



*“Optimización de la Gestión de la Demanda Eléctrica  
Mediante el Uso de Redes Neuronales LSTM y un Sistema  
Recomendador Dinámico”*

~~Que para obtener el grado de~~  
Magíster en Ingeniería Informática

*Alumno*  
~~Presenta:~~

Sebastián Rodrigo Contreras Gamboa

Profesor Guía:

Broderick Crawford Labrín

Santiago de Chile, marzo de 2024

## Contenido

Resumen.....	2
Abstract .....	3
Objetivo Principal.....	6
Objetivos específicos.....	6
Planteamiento del problema.....	7
Solución del problema .....	8
Conclusión .....	10
Referencias .....	11

del inglés ...

## Resumen

Este estudio se centra en el desarrollo y refinamiento de una estrategia avanzada para la optimización de la demanda eléctrica, utilizando Redes Neuronales de Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM) en el marco de la gestión proactiva de la energía. Se destaca la importancia fundamental de una gestión eficaz de la demanda dentro de la red de transmisión y distribución eléctrica, donde desequilibrios pueden conducir a significativas consecuencias económicas y operativas. Ante este desafío, la optimización de la demanda emerge como una solución clave para prever y ajustar el consumo de energía, mejorando así la eficiencia y la estabilidad del suministro eléctrico.

<sup>se</sup> La investigación inicia con una revisión exhaustiva de trabajos anteriores sobre estrategias de gestión de la demanda y el empleo de técnicas de aprendizaje profundo para la predicción en sistemas eléctricos, estableciendo las bases teóricas y la justificación para la aplicación de redes LSTM en este contexto. Se subraya la capacidad única de las LSTM para analizar secuencias de datos temporales, haciéndolas herramientas idóneas para modelar patrones de consumo eléctrico y predecir futuras demandas.

El enfoque metodológico del proyecto incluye varias fases, comenzando con la recolección y preparación de datos de consumo eléctrico. Estos datos abarcan mediciones de variables críticas como el uso horario de energía, fundamentales para comprender los patrones de demanda. Seguidamente, se procede a la construcción y entrenamiento del modelo LSTM, detallando aspectos técnicos como la arquitectura de la red, la selección de hiperparámetros y el proceso de entrenamiento con base en registros históricos.

Tras el desarrollo del modelo, se describe el esquema para su implementación en sistemas de gestión energética en tiempo real, resaltando cómo el modelo LSTM, integrado con herramientas de recomendación, puede ofrecer orientaciones precisas para la regulación de la demanda. Se discuten los desafíos enfrentados durante el desarrollo, incluyendo la selección de características relevantes y la gestión de datos incompletos.

En conclusión, este trabajo busca demostrar cómo las tecnologías de inteligencia artificial, en especial las redes LSTM, pueden revolucionar la gestión de la demanda eléctrica. A través de un enfoque sistemático y basado en datos, el objetivo es no solo mejorar la eficiencia y fiabilidad de los sistemas de energía, sino también promover la sostenibilidad operativa y económica de estas infraestructuras esenciales.

Palabras clave: Gestión de la demanda eléctrica, Redes Neuronales LSTM, Optimización de la energía, IA en el sector eléctrico.

## Abstract

This study focuses on the development and refinement of an advanced strategy for electric demand optimization, using Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Networks within the framework of proactive energy management. The fundamental importance of effective demand management within the electrical transmission and distribution network is highlighted, where imbalances can lead to significant economic and operational consequences. In response to this challenge, demand optimization emerges as a key solution for predicting and adjusting energy consumption, thereby improving the efficiency and stability of the electrical supply.

The research begins with a thorough review of previous works on demand management strategies and the use of deep learning techniques for prediction in electrical systems, establishing the theoretical foundations and justification for the application of LSTM networks in this context. The unique ability of LSTMs to analyze temporal data sequences is emphasized, making them ideal tools for modeling electrical consumption patterns and predicting future demands.

The methodological approach of the project includes several phases, starting with the collection and preparation of electrical consumption data. These data cover measurements of critical variables such as hourly energy use, fundamental for understanding demand patterns. Subsequently, the construction and training of the LSTM model proceed, detailing technical aspects such as network architecture, hyperparameter selection, and the training process based on historical records.

After the model's development, the scheme for its implementation in real-time energy management systems is described, highlighting how the LSTM model, integrated with recommendation tools, can offer precise guidelines for demand regulation. The challenges faced during development, including the selection of relevant features and the management of incomplete data, are discussed.

In conclusion, this work seeks to demonstrate how artificial intelligence technologies, especially LSTM networks, can revolutionize the management of electric demand. Through a systematic and data-based approach, the goal is not only to enhance the efficiency and reliability of energy systems but also to promote the operational and economic sustainability of these essential infrastructures.

**Keywords:** Electric Demand Management, Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Networks, Energy Optimization, AI in the Electric Sector.



## Introducción

La energía es un pilar fundamental de la sociedad moderna, impulsando avances en tecnología, salud, comunicaciones y sustentando actividades esenciales del día a día. La eficiencia en la gestión de la demanda energética es crucial para el sostenimiento de este ecosistema, permitiendo no solo el ahorro de recursos sino también la optimización de la red eléctrica para enfrentar los desafíos del futuro. En este contexto, la capacidad de prever con precisión la demanda de energía se convierte en una herramienta indispensable para la planificación y operación eficiente de los sistemas eléctricos.

Dentro de los enfoques innovadores para abordar este reto, las Redes Neuronales de Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM) han demostrado ser especialmente eficaces. Su habilidad para aprender y recordar información a través del tiempo las hace idóneas para analizar y predecir patrones complejos en series temporales de datos, como las generadas por el consumo de energía eléctrica. Esta investigación se enfoca en la utilización de redes LSTM para la predicción de la demanda energética, integrando estas predicciones en un sistema recomendador que oriente la toma de decisiones operativas en tiempo real. [ + ]

Siguiendo el ejemplo de estudios previos que han aplicado inteligencia artificial para optimizar diferentes aspectos del sector energético, como la investigación de "Machine learning based energy demand prediction" [9] y "Predicting global energy demand for the next decade: A time-series analysis" [7], este proyecto busca ampliar el conocimiento en el campo de la predicción de la demanda energética. A través del análisis detallado de variables críticas como temperatura, voltaje, corriente y uso horario de energía, aspiramos a desarrollar un modelo LSTM robusto capaz de anticipar fluctuaciones en la demanda energética con un alto grado de precisión.

Además, inspirados en el trabajo "Energy Forecasting: A Review and Outlook" [11], que resalta la importancia de la investigación reproducible y la innovación en el pronóstico energético, este estudio pretende integrar las predicciones del modelo en un sistema recomendador dinámico. Este sistema proporcionará directrices operativas basadas en las predicciones, facilitando una gestión más eficaz de la energía y contribuyendo a la sostenibilidad de la red eléctrica.

Al incorporar tecnologías avanzadas de inteligencia artificial y aprendizaje profundo, este proyecto tiene el potencial de transformar significativamente la gestión de la demanda eléctrica. Buscamos no solo mejorar la precisión en la predicción de la demanda sino también ofrecer una herramienta valiosa para la toma de decisiones operativas, promoviendo así una infraestructura energética más segura, fiable y eficiente. Este enfoque holístico y basado en datos promete minimizar las interrupciones del servicio y asegurar que la energía, ese recurso vital, continúe impulsando cada aspecto de nuestra sociedad moderna.

Adicionalmente, el avance hacia sistemas de gestión de energía más inteligentes y automatizados es crucial para adaptarse a las crecientes demandas y complejidades de las redes modernas. La implementación de modelos predictivos precisos, como los basados en LSTM, no solo mejora la planificación de la carga y la generación de energía sino que también facilita la integración de fuentes renovables en la red. En este sentido, el estudio "Machine learning for energy consumption prediction and scheduling in Smart Buildings" [8] destaca cómo el aprendizaje automático puede optimizar el consumo de energía en edificios inteligentes, un microcosmos de la red eléctrica más amplia. Este enfoque subraya la importancia de las tecnologías predictivas no solo en la macrogestión de la red eléctrica sino también en aplicaciones específicas que contribuyen a la eficiencia general del sistema.

Por otro lado, la transición hacia fuentes de energía renovables y sistemas de distribución más sostenibles implica nuevos desafíos en la predicción y gestión de la demanda. La variabilidad inherente a fuentes como la solar y la eólica requiere herramientas de predicción aún más sofisticadas y adaptativas. El artículo "Short term energy consumption forecasting using neural basis expansion analysis" [6] explora técnicas avanzadas para la predicción de la demanda a corto plazo, resaltando la necesidad de modelos capaces de ajustarse rápidamente a cambios en las condiciones de generación y consumo. La integración de estas técnicas en sistemas de gestión energética promete no solo una red eléctrica más resiliente y flexible sino también una mayor incorporación de energías limpias, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad y reducción de la huella de carbono.

Estos avances en el campo de la predicción y gestión de la demanda energética resaltan el potencial de las redes LSTM y el análisis de datos avanzado para enfrentar los desafíos del sector eléctrico. A través de la implementación de estos modelos y sistemas, el proyecto busca contribuir a la optimización de la red eléctrica, garantizando un suministro de energía eficiente, sostenible y adaptado a las necesidades del futuro.



## Objetivo Principal

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un modelo predictivo avanzado utilizando Redes Neuronales de Memoria de Corto y Largo Plazo (LSTM) para la optimización de la demanda energética. Esta meta se aborda desde la conceptualización inicial del modelo hasta su implementación práctica, incluyendo etapas de recolección y preprocesamiento de datos, entrenamiento del modelo, evaluación de su precisión y la integración con sistemas de gestión energética en tiempo real. El propósito es afinar la arquitectura de LSTM para que identifique con precisión patrones complejos en los datos de consumo de energía, abarcando fluctuaciones significativas y tendencias a corto y largo plazo. A través de este modelo, se busca no solo anticipar la demanda futura de manera precisa sino también generar recomendaciones operativas que permitan una gestión más eficaz y eficiente de los recursos energéticos. Esto incluye la adaptación a picos de demanda y la optimización del uso de fuentes renovables, contribuyendo así a reducir costos operativos, aumentar la sostenibilidad de la red eléctrica y mejorar la fiabilidad del suministro de energía. Además, el proyecto fomenta una interdisciplinariedad, combinando áreas como la ingeniería eléctrica, ciencia de datos e inteligencia artificial, con el fin de avanzar hacia una infraestructura energética innovadora, resiliente y alineada con los objetivos de sostenibilidad global.

## Objetivos específicos

- Recopilar y procesar datos históricos sobre el consumo de energía, incluyendo variables como el uso horario de energía, condiciones meteorológicas y otros factores relevantes, para utilizar en el entrenamiento del modelo LSTM.
- Desarrollar y ajustar la arquitectura de una red neuronal LSTM específicamente diseñada para analizar y predecir series temporales de demanda energética, teniendo en cuenta las características únicas de estos datos.
- Entrenar el modelo LSTM con datos históricos de consumo de energía, refinando los hiperparámetros de la red para maximizar su capacidad de predecir con precisión la demanda futura y reconocer patrones de consumo.

## Planteamiento del problema

En el ámbito energético, la gestión y optimización de la demanda eléctrica son esenciales para el desarrollo sostenible y la eficiencia de los sistemas de distribución y generación de energía. Esto hace que la infraestructura eléctrica sea crítica, sujeta a normativas y directrices por entidades reguladoras como el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) y la Comisión Nacional de Energía (CNE). Estas directrices abarcan desde la ciberseguridad en sistemas SCADA hasta la implementación de prácticas sustentables y eficientes en la generación y distribución de energía, con el objetivo de asegurar una operación segura y eficiente del sistema eléctrico nacional.

A pesar de la importancia de una gestión eficiente de la demanda eléctrica, existen desafíos significativos en la predicción precisa de la demanda y en la adaptación a fluctuaciones imprevistas. Actualmente, no hay sistemas en el mercado eléctrico que ofrezcan soluciones óptimas para predecir y gestionar de manera proactiva la demanda energética. Si bien los sistemas SCADA proporcionan una vasta cantidad de datos, desde registros de fallas hasta variables análogas como tensiones, potencias y corrientes, hay una necesidad crítica de herramientas avanzadas que permitan analizar esta información para prever la demanda futura y optimizar la red eléctrica de acuerdo con estas predicciones.



La incapacidad para anticipar y gestionar eficazmente las fluctuaciones en la demanda eléctrica puede resultar en ineficiencias operativas, mayores costos, y un impacto negativo en la seguridad y el medio ambiente. Interrupciones no planificadas pueden llevar a la activación de fuentes de generación de reserva menos eficientes y más contaminantes, contraviniendo los objetivos de transición hacia una generación más limpia y sostenible.

Además, la adopción de estándares internacionales y prácticas recomendadas por organismos como el IEEE e IEC en la monitorización y gestión de la demanda energética puede ofrecer un marco de referencia para la mejora continua. Este proyecto busca no solo incorporar estas prácticas sino también explorar cómo las soluciones basadas en inteligencia artificial, como las redes LSTM, pueden superar los retos existentes, mejorando la fiabilidad, eficiencia y sustentabilidad de los sistemas eléctricos. En este contexto, se enfatiza la importancia de avanzar hacia soluciones que no solo aseguren la estabilidad de la red eléctrica, sino que también contribuyan a los objetivos de sostenibilidad ambiental del sector.



## Solución del problema

Dado el desafío identificado de optimizar la gestión de la demanda energética y predecir con precisión los patrones de consumo, se propone el desarrollo de una red neuronal LSTM. Este enfoque tiene como objetivo anticipar con eficacia las variaciones en la demanda energética, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y facilitando la integración de fuentes renovables. Además, contribuirá a la reducción de costos operativos y al mantenimiento de la estabilidad y seguridad en la red eléctrica. A continuación, se detalla la solución propuesta a través de un esquema estructurado en etapas.

### Etapa 1: Recolección y Preparación de Datos

- **Recolección de Información:** Obtención de datos históricos sobre el consumo de energía, incluyendo variables como el uso horario de energía, condiciones climáticas, y otros indicadores relevantes.
- **Catalogación de Datos:** Clasificación cuidadosa de los datos, distinguiendo entre patrones de consumo normales y eventos atípicos.
- **Estandarización:** Aplicación de técnicas de normalización para homogeneizar las escalas de las variables, facilitando el aprendizaje efectivo por parte de la red neuronal.

### Etapa 2: Diseño y Configuración de la Red LSTM

- **Selección de Variables:** Elección de las variables más significativas basadas en su correlación con la demanda energética.
- **Arquitectura LSTM:** Establecimiento de una configuración de red LSTM, adaptada para tratar la predicción de demanda como una secuencia temporal continua.
- **Ajuste de Hiperparámetros:** Optimización de los hiperparámetros, como el número de unidades LSTM, la tasa de aprendizaje y el tamaño del lote, para mejorar el rendimiento del modelo.

### Etapa 3: Entrenamiento y Validación del Modelo

- **Segmentación de Datos:** División del conjunto de datos en partes para entrenamiento, validación y pruebas.
- **Capacitación:** Entrenamiento del modelo LSTM con el conjunto designado, monitoreando su desempeño en la validación para evitar el sobreajuste.
- **Validación Cruzada:** Implementación de validación cruzada para asegurar la generalización del modelo a nuevos datos.



#### Etapa 4: Evaluación y Ajustes

- **Evaluación del Modelo:** Análisis de las predicciones utilizando el conjunto de pruebas y medición de su precisión mediante métricas específicas.
- **Optimización:** Refinamiento del modelo en base a los resultados, ajustando la arquitectura, hiperparámetros o la preparación de datos según sea necesario.

Este enfoque integral y metodológico no solo promete mejorar la precisión en la predicción de la demanda energética sino también ofrece directrices para una gestión energética proactiva y sostenible, alineándose con los objetivos de eficiencia y sustentabilidad en el sector energético.

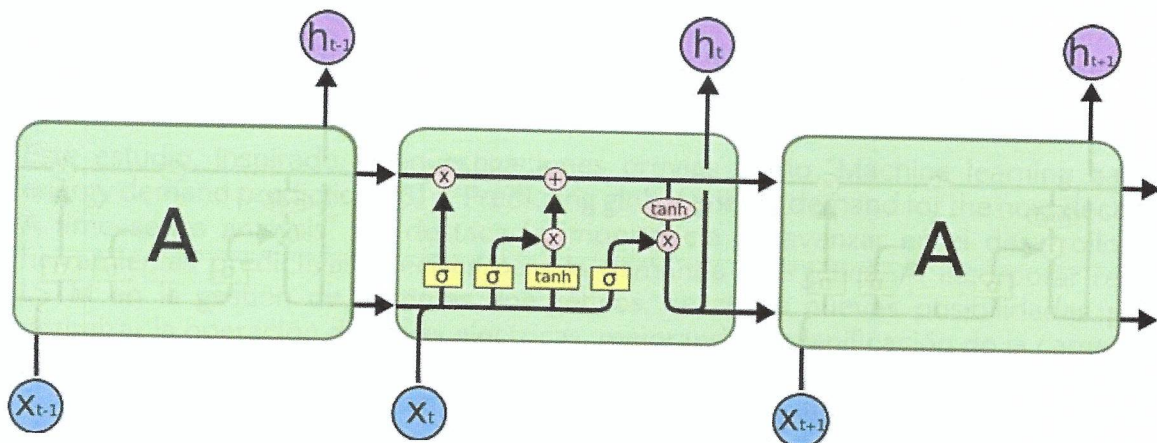


Imagen 2. Ejemplo de red LSTM propuesta.