



GESTURE RECOGNITION FOR MYOELECTRIC PROSTHESES USING HD-SEMG: A COMPARATIVE EVALUATION OF MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING



Jose M. Rosales, Nicolle Muñoz, Franco Rozas, Jossef Tintaya
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

ABSTRACT

Este estudio compara técnicas de machine learning (**ML**) y deep learning (**DL**) para reconocer gestos en señales electromiográficas de alta densidad (HD-EMG), aplicadas al control de prótesis mioeléctricas. Se evaluaron **Regresión Logística**, un **Linear SVC** y **CNN**, se extrajeron características temporales y frecuenciales, y se usaron espectrogramas. El análisis de errores evidenció confusión entre gestos similares. Los resultados indican que, para este caso, los métodos tradicionales de ML superan a las técnicas de DL, destacando su potencial para sistemas más precisos de control protésico.

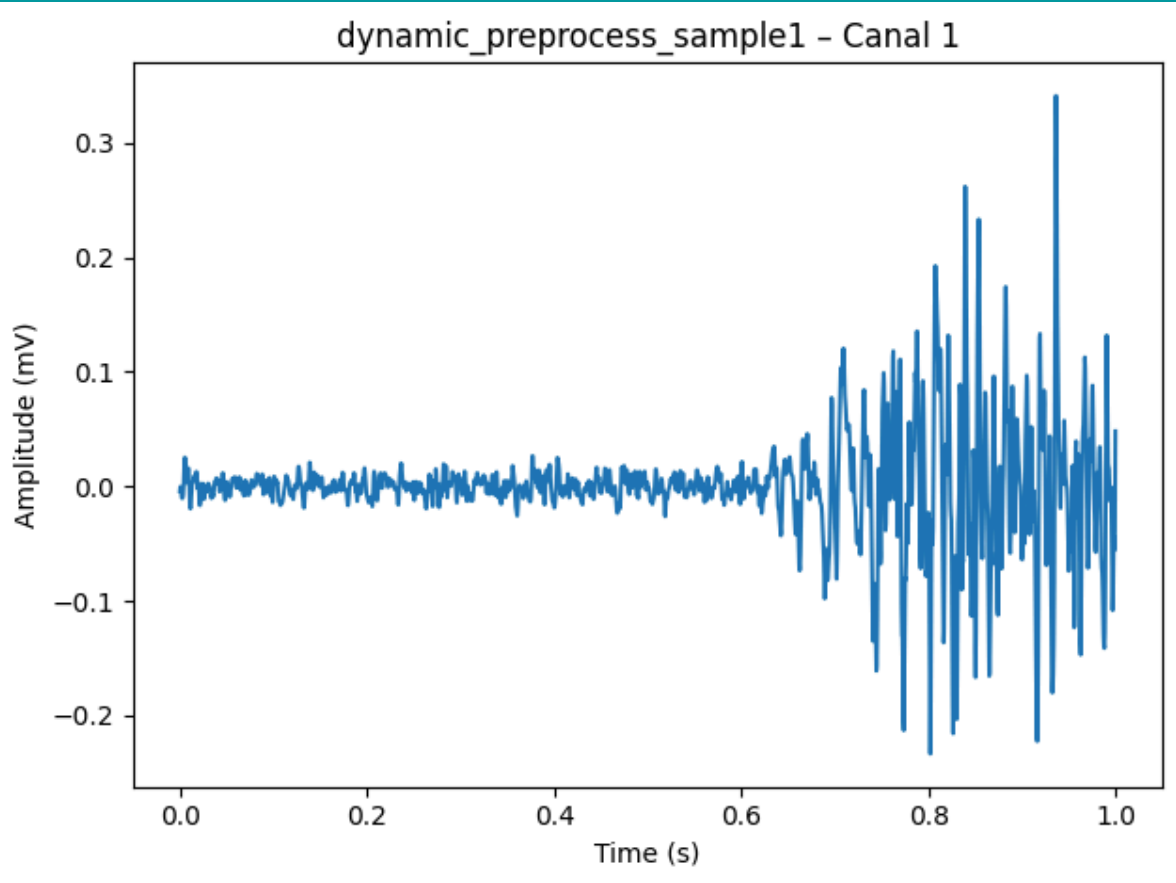
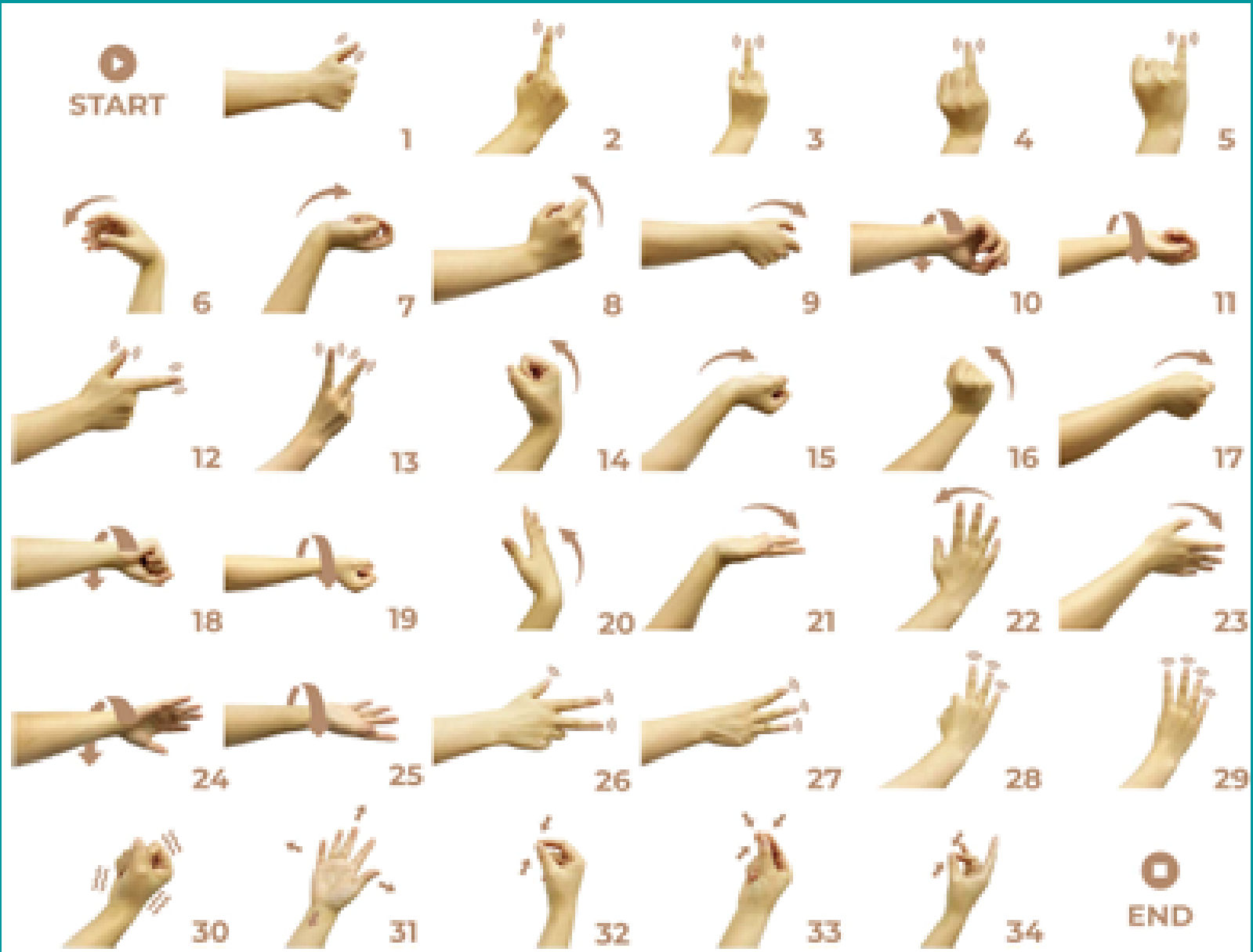
METODOLOGÍA

Este estudio implementó un enfoque comparativo entre técnicas de **ML** y **DL** para el reconocimiento de gestos a partir de señales de electromiografía de alta densidad (HD-sEMG), orientado al control de prótesis mioeléctricas.

DATASET

Se utilizó el conjunto de datos público **Hyser**, que contiene señales HD-sEMG de 256 canales adquiridas a 2048 Hz, con 34 gestos manuales registrados en 20 participantes sanos (12 hombres, 8 mujeres, 22-34 años).

Las señales se estructuran en cinco subconjuntos: reconocimiento de patrones (PR), contracción voluntaria máxima (MVC), 1-DoF, N-DoF y tareas aleatorias.



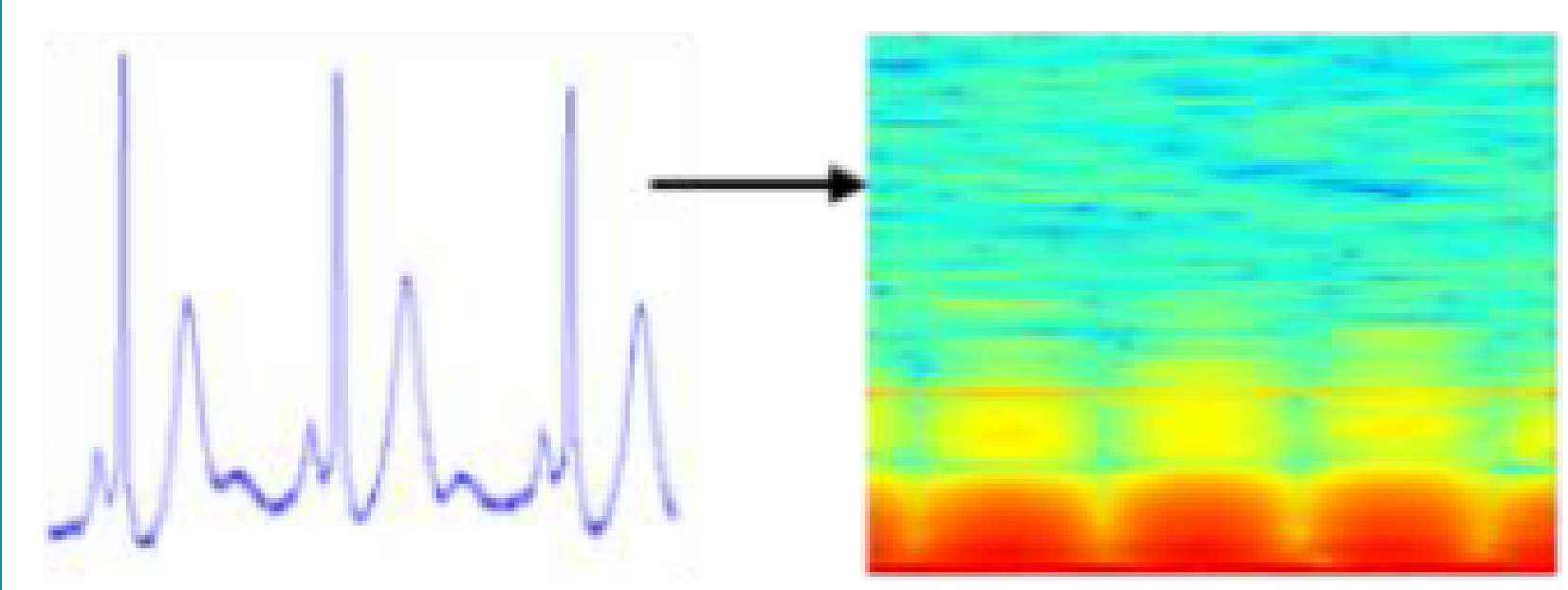
PREPROCESAMIENTO

Se aplicó normalización tipo z-score para reducir la variabilidad entre sujetos. Las señales fueron recortadas a 0.5 segundos finales de cada contracción, eliminando la transición desde el estado relajado.

EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Para los modelos de ML se extrajeron características temporales y frecuenciales destacadas en la literatura, tales como **MAV**, **RMS**, **ZC**, **SSC**, **WAMP** (dominio temporal) y **MNF**, **MDF**, **PKF** (dominio frecuencial)

Para modelos de DL, las señales se transformaron a espectrogramas mediante la Transformada Rápida de Fourier de Tiempo Corto (STFT), generando tensores multicanal ideales para redes convolucionales 2D (CNN).

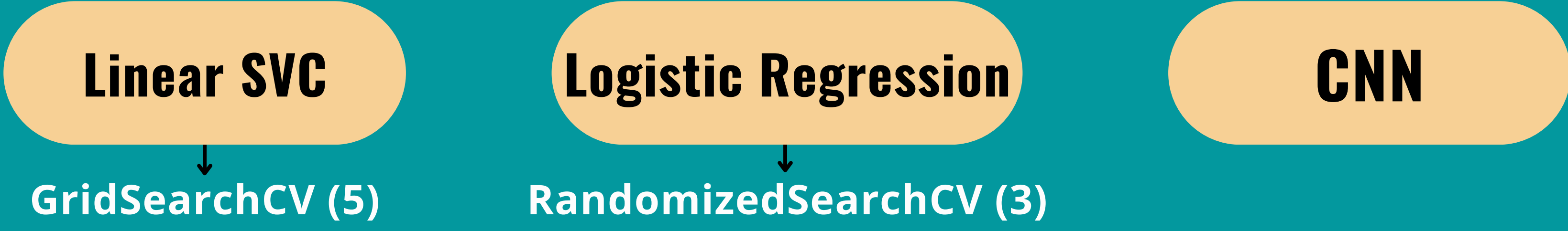


PROBLEMÁTICA

A pesar de los avances en prótesis mioeléctricas, su eficacia sigue limitada por dificultades en el reconocimiento preciso de gestos musculares, principalmente debido a la **baja resolución espacial y temporal** de las señales electromiográficas convencionales (sEMG), complicando así el desarrollo de sistemas robustos y precisos. Esta problemática aumenta al intentar reconocer múltiples gestos simultáneamente. Para superar esta limitación, es necesario explorar tecnologías avanzadas como la **electromiografía de alta densidad (HD-sEMG)**, que proporciona mayor detalle en la captura de patrones musculares. No obstante, aún existe el desafío de identificar los modelos computacionales más adecuados para aprovechar plenamente estas señales en el control de prótesis mioeléctricas.

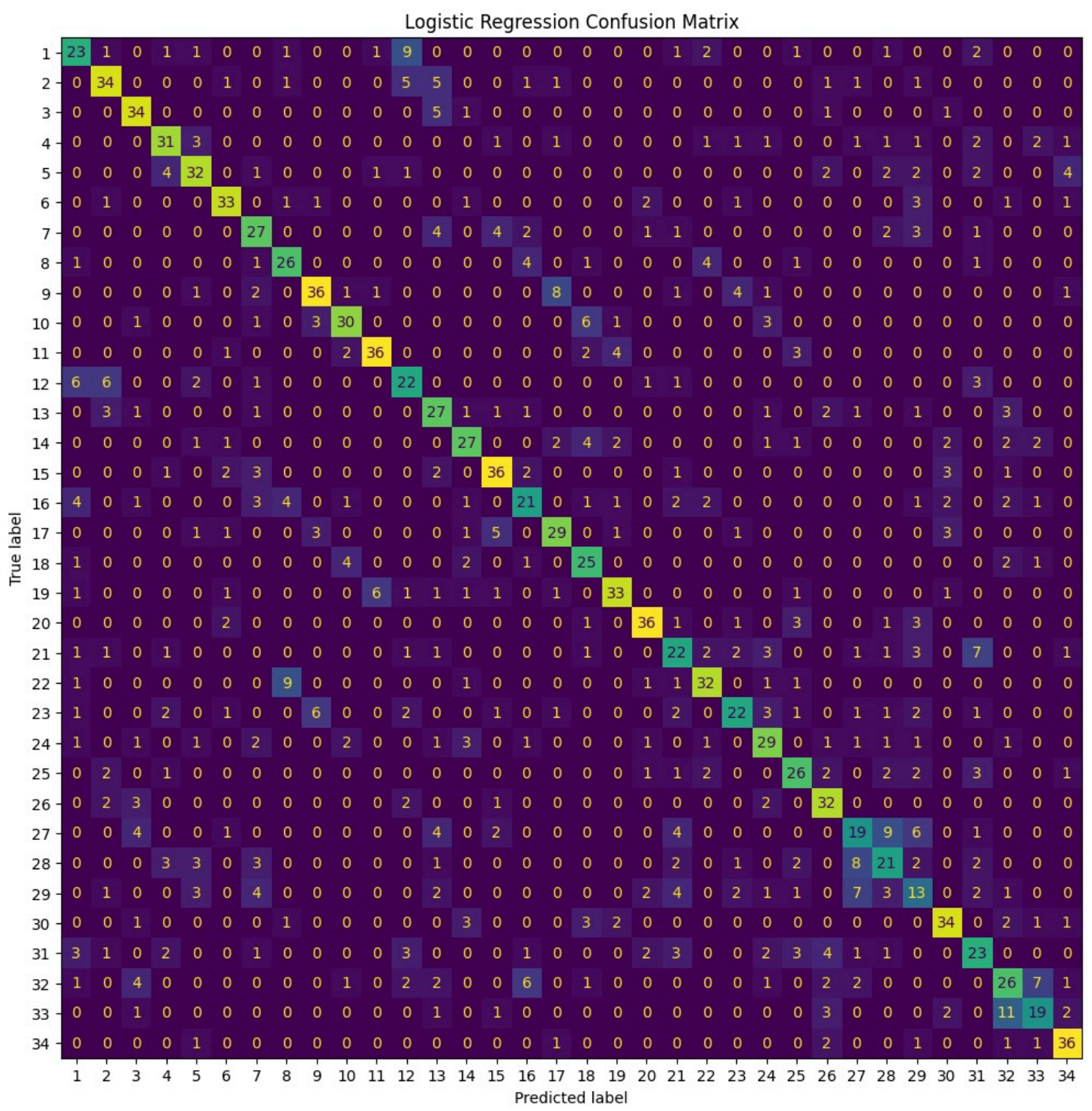


ENTRENAMIENTO DE MODELOS



RESULTADOS

Todos los modelos fueron entrenados y evaluados bajo las mismas condiciones y utilizando las mismas métricas: exactitud (accuracy), precisión (precision), sensibilidad (recall) y F1-score. evidenciando un desempeño inferior respecto a los modelos tradicionales. Obteniendo asi:



Modelo empleado	Parámetro de rendimiento			
	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Linear SVC	0.5559	0.5486	0.5587	0.5483
Logistic Regression	0.6048	0.6053	0.6073	0.6042
CNN	0.5266	0.5161	0.5153	0.5055

En el caso específico de la CNN, aunque durante el entrenamiento se observaron altos valores de exactitud (superiores al 90% en las últimas épocas), este rendimiento no se replicó en el conjunto de prueba, lo que indica un problema de sobreajuste.

CONCLUSIONES

- Mejor desempeño de los modelos tradicionales de machine learning frente al CNN en este contexto.
- Regresión Logística alcanzó el máximo accuracy (60.48 %)
- Importancia crítica de la selección y optimización de características para aplicaciones protésicas.
- Como recomendaciones futuras es llegar implementar métodos avanzados de reducción de dimensionalidad y aplicar técnicas de aumento de datos para mejorar la generalización de redes profundas.

BIBLIOGRAPHY

[1] Amputaciones y desarticulaciones de los miembros: miembro superior. EMC - Técnicas Quirúrgicas - Ortopedia y Traumatología, 2021.
[2] Vara Mayo, J. L. Evaluación de funcionalidad y calidad de vida en personas con amputación de miembro superior usuarias y no usuarias de prótesis. Tesis de grado, 2020.
[3] Nishino, W. et al. Development of a myoelectric prosthesis simulator using augmented reality. IEEE SMC, 2017.
[4] Liu, A. et al. Semi-supervised adaptation of upper-limb myoelectric pattern recognition prosthesis control through virtual gameplay. IEEE NER, 2023.
[5] Decoding the neural drive to muscles from the surface electromyogram. Clinical Neurophysiology, 2010.
[6] Hand gesture recognition based on motor unit spike trains decoded from high-density electromyography. Biomedical Signal Processing and Control, 2020.

[7] Jiang, X. et al. Open Access Dataset, Toolbox and Benchmark Processing Results of High-Density Surface Electromyogram Recordings. IEEE TNSRE, 2021.
[8] Kim, Y.-S. et al. Investigating the Impact of Data Normalization Methods on Predicting Electricity Consumption... Sustainable Cities and Society, 2024.
[9] Kok, C. L. et al. Machine Learning-Based Feature Extraction and Classification of EMG Signals... Applied Sciences, 2024.
[10] Abbaspour, S. et al. Evaluation of surface EMG-based recognition algorithms for decoding hand movements. Medical & Biological Engineering & Computing, 2019.
[11] Mohd Khairuddin, I. et al. The classification of movement intention through machine learning models... PeerJ Computer Science, 2021.
[12] Gallón, V. M. et al. Comparison of machine learning algorithms and feature extraction techniques... Biomedical Signal Processing and Control, 2024.
[13] Asogbon, M. G. et al. Appropriate Feature Set and Window Parameters Selection... Symmetry, 2020.