

ANÁLISIS ESPECTRO-TEMPORAL DE LA VOZ CON TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL APOYO AL DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE ESCLEROSIS LATERAL AMIOTRÓFICA

Iker Pacheco Herrero | Trabajo de Final de Grado en Ingeniería Biomédica | Junio 2026



UNIVERSITAT D'ALACANT
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Escola Politècnica Superior
Escuela Politécnica Superior



INTRODUCCIÓN

La **Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA)** es una enfermedad neurodegenerativa que destruye progresivamente las **motoneuronas**, causando parálisis muscular y fallecimiento por insuficiencia respiratoria.

El diagnóstico sufre un **retraso significativo** desde los primeros síntomas, debido a la variabilidad inicial de la afectación y la ausencia de **biomarcadores no invasivos de bajo coste**.

Este trabajo propone el **análisis acústico de la voz potenciado con IA** como biomarcador no invasivo y de bajo coste para el **apoyo al diagnóstico temprano**.

OBJETIVOS

- Desarrollar una **pipeline robusta de biomarcadores acústicos** capaz de capturar perturbaciones en la voz indicativas de los primeros estadios de la ELA.
- Evaluar la eficacia de distintas **combinaciones de características con modelos de ML** para la detección de la ELA.
- Analizar el **sentido fisiopatológico** de las anomalías acústicas detectadas, relacionándolas con la sintomatología de la enfermedad.
- Desarrollar una **interfaz explicable (XAI)** que permita realizar inferencias de forma sencilla y clínicamente interpretable.

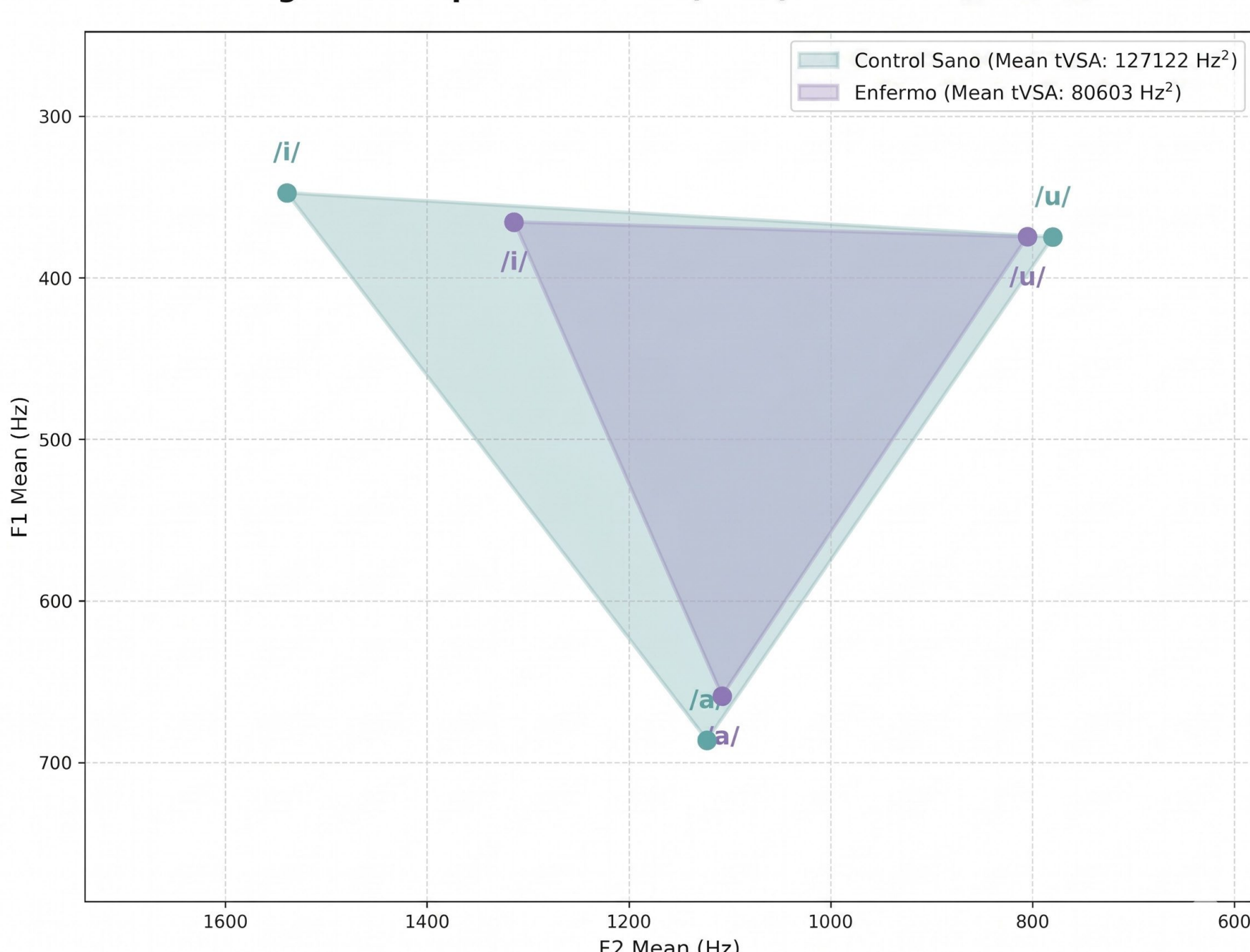
METODOLOGÍA



272 sujetos **grabados** con un **smartphone**
8 tareas fonatorias
5 fonaciones de vocales sostenidas
/a/ /e/ /i/ /o/ /u/
3 tareas rítmicas
/pa/ /ta/ /ka/

BIOMARCADORES

Triángulo del Espacio Vocálico (tvSA): Control Sano vs. ELA



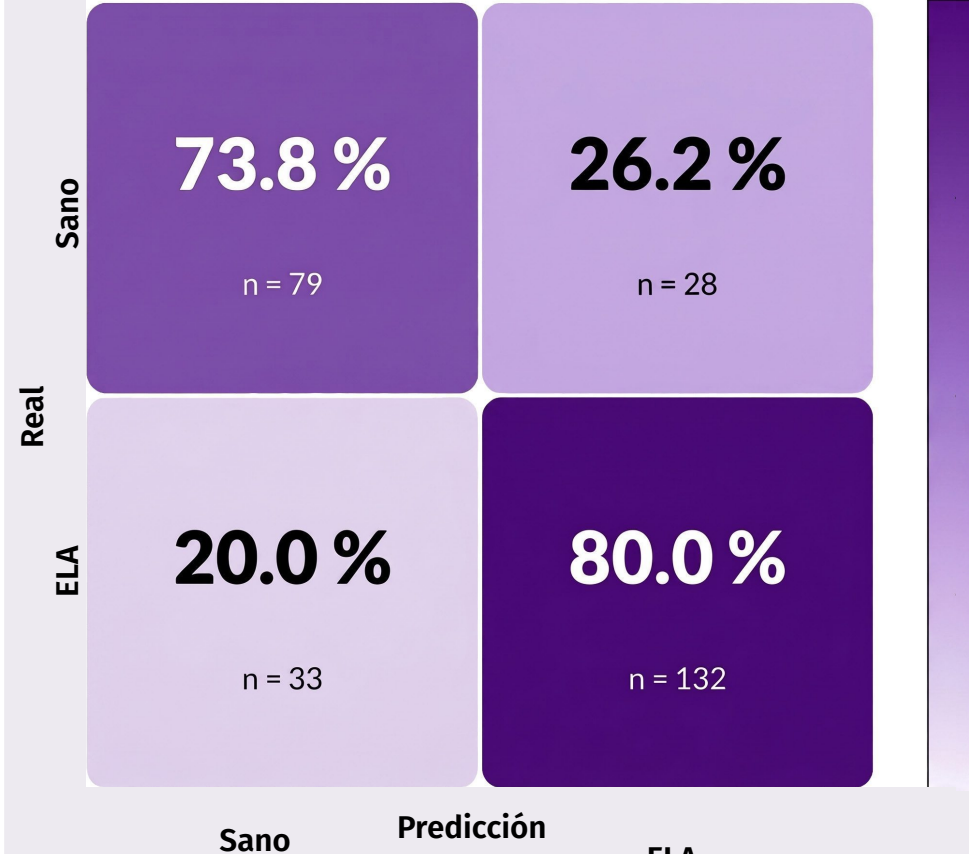
El espacio vocálico se **contrae un 37%** en pacientes con ELA respecto a controles sanos, reflejando la reducción en la movilidad articulatoria causada por la disartria.

RESULTADOS

El **selector** de características **LASSO** ha reducido el número de características de **148 → 9**

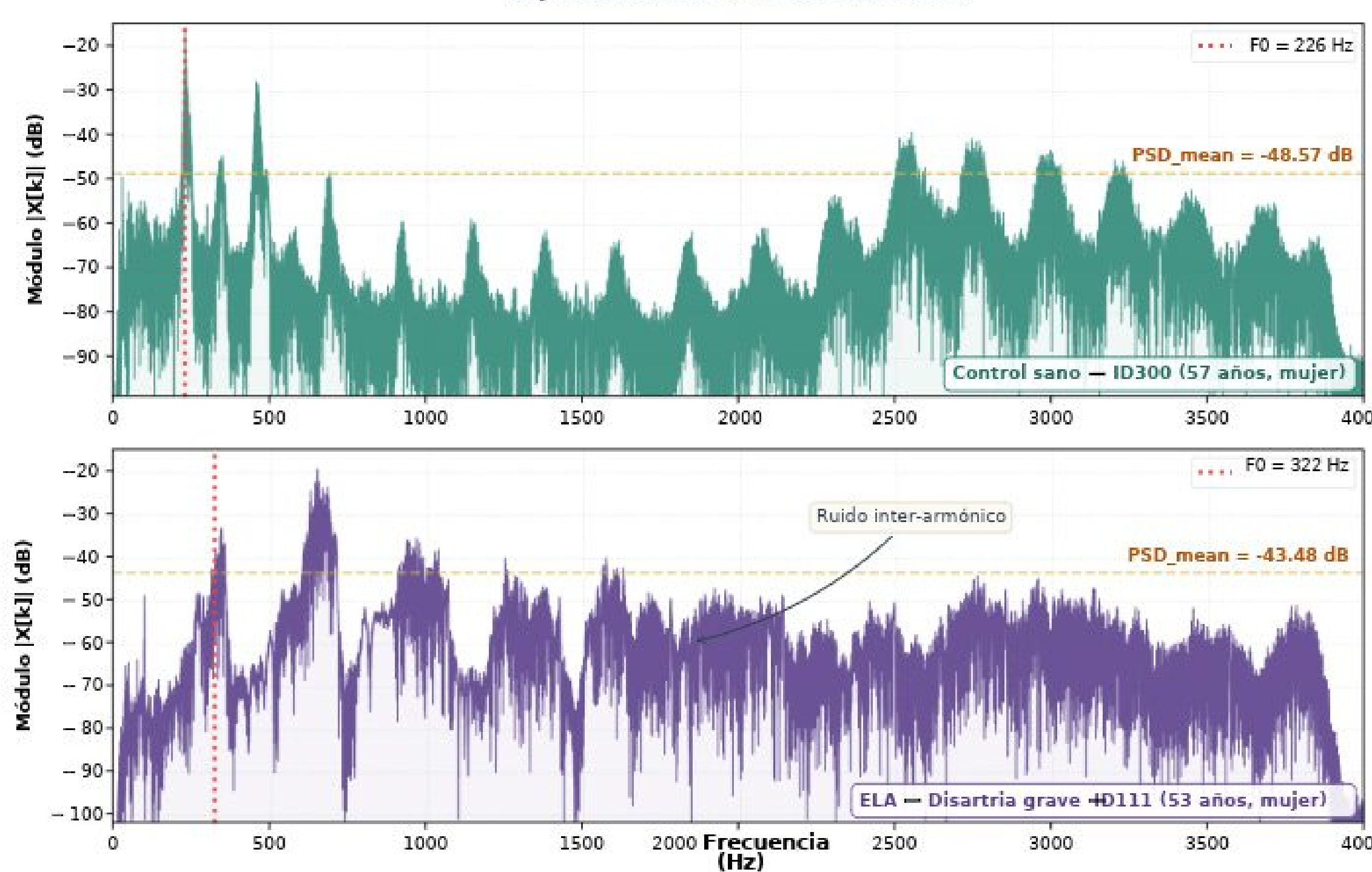
Evaluación mediante **CV-10 OOF**

LASSO + XGBoost



ROC-AUC: 83,1%
F1-Score: 81,2% | Sensibilidad: 80%

Espectro en módulo de la vocal /i/



La voz del paciente con ELA revela una **mayor densidad espectral de potencia** y **ruido inter-armónico**, huella acústica del cierre incompleto de las cuerdas vocales por la disartria.

INTERFAZ STREAMLIT PARA INFERENCIA

SHAP BEESWARM DE LASSO + XGB



La **disartria** es la manifestación clínica de la **alteración motora del habla** en la **ELA**. Dado que la enfermedad **destruye simultáneamente** las **motoneuronas superiores** (espasticidad) y las **motoneuronas inferiores** (flacidez), la **disartria** resultante es **mixta espástico-flácida**.

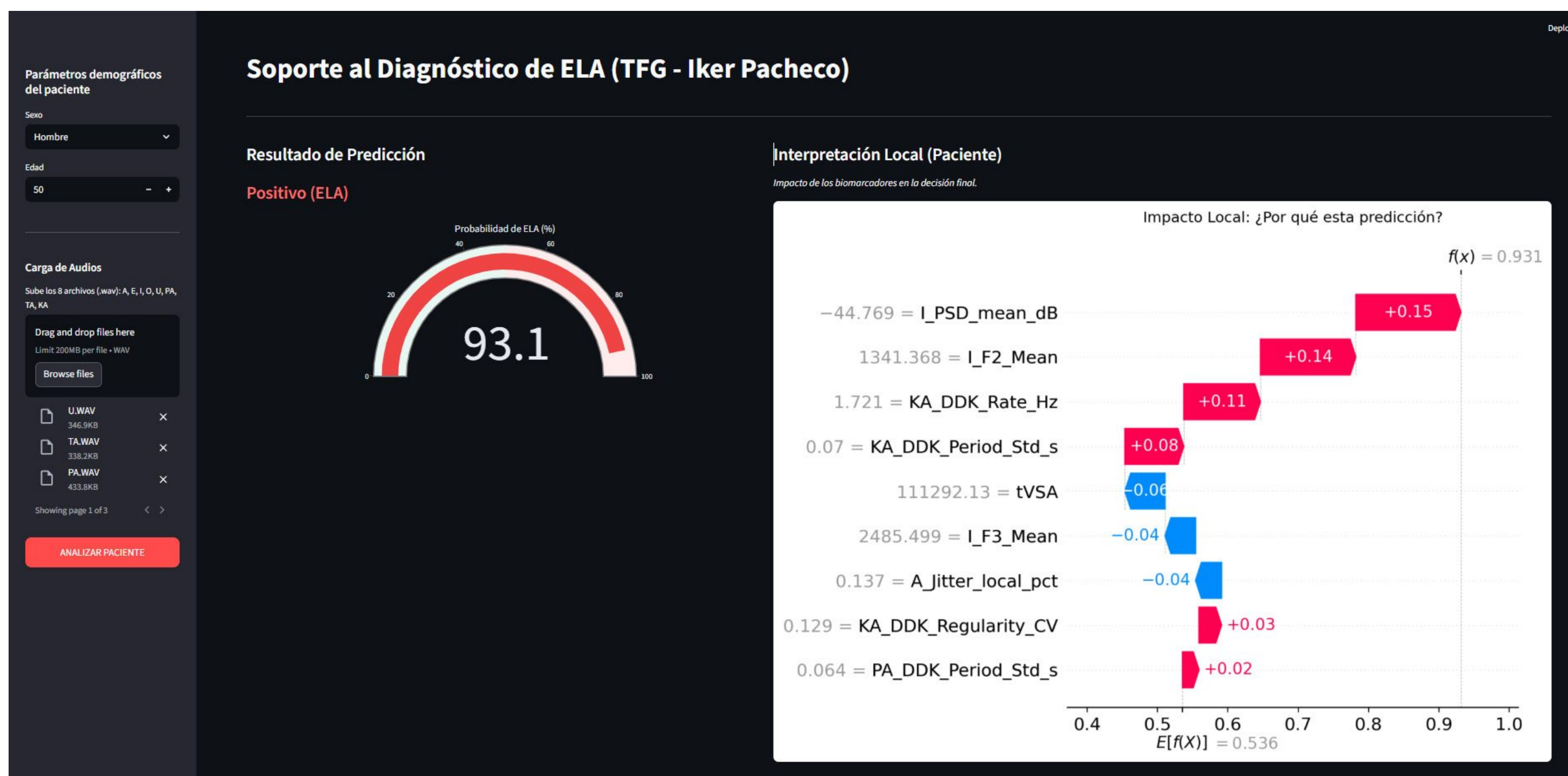
Vía flácida (MNI): El cierre glótico incompleto por debilidad muscular introduce ruido inter-armónico en la señal de voz. Se refleja en el aumento de **I_PSD_mean_dB**.

Vía espástica (MNS): La rigidez articulatoria reduce la movilidad de la lengua, contrayendo el espacio vocálico. Se refleja en la caída de **KA_DDK_Rate_Hz**, **I_F2_Mean**, **I_F3_Mean** y **tvSA**.

Afectación mixta (MNS + MNI): La inestabilidad muscular de ambas vías altera la vibración glótica ciclo a ciclo y la coordinación rítmica del habla. Se refleja en el aumento de **A_Jitter_local_pct**, **KA_DDK_Period_Std_s**, **PA_DDK_Period_Std_s** y **KA_DDK_Regularity_CV**.

REFERENCIAS

- Dubbioso, R., Spisto, M., Verde, L., Iuzzolino, V. V., Senerchia, G., Salvatore, E., De Pietro, G., De Falco, I., & Sannino, G. (2024b). Voice signals database of ALS patients with different dysarthria severity and healthy controls. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03597-2>
- Sannino, G., De Falco, I., Brancati, N., Verde, L., Frucci, M., Riccio, D., Bevilacqua, V., Di Marino, A., Aruta, L., Iuzzolino, V. V., Senerchia, G., Spisto, M., & Dubbioso, R. (2026). SAND: The challenge on speech analysis for neurodegenerative disease assessment. arXiv preprint arXiv:2604.16445. <https://arxiv.org/abs/2604.16445>



Interfaz **Streamlit** que permite cargar audios y obtener una predicción explicable mediante **XAI/SHAP**, indicando qué biomarcadores han contribuido y en qué dirección.

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado un sistema de detección de ELA basado en **biomarcadores acústicos** de bajo coste grabados con **smartphone**.
- El modelo **LASSO + XGBoost** alcanza un **ROC-AUC = 83,1%** y una **sensibilidad = 80%**.
- El selector ha aprendido de forma implícita la disartria mixta de la ELA, **seleccionando biomarcadores** que **cubren** equilibradamente la **vía espástica, flácida y mixta**.
- El **modelo refleja** el **grado de afectación bulbar** detectando alteraciones acústicas **incluso en ausencia de disartria clínica**.
- Los **biomarcadores** identificados admiten una **interpretación fisiopatológica** directa en el contexto de la disartria.
- La interfaz **Streamlit** con **XAI** hace el sistema accesible y explicable para el clínico.