

# Detección de Fatiga Muscular mediante sEMG: Análisis Comparativo de Enfoques Binarios y Multiclase en Modelos de Machine Learning



Autores: Cárdenas Infantes, B. A.; Carrascal Castillo, D. A.; Navarro Luyo, K. R.

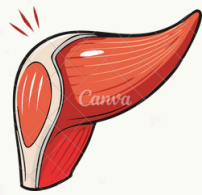
## OBJETIVO

Evaluar y comparar el rendimiento de distintos algoritmos de Machine Learning (XGBoost, SVM, etc) bajo enfoques de clasificación binaria y multiclase, para determinar la estrategia más eficaz en la detección automática de fatiga muscular mediante señales sEMG

## INTRODUCCIÓN

### Fatiga muscular

**1.7** Billones **3ª** causa más de afectados por lesiones musculoesqueléticas en el mundo [1]



**45%** de los trabajadores en Perú reporta dolor específico en hombros [3]

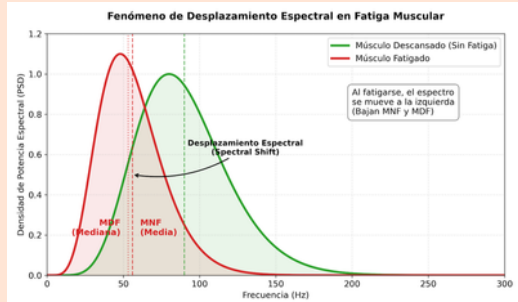


## PROBLEMÁTICA

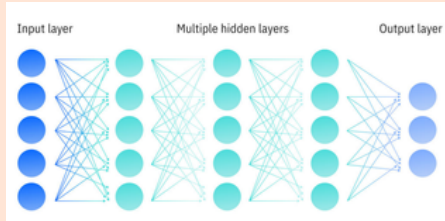
Actualmente, la detección se basa en **evaluaciones subjetivas** como el dolor o el cansancio, que son **poco fiables** y a menudo no reflejan el estado fisiológico real del músculo.

## ESTADO DEL ARTE

### Análisis espectral [4]



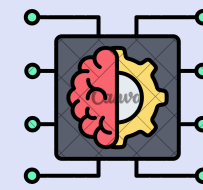
### DEEP LEARNING [5]



- CNN: detectan patrones en ventanas sEMG
- LSTM / CNN-LSTM: capturan dependencias temporales
- Autoencoders: representación sin etiquetas

## PROPUESTA SOLUCIÓN

Desarrollar una herramienta de Machine Learning para la **detección temprana de fatiga** en hombro y brazo y así prevenir lesiones musculoesqueléticas.



## MATERIALES

Año de publicación: 2024

Base de datos: Zenodo (*A Dataset of sEMG and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis*)

- Población: 13 participantes adultos sanos.
- Actividad: Realizan 12 movimientos dinámicos del tren superior hasta sentirse cansados
- Frecuencia de muestreo sEMG: 1,259 Hz
- Frecuencia índice de fatiga: 50 Hz (intervalo 20 ms)
- Músculos Objetivo: Bíceps y Deltoides (Anterior, Medio, Posterior).
- 3 Niveles de fatiga: 0 = Sin fatiga, 1 = Fatiga media, 2 = Fatiga alta



## METODOLOGÍA

### Preprocesamiento de la Señal

#### Filtrado

**Objetivo:** eliminar ruido eléctrico y artefactos por movimiento.

- Filtro pasa-banda Butterworth, orden 4.
- Rango de frecuencias: 20–450 Hz.

#### Sincronización

**Objetivo:** asignar a cada ventana el nivel correcto de fatiga.

- Se empareja con el índice de fatiga más cercano (50 Hz).

#### Segmentación (Windowing)

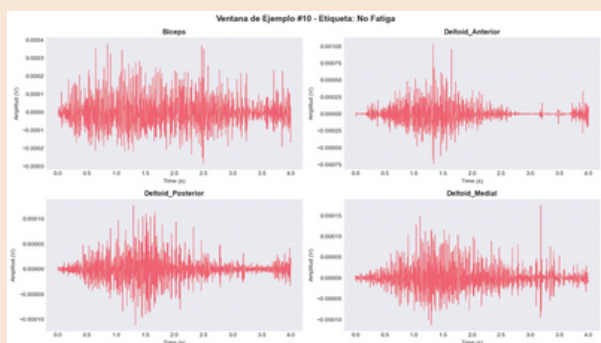
**Objetivo:** evitar pérdida de información entre ventanas consecutivas.

- Tamaño de ventana: 4 segundos ( $\approx 5036$  muestras).
- Solapamiento: 50%.

#### Balanceo de Clases (Binario)

**Objetivo:** evitar sesgo hacia clases mayoritarias.

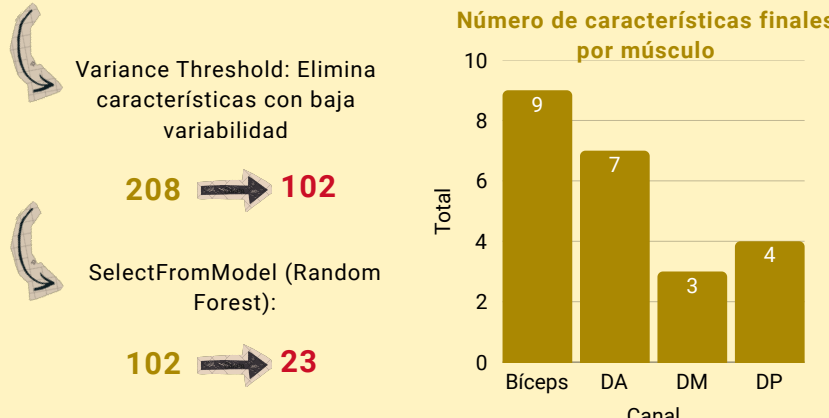
- Uso de SMOTE para balancear las clases.



### Extracción de características

#### Características calculadas por ventana:

**Inicial:** Extracción de 208 características iniciales (52 por cada músculo).



#### Características seleccionadas para el modelo

Canal	Features Seleccionadas
Bíceps	ZC, SSC, KURT, MNF, POWER_LOW, POWER_RATIO_LOW_HIGH, POWER_STD, MFL, ENTROPY
Deltoides Anterior (DA)	ZC, SSC, WL, KURT, MNF, POWER_RATIO_LOW_HIGH, MFL
Deltoides Medio (DM)	ZC, SSC, POWER_RATIO_LOW_HIGH
Deltoides Posterior (DP)	ZC, SSC, MFL, ENTROPY

### Modelos y entrenamiento

#### MODELOS MULTICLASE

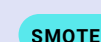
- Random Forest
- XGBoost
- SVM (Support Vector Machine)
- Gradient boosting
- Voting Classifier (Soft Voting)
- Stacking Classifier

#### MODELOS BINARIOS

- XGBoost Binario
- Random Forest Binario
- SVM Binario

**Clase 0 (NO FATIGA): Nivel Baja**  
**Clase 1 (FATIGA): Niveles Media + Alta**

**Train Set:**  
Clase 0 (NO FATIGA): 5,365 (34.04%)  
Clase 1 (FATIGA): 10,396 (65.96%)



**Train Set:**  
Clase 0 (NO FATIGA): 10,396 (50.00%)  
Clase 1 (FATIGA): 10,396 (50.00%)

#### División de datos en:

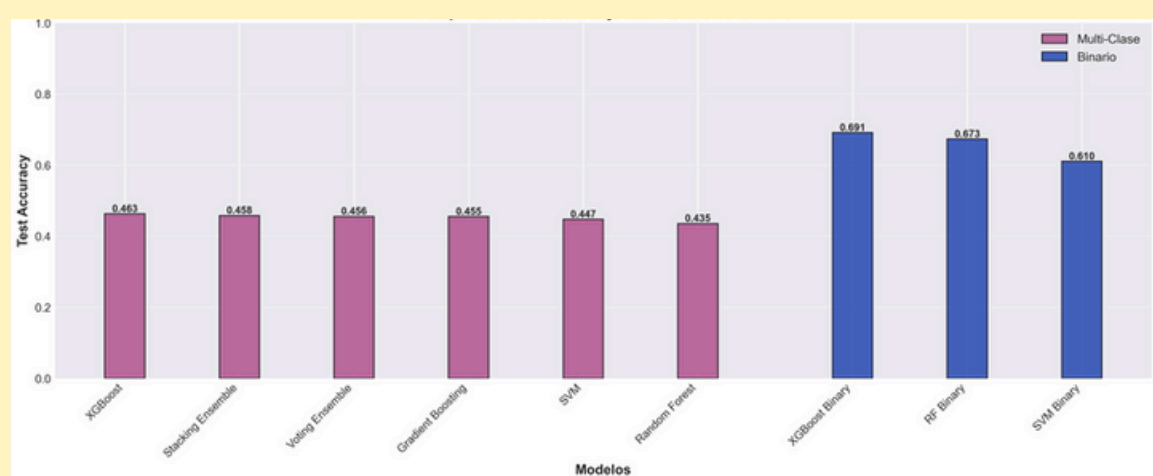
- Entrenamiento: Sujetos 1-8 (70%)
- Validación: Sujetos 9-11 (15%)
- Prueba: Sujetos 12-13 (15%)

Tabla comparativa de hiperparámetros importantes en modelos multi-clase y binario

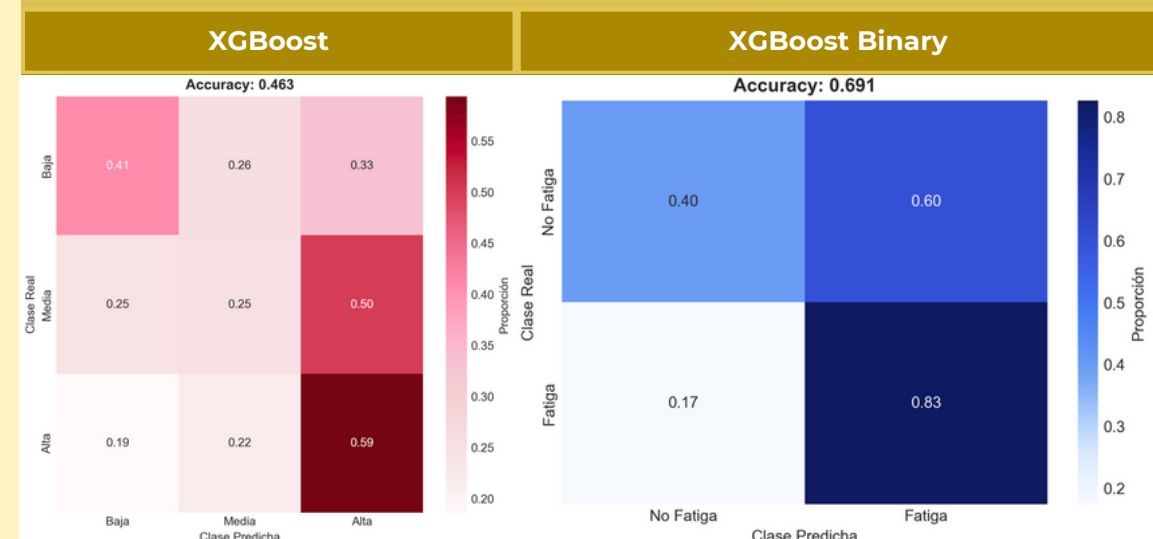
Hiperparámetro	Multi-clase	Binario
n_estimators	500	300
max_depth	8	7
learning_rate	3	5
min_child_weight	—	3
eval_metric	mlogloss	logloss

## RESULTADOS

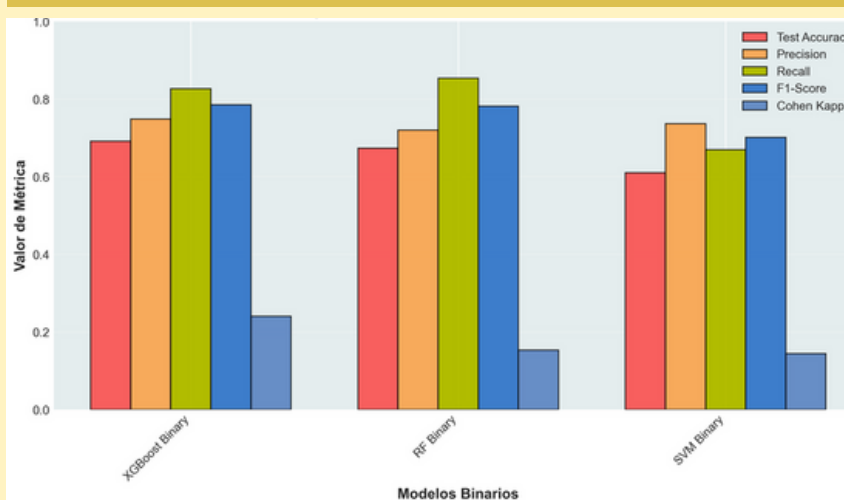
### Comparación de Accuracy



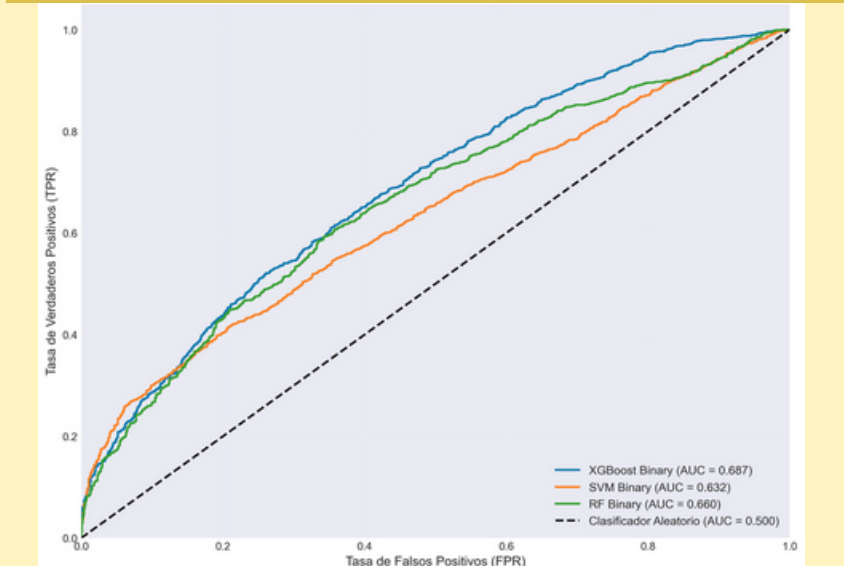
### Matrices de confusión



### Comparación de Métricas - Modelos Binarios



### Curvas ROC - Modelos Binarios



## CONCLUSIONES

- A pesar de intentar clasificar tres niveles de fatiga, los resultados demostraron que simplificar el modelo a un **enfoque Binario** (Fatiga Sí/NO) **mejora drásticamente la precisión del sistema**.
- El algoritmo **XGBoost binario** se consolidó como la estrategia más robusta, superando significativamente a los enfoques multicategoría en fiabilidad y rendimiento.

### Limitaciones

- Solo 13 sujetos** (limitado para DL)
- Limitado a brazo (4 canales EMG por trial)
- 12 trials por sujeto con duraciones variables**
- Split aleatorio (no por sujetos) en modelo binario
- Posible sesgo** hacia características específicas de individuos

### Recomendaciones

- Evaluar uso de Deep Learning (CNN- LSTM)**
- Re-entrenar con split por sujetos (**validación LO SO**)
- Validación clínica en **+50 sujetos**
- Hacer análisis más detalladas y manuales a cada característica a considerar

## BIBLIOGRAFÍA

- Musculoskeletal health," Who.int. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>. [Accessed: 02-Dec-2025].
- J. Lucas, P. van Doorn, E. Hegedus, J. Lewis, and D. van der Windt, "A systematic review of the global prevalence and incidence of shoulder pain," BMC Musculoskelet. Disord., vol. 23, no. 1, p. 1073, 2022.
- M. Kristell et al., "PREVALENCIA DE DOLOR MUSCULOESQUELÉTICO EN DOCENTES DE NIVEL PRIMARIA Y SECUNDARIA QUE REALIZAN TRABAJO REMOTO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LEONARD EULER EN LIMA-PERÚ 2021 Prevalence of musculoskeletal pain in primary and secondary level teachers who perform remote work at the Leonard Euler Educational Institution in Lima, Peru" Edu.pe. [Online]. Available: [https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/13190/Prevalencia\\_SanchezTueros\\_Marjorie.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/13190/Prevalencia_SanchezTueros_Marjorie.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Accessed: 02-Dec-2025].
- Researchgate.net. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/269104978\\_The\\_Usefulness\\_of\\_Mean\\_and\\_Median\\_Frequencies\\_in\\_Electromyography\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/269104978_The_Usefulness_of_Mean_and_Median_Frequencies_in_Electromyography_Analysis). [Accessed: 02-Dec-2025].
- Z. Feng, Y. Wang, and L. Liu, "Muscle fatigue detection method based on feature extraction and deep learning," in 2022 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP), 2022, pp. 97–100.