense, la autenticación y la mejora de grabaciones de audio, así como

al reconocimiento de voz, desempeñando un papel crucial en la obtención de pruebas válidas para procedimientos judiciales e investigaciones forenses.

La interacción y complementariedad entre estos dos subcampos son de suma importancia, como lo evidencia la fundación de la Asociación Internacional de Fonética y Acústica Forenses (IAFPA) en la década de 1990. Esta organización refleja el reconocimiento global de la necesidad de integrar experticias fonéticas y acústicas en el ámbito forense, promoviendo estándares de excelencia y colaboración en la aplicación de la ciencia del sonido en la resolución de casos legales y criminales.

En esta interacción destacan los estudios dentro de la cámara semianecoica y la cámara reverberante, utilizadas tanto en el ámbito acústico como en el lingüístico con diversos fines. En este sentido, y teniendo en cuenta el efecto Lombard, el fenómeno psicoacústico por el cual se produce un ajuste vocal automático para mejorar la inteligibilidad del habla ante condiciones auditivas adversas, se consideró pertinente la realización de un estudio comparativo de las cámaras acústicas y una sala normal para observar posibles cambios en la producción del habla.

En cuanto a los resultados principales obtenidos de este estudio piloto, al considerar las características sociológicas de sexo y edad, se observan diferencias más significativas entre sexos que entre edades en los análisis realizados mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT), el análisis de la frecuencia fundamental y el análisis de la intensidad. Sin embargo, es pertinente destacar que existen leves diferencias en lo que respecta a la frecuencia fundamental.

En lo referente al entorno acústico, se perciben características vocales similares en las cámaras semianecoica y reverberante, mientras que la sala de control muestra mayores divergencias en comparación. Estas diferencias pueden atribuirse a las variaciones en las condiciones acústicas específicas de cada entorno, que influyen en la manera en que las voces son captadas y analizadas. Este hallazgo subraya la importancia de considerar tanto los factores sociológicos como los ambientales al realizar estudios de fonética forense, ya que ambos pueden tener un impacto significativo en las características vocales observadas.

En conclusión, resulta fundamental explorar la intersección entre la fonética y la acústica con el fin de aplicar métodos de ambas disciplinas en nuestras investigaciones forenses. Esta integración permite un análisis más exhaustivo y preciso de las características vocales, proporcionando una base sólida para interpretar los datos recogidos en diversos contextos forenses. Al aprovechar las técnicas y conocimientos de fonética y acústica, se pueden desarrollar metodologías más robustas y fiables, enriqueciendo así el campo de la lingüística forense y mejorando la precisión de sus aplicaciones prácticas.

Agradecimientos

Se expresa un profundo agradecimiento a todos los participantes de esta investigación, cuya colaboración fue fundamental para la realización del estudio y la obtención de estos hallazgos, así como al Instituto Universitario de Investigación en Lingüística Aplicada, el cual cedió los espacios e instrumentos para la realización de esta investigación.

Referencias

[1] Olsson, J. & Luchjenbroers, J. (2014). *Forensic linguistics*, Bloomsbury Publishing, London.

- [2] Coulthard, R. M. (1994). On the use of corpora in the analysis of forensic texts, *Forensic Linguistics*, 1(1), 27–43.
- [3] Ramírez Salado, M. (2017). Antecedentes de la lingüística forense: ¿desde cuándo se estudia el lenguaje como evidencia?, *Pragmalingüística*, 25, 525–539.
- [4] Gibbons, J. (1999). Language and the Law, *Annual Review of Applied Linguistics*, 19, 156-173.
- [5] Gibbons, J. (2003). *Forensic Linguistics. An introduction to language in the justice system*, Blackwell Publishing, New Jersey.
- [6] Blackwell, S. (2013). History of Forensic Linguistics, en Carol A. Chapelle (ed.), *The Encyclopedia of Applied Linguistics*, Blackwell Publishing, Oxford.
- [7] Garayzábal Heinze, M., Jiménez Bernal, N. & Reigosa Riveiros, M. (2014). La Lingüística forense: licencia para investigar la lengua, en *Lingüística forense: la Lingüística en el ámbito Legal y Policial*, Euphonia Ediciones, Madrid, 27-47.
- [8] Coulthard, M., Johnson, A. & Wright, D. (2017, 2nd ed.). *An Introduction to Forensic Linguistics. Language in Evidence*, Routledge, Abingdon.
- [9] San Segundo Fernández, E. (2023). *La fonética forense. Nuevos retos y nuevas líneas de investigación*, Octaedro, Madrid.
- [10] Delgado Romero, C. (2005). Comentarios sobre el contexto actual de la identificación forense de locutores, en M. T. Turell (ed.), *Lingüística forense, lengua y derecho. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Institut Universitari de Lingüística Aplicada, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, 113-133.
- [11] Bottalico, P., & Graetzer, S. (2015). Acoustic and perceptual analysis of the Lombard effect in classical singing, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(5), EL498-EL503.