

PREDICCIÓN DE CUELLOS DE BOTELLA MEDIANTE UNA RED NEURONAL: CASO DE SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA

Universidad de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Industrial

Priscila Arrieta Salazar¹, Nicolás Cortés Malaspina², María Laura Jiménez Elgarrista³, Treisy Vargas Morales⁴

RESUMEN

Este estudio propone una red neuronal densa como modelo predictivo para identificar el cuello de botella en un sistema productivo simulado. Se generaron datos mediante Arena y se entrenó un modelo multisalida en TensorFlow para predecir el índice de restricción (Bottleneck Index, BI) de diez estaciones. La arquitectura óptima fue seleccionada con Keras Tuner, y se evaluó el desempeño mediante MAE. Los resultados muestran una alta precisión predictiva, con un error medio absoluto inferior a 0.01, lo que valida la viabilidad del enfoque para aplicaciones industriales.

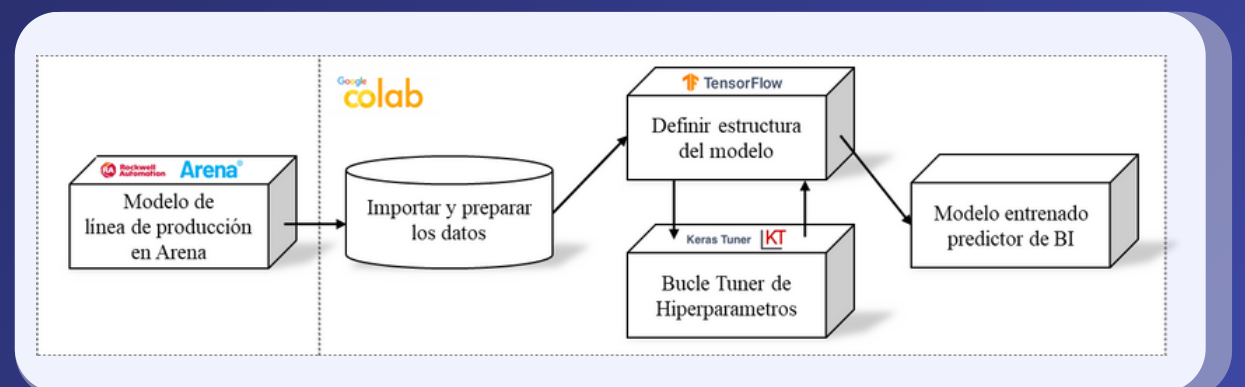
INTRODUCCIÓN

En los sistemas productivos, el cuello de botella determina la capacidad máxima del proceso y, por tanto, su eficiencia global. Identificar esta restricción en tiempo real resulta fundamental para prevenir pérdidas de productividad y tomar decisiones operativas oportunas. La simulación permite modelar estos sistemas, pero no siempre resulta práctica para uso continuo. En este contexto, los modelos predictivos basados en redes neuronales emergen como una alternativa potente, al combinar datos de simulación con algoritmos capaces de aprender patrones y anticipar restricciones futuras.

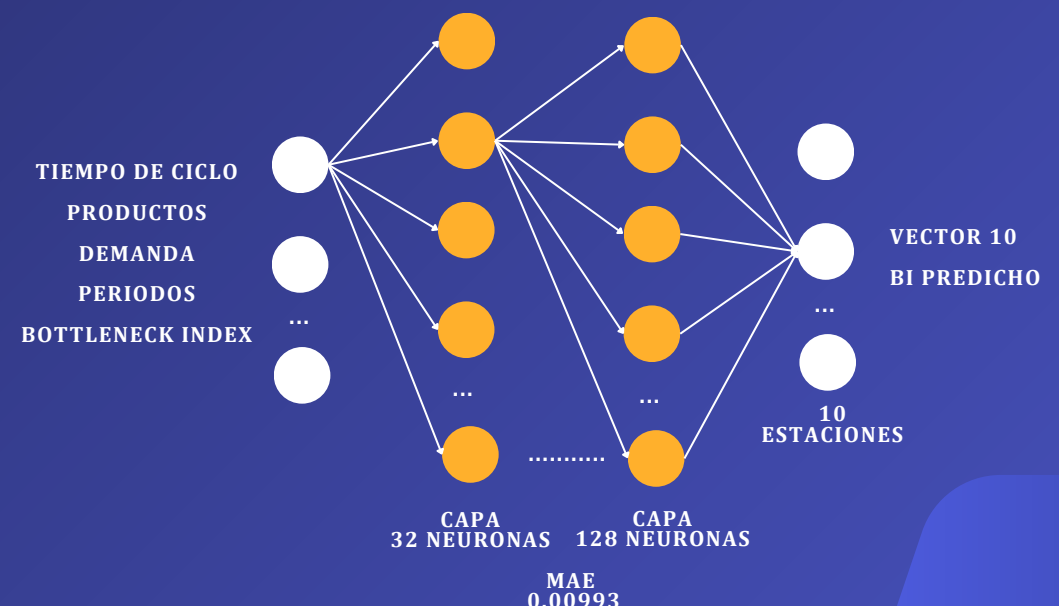
ESTADO DEL ARTE

Diversos estudios han explorado la integración de simulación y aprendizaje automático para la detección de cuellos de botella. Lai et al. (2021) introducen el índice de restricción BI como métrica cuantitativa, permitiendo medir la criticidad relativa de estaciones en función de su tiempo de trabajo activo. Por otro lado, Zhang et al. (2022) y Chen et al. (2021) han propuesto modelos de predicción del cuello de botella basados en árboles de decisión y redes neuronales, demostrando que los métodos supervisados superan en precisión a los enfoques no supervisados como clustering o reglas heurísticas.

Entre las arquitecturas más utilizadas para problemas de predicción se encuentran las redes densas y las redes recurrentes. Las redes densas han demostrado ser eficaces en entornos con datos tabulares y no secuenciales, permitiendo representar relaciones complejas entre variables de entrada y salidas múltiples. Herramientas como Keras Tuner permiten automatizar la búsqueda de hiperparámetros, mejorando el desempeño del modelo sin intervención manual excesiva. A pesar de su potencial, aún existe una brecha en la literatura sobre la predicción de cuellos de botella a partir de datos de simulación con múltiples productos y rutas variables, lo cual se aborda en este trabajo.



MODELO ENTRENADO



RESULTADOS

El modelo entrenado alcanzó un error medio absoluto (MAE) de 0.00993, demostrando alta precisión para predecir el índice de cuello de botella en cada una de las 10 estaciones. El análisis de los valores predichos muestra una buena capacidad para seguir la tendencia del sistema simulado. Además, se identificaron con claridad las estaciones críticas, incluso ante cambios en la demanda o en la ruta de los productos, validando la capacidad generalizadora del modelo.

CONCLUSIÓN

La combinación de simulación con redes neuronales profundas permite desarrollar modelos predictivos precisos para identificar cuellos de botella en sistemas complejos. Este enfoque reduce la necesidad de simulaciones constantes, ofreciendo una herramienta ágil para la toma de decisiones operativas. Se recomienda en futuras investigaciones explorar arquitecturas con memoria (como LSTM) para capturar patrones secuenciales en procesos con mayor variabilidad temporal.