



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

EBCI

Escuela de
Bibliotecología y Ciencias
de la Información

e-Ciencias de la Información

Estado del Arte de la Predicción de Variables en Sistemas de Ingeniería Eléctrica Basada en Inteligencia Artificial

*Joseline Sánchez Solís y
Marvin Coto Jiménez*

Recibido: 07/07/2021 | Corregido: 22/10/2021 | Aceptado: 02/11/2021

e-Ciencias de la Información, volumen 12, número 1, Ene-Jun 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/eci.v12i1.47628>

ISSN: 1649-4142



¿Cómo citar este artículo?

Sánchez Solís, J. y Marvin Coto, J. (2022). Estado del Arte de la Predicción de Variables en Sistemas de Ingeniería Eléctrica Basada en Inteligencia Artificial. *e-Ciencias de la Información*, 12(1). doi: [10.15517/eci.v12i1.48603](https://doi.org/10.15517/eci.v12i1.48603)

Estado del Arte de la Predicción de Variables en Sistemas de Ingeniería Eléctrica Basada en Inteligencia Artificial

State of the Art of Predicting Electrical Engineering Variables Based on Artificial Intelligence

Joseline Sánchez Solís¹  Marvin Coto Jiménez² 

RESUMEN

Existe una gran cantidad de sistemas que se estudian y desarrollan en el campo de la Ingeniería Eléctrica en los que se realizan análisis que tienen como uno de sus fines principales la predicción de sus variables, tanto para procesos de planificación como de toma de decisiones. Con el advenimiento de la Inteligencia Artificial, se ha observado cómo distintas técnicas relacionadas con el aprendizaje automático y la optimización se han incorporado a estas tareas de predicción, con las cuales se obtienen generalmente mejores resultados en los valores estimados que aquellos generados a partir de técnicas más tradicionales. La presente investigación tiene como objetivo realizar una revisión de lo publicado sobre predicciones de variables en sistemas de Ingeniería Eléctrica en las bases de datos EBSCO, SciELO, RedAlyc, Springer Link, IEEE Xplorer, y Google Académico, a partir de una delimitación temporal y de palabras clave del área. A partir del análisis de la literatura se obtuvo la tendencia sobre el tema a partir de los años más productivos, áreas de impacto e idiomas más frecuentes. Se observó que los estudios desarrollados han crecido en años recientes, y que las áreas de mayor impacto, de acuerdo con el número de publicaciones y de citas son la predicción del consumo y producción de energía eléctrica, y las variables relacionadas con energías renovables.

Palabras Clave: *Inteligencia Artificial, Predicción de variables eléctricas, Ingeniería*

1 Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, COSTA RICA. Correo: joseline.sanchezsolis@ucr.ac.cr

2 Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, COSTA RICA. Correo: marvin.coto@ucr.ac.cr



ABSTRACT

In many systems that are studied and developed in the field of Electrical Engineering, analyzes are carried out that have as one of their main purposes the prediction of their variables, both for planning and decision-making processes. With the advent of Artificial Intelligence, it has been observed how different techniques related to machine learning and optimization have been incorporated into these prediction tasks. Those new techniques generally obtained better results in the estimation of values than those generated from more traditional techniques. The objective of this research is to review what has been published on predictions of variables in Electrical Engineering systems in the databases EBSCO, SciELO, RedAlyc, Springer Link, IEEE Xplorer, and Google Scholar, given specific temporal and keywords delimitations for the area. From the analysis of the literature, the trend on the subject was obtained from the most productive years, areas of impact, and most frequent languages. It was observed that the studies developed have grown in recent years and that the areas of greatest impact, according to the number of publications and citations, are the prediction of electricity consumption and production, and the variables related to renewable energy.

Keywords: *Artificial intelligence, electrical variables prediction, Electrical Engineering.*

1. INTRODUCCIÓN

Desde el desarrollo de los primeros sistemas de generación y distribución de energía eléctrica, con los cuales fue posible llevar esta fuente de energía a hogares, comercios e industrias en gran parte del territorio mundial, surgió la necesidad de garantizar la satisfacción de la demanda actual y futura de este servicio, el cual transformó prácticamente todas las esferas del quehacer humano. Además de garantizar un flujo de energía constante para mantener la operación de todos los sistemas de iluminación, movimiento, calefacción, comunicaciones y otras aplicaciones, también se observó la importancia de mantener la calidad de energía entregada, y la previsión de otros aspectos como las fallas en este servicio o en sus múltiples aplicaciones. Todo esto en aras de permitir una continuidad del flujo eléctrico que no afectara negativamente el desempeño de los sistemas y dispositivos eléctricos o electrónicos, tanto los conectados en determinado instante en las redes eléctricas, como los que se proyectaran conectar a futuro.

Como la obtención de respuestas a estas preguntas ha estado entre las necesidades de esta área del conocimiento desde hace décadas, se han implementado diversas técnicas para predecir estos valores futuros. Por ejemplo, establecer la demanda futura de una variable como la demanda de energía eléctrica permite determinar si las fuentes actuales (plantas hidroeléctricas, eólicas, geotérmicas, etc.), alcanzarán para satisfacer dicha demanda, o bien si es necesario aumentar su capacidad o desarrollar nuevas fuentes.

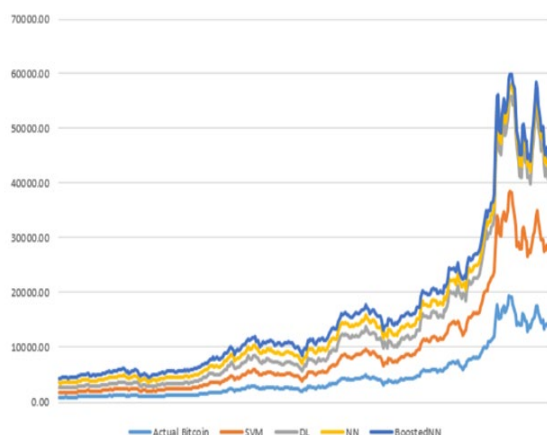
Entre las técnicas de predicción implementadas se encuentran los Modelos Autorregresivos de Medias Móviles (ARMA, por sus siglas en inglés) y Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles (ARIMA, por sus siglas en inglés). Cuando se construye y ajusta uno de estos modelos matemáticos, es posible establecer valores futuros con los métodos y ecuaciones propios del modelo (Brockwell 2002). Estas técnicas no han surgido propiamente en la ingeniería eléctrica, sino que son modelos matemáticos útiles que se adoptan para obtener las respuestas necesarias en estas aplicaciones.

Por otra parte, el advenimiento de la inteligencia artificial como nueva área del conocimiento también ha impactado a la Ingeniería Eléctrica, al incorporarse en procesos de toma de decisiones, desarrollo de nuevas aplicaciones y perfeccionamiento de las existentes. Dada la importancia de este tema, las implementaciones recientes de algoritmos de estimación de valores futuros pertenecientes al área de inteligencia artificial, también se han incorporado como nuevas posibilidades para predecir los valores de las variables en los sistemas eléctricos. La inteligencia artificial, cuya conceptualización entraña diversas dificultades, se entiende en este caso en su enfoque más práctico, como

una herramienta que nos ayuda a afrontar la resolución de problemas usando un enfoque muy distinto al de la computación clásica. [...] Es un conjunto de técnicas que por sí solas o en combinación con otras nos ayudarán a encontrar una solución a un problema cuya resolución es compleja e incluso inabordable por una persona humana. (García 2012, pág. 9)

Se recalca aquí el enfoque particular de la inteligencia artificial con respecto a otros modelos matemáticos. En predicción de variables se puede mencionar, por ejemplo, a las redes neuronales artificiales, uno de los algoritmos más ampliamente utilizados de inteligencia artificial, los cuales se han aplicado en múltiples áreas para predecir valores, incluyendo condiciones climáticas (Sharma, 2018) y el costo de criptomonedas (Maiti, 2020), como se muestra en la Figura 1.

FIGURA 1
PREDICCIÓN DEL COSTO DE CRIPTOMONEDAS UTILIZANDO DIVERSAS TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SU COMPARACIÓN CON LOS VALORES REALES.



Fuente: Hitam e Ismail, 2018, pág.6.

Para tener una mejor visión del estado del arte en esta materia y su relación con la predicción de variables en ingeniería eléctrica, es importante realizar una revisión sistemática de la literatura reciente. La utilidad de este tipo de estudio radica en la obtención de una visión no parcializada de la información, la obtención de conclusiones sobre determinadas temáticas (las cuales no es posible realizar a partir de estudios individuales), así como contar con antecedentes sólidos para futuras investigaciones (Kitchenham, 2004).

En el presente artículo se realiza una revisión sistemática de la literatura reciente en el tema de variables de ingeniería eléctrica cuya predicción se realiza con herramientas de inteligencia artificial. De esta manera, se espera realizar una contribución al estado del conocimiento en ambos campos de estudio, desde donde se pueden determinar áreas de oportunidad para el aprovechamiento de este tipo de herramientas en nuevos contextos o aplicaciones de ingeniería eléctrica, así como aportar en la percepción de la influencia que la inteligencia artificial tiene ya en la toma de decisiones.

2. REFERENTE TEÓRICO

En esta sección se hace referencia a los dos temas principales que abarca la presente revisión de esta del arte: la Inteligencia Artificial y la Ingeniería Eléctrica.

2.1 Inteligencia Artificial

La conceptualización de Inteligencia Artificial representa uno de los problemas fundamentales de esta área del conocimiento. De acuerdo con Arrestegui, (2012, p. 87), una “teoría general de la inteligencia artificial es todavía un objetivo por realizar”.

En ausencia de un consenso sobre el concepto de inteligencia artificial, se citan con frecuencia las definiciones brindadas por personajes emblemáticos en su desarrollo, aunque de inmediato surgen preguntas abiertas a partir de ellas. Por ejemplo, John McCarthy (citado en Arrestegui, 2012) la define como “la ciencia e ingeniería para construir máquinas inteligentes, especialmente, programas de computación inteligentes. Así como, lo relativo a la tarea de usar computadoras para entender la inteligencia humana, pero no limitada a métodos observables biológicamente” (2012, p.88). Este tipo de definiciones dejan abierta la discusión sobre cómo establecer de forma concreta que algo es inteligente, y cuáles serían las fronteras para medir la inteligencia fuera del cerebro humano o la realidad biológica.

En esta línea, el investigador Marvin Minsky (1990) explica que “Aun cuando todavía no conocemos cómo los cerebros realizan sus habilidades mentales, podemos trabajar hacia el objetivo de hacer máquinas que hagan lo mismo. La ‘Inteligencia Artificial’ es simplemente el nombre que dimos a esta investigación” (Arrestegui, 2012, pág. 87). De esta manera, se pueden identificar algunos de los elementos que caracterizan a esta área del conocimiento en su enfoque práctico, ligado a la resolución de problemas en ingeniería, tales como la imitación de las habilidades mentales de los seres humanos.

Esto ha sido señalado por autores como Serna, Acevedo y Sema (2017), quienes identifican el origen de la inteligencia artificial a partir de la inquietud sobre si un objeto puede imitar la naturaleza del pensamiento humano. Por ello, señalan que el desarrollo de la inteligencia artificial está orientado hacia la construcción de entidades inteligentes y a su comprensión. Como se señaló previamente, la indicación del concepto “inteligente” dentro de la definición de inteligencia artificial deja abierta la extensión de los alcances de la inteligencia para establecer su comparación o medición fuera de la mente humana.

Específicamente en áreas como la ingeniería, donde se utiliza de forma más aplicada, la inteligencia artificial puede ser estudiada como un conjunto de algoritmos y técnicas destinados a resolver problemas que no pueden ser abordados por otros métodos tradicionales, o bien que pueden establecer nuevos hitos en el desempeño de las soluciones. Si bien no se elude la parte conceptual, u otros aspectos muy relevantes como la ética, en su aplicabilidad para la resolución de problemas que aparecen en ingeniería, hace que el área sea abordada de una manera más fragmentada, a partir de los algoritmos que caracterizan al área.

En esta línea, se establece una categorización de algoritmos de inteligencia artificial, los cuales representan una forma de estudiarlos y aplicarlos en áreas específicas, como la ingeniería (Vegega, Pytel y Pollo, 2017, pp. 107-108). Las categorías establecidas son:

- Algoritmos de clasificación, que buscan establecer etiquetas, o clases, a datos nuevos, previamente no vistos, a partir de un modelo construido con datos conocidos. Dentro de los algoritmos más conocidos para realizar problemas de clasificación de imágenes, sonidos, o cualquier otra aplicación donde se deban distinguir elementos, se encuentran los Árboles de Decisión, las Redes Neuronales Artificiales, Bayes Ingenuo, Máquinas de vectores de soporte y K-vecinos más cercanos. Cada uno de estos algoritmos opera de forma distinta, pero todos están basados en el conocimiento de casos conocidos para predecir nuevos.
- Algoritmos de segmentación o clustering, que son semejantes al tipo anterior, pero no se conoce la clase a la que pertenecen los datos, de manera que se agrupan los datos de acuerdo con una medida de similitud. Los nuevos casos se pueden establecer como pertenecientes a uno de los grupos detectados usando esas mismas medidas de similitud.
- Algoritmos de Asociación, donde los datos se usan para generar un modelo que permita descubrir relaciones entre los atributos en los datos.
- Algoritmos de Regresión, que se ocupan de modelar relaciones entre variables, para establecer sistemas con los cuales se pueda representar o predecir el comportamiento de determinado fenómeno. Algunos de los algoritmos de clasificación también han sido adaptados a problemas de regresión, con los cuales se pueden establecer predictores. De esta manera, encontramos técnicas de predicción basadas en árboles de decisión, redes neuronales artificiales y máquinas de vectores de soporte.



Existen también variedad de problemas que plantean situaciones de búsqueda, optimización y procesamiento del lenguaje. La dinámica en la incorporación de nuevas áreas de aplicación, su impacto social y las implicaciones éticas son parte de las características de la inteligencia artificial, lo que hace esta área de particular complejidad conceptual. El interés creciente que se ha puesto a nivel empresarial, social y académico en la inteligencia artificial en los últimos años parte de la diversificación de sus posibilidades y su adopción en muchos campos, donde ha mostrado importantes resultados. Sus posibilidades de transformación de las actividades humanas se han comparado incluso a las que trajo el uso extensivo de la electricidad, generando un nuevo tipo de industria e incluso de sociedad.

En el presente trabajo se basa en un estudio del estado del arte de esta área del conocimiento en publicaciones académicas, en las cuales se identifica de manera práctica la utilización de inteligencia artificial a partir de algoritmos característicos, y su relación con aplicaciones específicas de la ingeniería eléctrica. Específicamente, se destaca la utilización en problemas de predicción de variables, como se muestra en el siguiente apartado.

2.2 Ingeniería Eléctrica

La Ingeniería Eléctrica puede definirse como la rama de la ingeniería que se ocupa del estudio, diseño y aplicación de equipo, dispositivos y sistemas que utilizan electricidad, electrónica y electromagnetismo (Barney, 2019). Existen múltiples áreas de especialidad englobadas dentro de la ingeniería eléctrica, con las cuales se generan miles de aplicaciones a nivel de sistemas de energía, microprocesadores, máquinas eléctricas, dispositivos electrónicos, telecomunicaciones, fotónica, entre muchas otras.

El impacto de la Ingeniería Eléctrica en la vida cotidiana, el comercio y la industria es muy amplio. Sus aplicaciones abarcan cada vez más aspectos de la vida cotidiana. En sus inicios estuvo relacionada principalmente con la producción y distribución de energía eléctrica y las primeras máquinas y dispositivos, en las décadas de 1870 a 1890 (Ushakov, 2018).

Posteriormente se distinguió el área de ingeniería electrónica como un campo de aplicación con características propias, especialmente con la difusión de la tecnología de transmisión de ondas por radiofrecuencia (Roberts, Demarest y Prescott, 2008, p. 1). De esta manera, se incluyen desde las primeras décadas del desarrollo de la Ingeniería Eléctrica los temas relacionados con los sistemas de potencia, es decir, de generación y distribución de energía, y la electrónica, ligada al estudio del movimiento de electrones y la acción de las fuerzas electromagnéticas para su utilización en dispositivos.

Con el transcurrir del tiempo, y en respuesta al conjunto amplio de desarrollos y tendencias en el aprovechamiento de la energía eléctrica, la tendencia ha sido hacia la especialización en nuevas sub-áreas, en las cuales se requiere un entrenamiento más avanzado en temas científicos y matemáticos (Jesiek y Jamieson, 2017, pp. 1-2). De esta manera, se abordan de forma independiente dentro de la Ingeniería Eléctrica, o alguna de las áreas derivadas, el estudio de señales, sistemas, electrónica y telecomunicaciones, entre otras.

La especialización generada, con sus respectivas áreas temáticas representan un reto importante de generación de temáticas a abordar dentro de esta rama de la Ingeniería, además de que algunas áreas han caído en desuso con el avance de las nuevas tecnologías. Autores como Roberts, Demarest y Prescott (2008), han organizado en áreas representativas fundamentales los conocimientos de la Ingeniería Eléctrica más actuales. Estas son:

1. Electromagnética y óptica: Se dedica al estudio del control de fenómenos electromagnéticos y de las ondas electromagnéticas de todas las frecuencias (especialmente ópticas).
2. Señales: Se dedica al estudio del procesamiento de señales, las cuales son generadas por dispositivos eléctricos o electrónicos y electromagnéticos. En sus inicios el procesamiento de las señales fue realizado principalmente por dispositivos analógicos y herramientas matemáticas de tiempo continuo, pero en la actualidad domina el procesamiento de señales digitales.
3. Sistemas: En esta temática están contemplados los problemas complejos que pueden ser modelados, mediante matemáticas matriciales. Esto incluye cosas como ecuaciones en el espacio de estados, convolución, transformaciones matemáticas, problemas de minimización / maximización, etc., ya sean analógicos o digitales. La teoría de sistemas lineales ha sido una piedra angular del trabajo de ingeniería eléctrica.
4. Electrónica, microelectrónica y circuitos: este campo abarca teoría de circuitos, dispositivos semiconductores, electrónica de potencia, electrónica de consumo, los sistemas electrónicos vehiculares y componentes informáticos.
5. Telecomunicaciones y radiofrecuencia: Esta área ha evolucionado desde la ingeniería de radio tradicional, e incluye en la actualidad comunicaciones inalámbricas, radar, teledetección, redes, comunicaciones por cable, teoría de la información, codificación de corrección de errores y teoría de detección y estimación.
6. Sistemas de energía eléctrica: Se dedica al estudio de la generación y transmisión de energía eléctrica, incluidas las fuentes alternativas de energía y su impacto en la sociedad y el planeta. Esta es un área siempre vigente que puede ayudar a marcar la diferencia en el mundo.
7. Instrumentación y control: Tanto los sistemas de instrumentación como los de control han estado presentes dentro de la Ingeniería Eléctrica. Parte de lo que se abarca dentro de esta área está incluida también en el tema de sistemas, pero se incluye aquí la instrumentación, es decir, los transductores que convierten señales físicas en eléctricas. Esta especialidad también incluye la robótica.

Con este amplio panorama de las áreas que se abarcan dentro de la Ingeniería Eléctrica, y la actualidad del tema de Inteligencia Artificial, los puntos de encuentro entre ambas se han multiplicado durante los últimos años. La constante especialización y generación de nuevos conocimientos son características en ambas, por lo que las posibilidades de enlazarse están en constante evolución.

Un estado del arte sobre la relación entre Inteligencia Artificial e Ingeniería Eléctrica requeriría el análisis de una cantidad enorme de referencias, como se puede constatar en buscadores académicos actuales. Es por esto que el estado actual de relación entre ambas especialidades amerita una adecuada delimitación, para analizar elementos específicos que sean de interés para cuantificar la producción académica y aprovechar las métricas particulares sobre temáticas definidas.

En cada una de las áreas de especialización de la Ingeniería Eléctrica enumeradas previamente, la Inteligencia Artificial, identificada a partir de sus algoritmos específicos, permea el quehacer actual de la investigación y el desarrollo de aplicaciones, con tareas como la identificación de señales, la optimización de recursos, los vehículos autónomos, la robótica, entre muchas otras. El presente trabajo se enfoca sobre las aplicaciones de la Ingeniería Eléctrica donde la medición continua de variables y su predicción son de particular relevancia.

Si bien la mayoría de procesos y sistemas propios de esta área del conocimiento involucran mediciones, la predicción de valores futuros destaca en sistemas relacionados con la generación y distribución de la energía, o nuevas fuentes de energía renovables. Esto se debe a que la planificación de estos sistemas es una tarea fundamental, dadas las inversiones y modificaciones significativas que requieren las fuentes de energía para proveer la demanda. Por ejemplo, si las fuentes de energía actuales no son capaces de proveer la demanda en un futuro cercano en un país o ciudad determinada, las acciones para solventar el problema requieren de acciones significativas en el presente. Es por esto que la predicción adecuada se vuelve un insumo importante.

Dada la aplicación de los avances desarrollados en la inteligencia artificial como herramientas para resolver problemas dentro de la Ingeniería Eléctrica, incluyendo la predicción de variables, en el presente trabajo se analiza la utilización de tales herramientas para este fin, lo cual conlleva una delimitación temática específica dentro de la Ingeniería Eléctrica, en lugar de aspirar a una generalidad en la relación entre ambas disciplinas.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación utiliza una metodología cuantitativa, con la finalidad de establecer el estado del arte en predicción de variables en sistemas de Ingeniería Eléctrica a partir de publicaciones académicas. Para esto se realiza una búsqueda, revisión y evaluación de la bibliografía relacionada con este tema, y de esta manera establecer su actualidad y tendencias. Se consultaron las Bases de Datos SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) y RedAlyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), EBSCO, Springer Link, IEEE Xplore y Google Académico.

Para medir la relevancia y pertinencia de los documentos se tomaron como indicadores: que los artículos presentaran las técnicas utilizadas basadas en Inteligencia Artificial, así como metodologías y estudios de casos concretos dentro de las áreas que abarca la ingeniería eléctrica.

La referencia de Kitchenham (2004), sobre la realización de una búsqueda sistemática de información fue utilizada como apoyo metodológico para la selección del material, así como en los criterios de inclusión y exclusión.

3.1 Estrategias de búsqueda

La estrategia de búsqueda definió en primer lugar las fuentes de información, las palabras clave y las frases a utilizar en la búsqueda de la información bibliográfica. Las palabras utilizadas fueron combinaciones de los conceptos: predicción de variables, predicción de variables energía, predicción de variables sistemas eléctricos y predicción de series de tiempo, combinadas con inteligencia artificial e ingeniería eléctrica, electricidad, electromagnetismo y electrónica. En la búsqueda se utilizaron los términos tanto en español como en inglés. El rango de fechas establecido en el estudio abarca los años 2010 a 2020.

3.2 Criterios de inclusión y exclusión

El criterio de inclusión tomó en cuenta en primer lugar la disponibilidad de descarga del artículo en idioma inglés, español o portugués para aplicar los criterios de investigación, relacionados con la descripción de las técnicas basadas en inteligencia artificial aplicadas, la descripción de las variables eléctricas y la aplicación concreta dentro de un sistema o área de la ingeniería eléctrica.

El criterio de exclusión fue el idioma, la ausencia de un comité editorial o la incompletitud de la información que no permitiera analizar los factores de interés. Fueron excluidas las tesis y los trabajos que no analizan un caso concreto con datos propios, sino que utilizan técnicas expositivas o de revisión de otros casos.

4. RESULTADOS

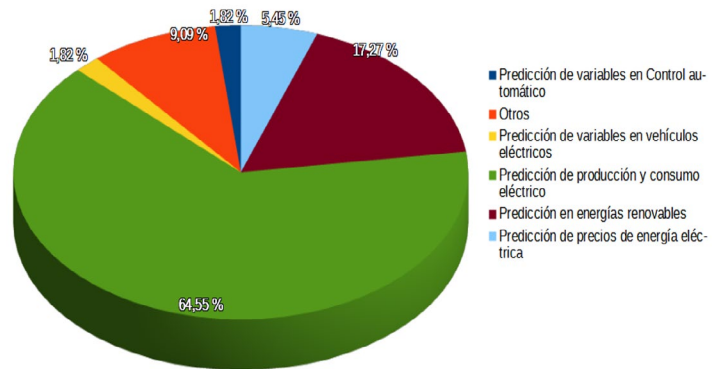
En la presente sección se sintetizan los resultados de la búsqueda y el análisis realizado sobre la totalidad de artículos obtenidos a partir de las palabras clave en las bases de datos seleccionadas. Inicialmente, se obtuvieron más de 300 artículos con la utilización de las palabras clave indicadas en la Sección 3.1, las cuales fueron analizadas con detalle de acuerdo con los criterios de inclusión y de exclusión. De este segundo análisis detallado se obtuvo un total de 113 artículos, y se extrajo la información que se sintetiza en las siguientes secciones.

4.1 Áreas de impacto

El análisis detallado de los artículos seleccionados permite establecer el área de aplicación dentro del campo de ingeniería eléctrica, cuyos resultados se muestran en la Figura 2.



FIGURA 2
ÁREAS DE IMPACTO DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA DONDE SE REALIZA LA PREDICCIÓN CON LOS SISTEMAS BASADOS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL.



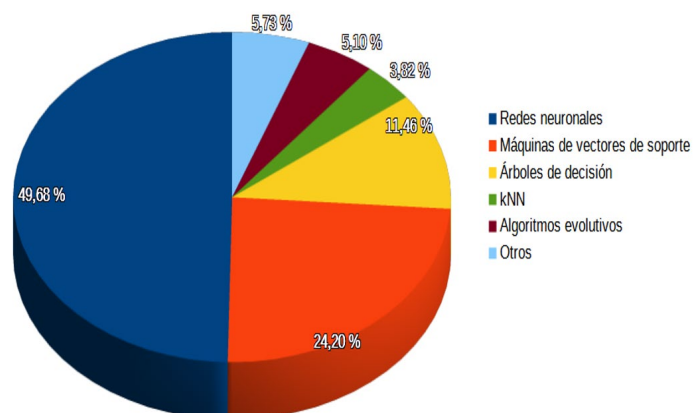
Fuente: Elaboración propia (2021)

Destacan dentro de las áreas de impacto la predicción de la producción y consumo eléctrico, lo cual se refiere a estudios realizados para establecer valores futuros del consumo eléctrico de una edificación particular, un complejo habitacional, industrial o incluso una ciudad o país completos. Como se indicó previamente, la adecuada predicción de estos datos es de gran importancia para planificar las fuentes de energía eléctrica y los costos asociados para los consumidores.

4.2 Técnicas utilizadas

La inteligencia artificial ofrece en la actualidad una diversidad de técnicas para la predicción de variables. Es la presencia de estas técnicas, en la forma de algoritmos implementados, que permiten relacionar las publicaciones con la inteligencia artificial. La diversidad de opciones de algoritmos generados se refleja en los artículos analizados, las cuales se resumen en la Figura 3.

FIGURA 3
ÁREAS DE IMPACTO DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA DONDE SE REALIZA LA PREDICCIÓN CON LOS SISTEMAS BASADOS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL



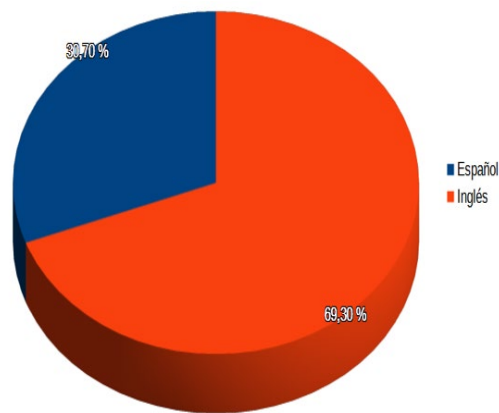
Fuente: Elaboración propia (2021)

Las redes neuronales artificiales y las máquinas de vectores de soporte son las predominantes entre todas las utilizadas. Es importante destacar que es una práctica común la utilización de más de una técnica en un estudio de predicción, para realizar comparaciones y proponer la adopción de aquella técnica que haya dado mejores resultados. En la categoría de Otros se encuentran técnicas como Gradient Boosting y Modelos de Markov.

4.3 Tendencias de la temática

Si bien es cierto que la mayor parte de las publicaciones que se realizan son en idioma inglés, se puede ver en la figura 4 que hay un porcentaje significativo de publicaciones en español sobre la predicción de variables eléctricas mediante inteligencia artificial.

FIGURA 4
ÁREAS DE IMPACTO DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA DONDE SE REALIZA LA PREDICCIÓN CON LOS SISTEMAS BASADOS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Esto muestra que existe un interés por parte de países hispanohablantes por aplicar e innovar en este tema. Lo anterior también se puede observar en la Tabla 1, la cual muestra el número de artículos publicados por país, donde China y Estados Unidos encabezan la lista, pero luego le siguen países como Colombia, España y Ecuador.

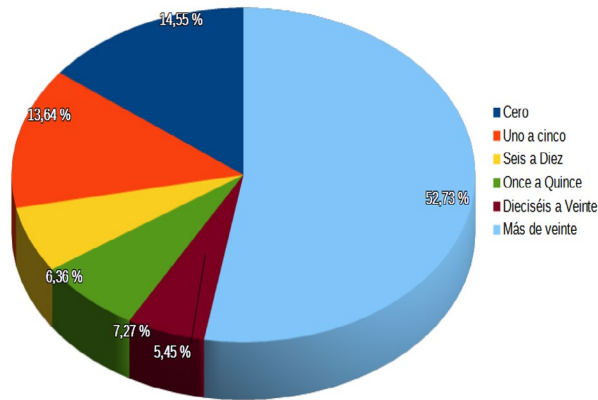
TABLA 1
PAÍSES DE PROCEDENCIA DE LAS PERSONAS AUTORES DE LAS PUBLICACIONES

NO.	PAÍS DE ORIGEN	CANTIDAD DE PUBLICACIONES
No.	País de origen	Cantidad de publicaciones
1	China	20
2	Estados Unidos	17
3	Colombia	15
4	España	11
5	Ecuador	7
6	Corea	5
7	Canadá	5
8	Turquía	3
9	Portugal	3
10	Reino Unido	3
11	México	3
12	Francia	2
13	Chile	2
14	Brasil	2
15	Austria	2
16	Otros países	24

Fuente: Elaboración propia (2021)

Esta tabla también muestra que hay un interés mundial en incorporar técnicas de inteligencia artificial en la predicción de variables de sistemas en Ingeniería Eléctrica. Además de la cantidad de trabajos, la cantidad de citas es un indicador importante de la forma en que estas publicaciones están siendo utilizadas para nuevos casos o como nuevo conocimiento. En la Figura 5 se muestra una división porcentual sobre la cantidad de veces que estos artículos son citados.

FIGURA 5
DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE CITAS POR ARTÍCULO



Fuente: Elaboración propia (2021)

El gráfico muestra que más de la mitad de los artículos contemplados en el presente estudio tienen más de veinte citas. Aunque el siguiente valor porcentual más alto es el de cero citas con un 14,55%, hay artículos que fueron citados más de trescientas veces, como se puede ver en la Tabla 2, la cual presenta los diez artículos más citados. Cabe destacar que los artículos de esta tabla están escritos en idioma inglés.

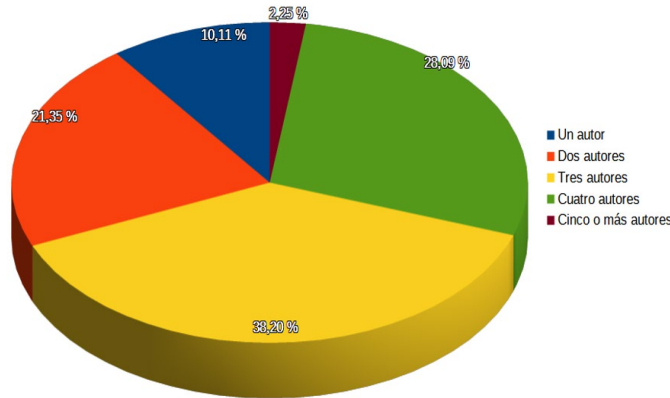


TABLA 2
LOS DIEZ ARTÍCULOS CON MÁS CITAS, SELECCIONADOS DE ACUERDO CON LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS EN EL ESTUDIO

AUTORES	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NOMBRE DE LA REVISTA/ PUBLICACIÓN	AÑO	CANTIDAD DE CITAS
Gonzalez, P. A., y Zamarreno, J. M..	Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network	<i>Energy and buildings</i>	2005	392
Jain, R. K., Smith, K. M., Culligan, P. J., y Taylor, J. E.	Forecasting energy consumption of multi-family residential buildings using support vector regression: Investigating the impact of temporal and spatial monitoring granularity on performance accuracy.	<i>Applied Energy</i>	2014	379
SSharma, N., Sharma, P., Irwin, D., y Shenoy, P	Predicting solar generation from weather forecasts using machine learning.	<i>IEEE international conference on smart grid communications</i>	2011	370
Yang, J., Rivard, H., y Zmeureanu, R.	On-line building energy prediction using adaptive artificial neural networks.	<i>Energy and buildings,</i>	2005	368
Ekici, B. B., y Aksoy, U. T.	Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks.	<i>Advances in Engineering Software.</i>	2009	358
Mocanu, E., Nguyen, P. H., Gibescu, M., y Kling, W. L.	Deep learning for estimating building energy consumption.	<i>Sustainable Energy, Grids and Networks.</i>	2016	342
Edwards, R. E., New, J., y Parker, L. E.	Predicting future hourly residential electrical consumption: A machine learning case study.	<i>Energy and Buildings.</i>	2012	275
Ahmad, M. W., Mourshed, M., y Rezgui, Y.	Trees vs Neurons: Comparison between random forest and ANN for high-resolution prediction of building energy consumption.	<i>Energy and Buildings</i>	2017	263
Tüfekci, P.	Prediction of full load electrical power output of a base load operated combined cycle power plant using machine learning methods.	<i>International Journal of Electrical Power & Energy Systems</i>	2014	241
Candanedo, L. M., Feldheim, V., y Deremaix, D.	Bélgica	<i>Energy and buildings</i>	2017	220

Por su parte, la cantidad de autores por artículo también puede dar información sobre la conformación de grupos de interés en torno al tema. La Figura 6 muestra que en los artículos publicados tienden a intervenir tres autores. Con un 2,25%, las investigaciones en esta área no suelen incluir a más de 5 autores.

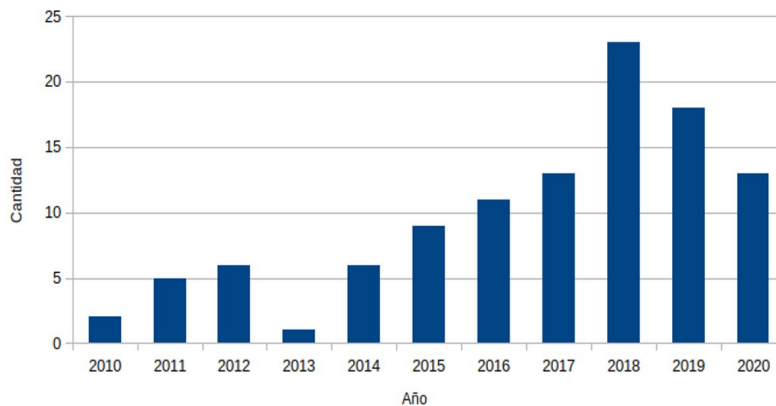
FIGURA 6
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA CANTIDAD DE AUTORES POR ARTÍCULO



Fuente: Elaboración propia (2021)

La inteligencia artificial, en su relación con el tema de predicción de variables en aplicaciones de Ingeniería Eléctrica se ha convertido con el tiempo en una herramienta de gran importancia. Esto se evidencia en la Figura 7, donde se puede observar cómo la cantidad de artículos publicados por año en el tema ha aumentado considerablemente en épocas más recientes. Los artículos considerados en esta gráfica son los que han cumplido los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la metodología del presente trabajo.

FIGURA 7
CANTIDAD DE ARTÍCULOS PUBLICADOS POR AÑO, SELECCIONADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia (2021)



La información anterior muestra el creciente interés por la adopción de inteligencia artificial para determinar valores futuros de variables eléctricas, un área donde otras técnicas matemáticas se habían utilizado de forma predominante en años previos. La tendencia creciente en la aplicación de estas nuevas técnicas y algoritmos es un reflejo del impacto que tiene la inteligencia artificial en otros campos de la Ingeniería Eléctrica y para otro tipo de problemas. Esto se puede tomar como un indicativo de la relevancia que se debe dar al tema en contextos formativos de nuevos ingenieros e ingenieras. En países que no han tenido experiencias en el tema, la literatura existente constituye un conjunto suficiente de referencias para aprovechar las ventajas que las técnicas de inteligencia artificial están mostrando en este contexto, por lo que pueden seguirse a manera de lineamientos para resolver problemas específicos de estos lugares.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó una revisión de lo publicado sobre predicción de variables en sistemas de Ingeniería Eléctrica usando algoritmos de inteligencia artificial en EBSCO, SciELO, RedAlyc, Springer Link, IEEE Xplorer, y Google Académico. Los resultados obtenidos no pretenden evidenciar la relación completa entre la Inteligencia Artificial y la Ingeniería Eléctrica, la cual abarca muchos otros tipos de problemas y de aplicaciones ajenas a la predicción de valores futuros de variables. La delimitación realizada en predicción de valores futuros acerca a las publicaciones a las áreas de Ingeniería Eléctrica, donde predecir con éxito estos valores resulta vital, como en sistemas de energía y energías limpias.

Los resultados muestran una tendencia creciente en el interés de aprovechar las posibilidades de la inteligencia artificial a la tarea de predicción de variables, y confirman la mayor representatividad de los casos en la predicción de producción y consumo energético, y en variables relacionadas con energías renovables, tales como las condiciones del viento y de energía solar. La predominancia del idioma de las publicaciones es el inglés, y en países como China, Estados Unidos y Colombia es donde se ha dado la mayor cantidad de estudios.

Los artículos más citados en la temática tratan sobre predicción de consumo eléctrico en edificaciones particulares, y de predicción de energía solar. Las predicciones son de utilidad para labores de planificación, estimación de costos y previsión de escenarios de inversión y aprovechamiento de recursos.

El análisis realizado en el estado del arte deja patente la actualidad y necesidad del tema de inteligencia artificial para la ingeniería eléctrica, especialmente el conocimiento de las técnicas más utilizadas para los sistemas de predicción determinadas en el presente estudio, como lo son las redes neuronales artificiales, las máquinas de vectores de soporte y los árboles de decisión. Por otra parte, el creciente interés que muestran las referencias puede interpretarse como un área de oportunidad para aprovechar las ventajas de los estudios de predicción de variables con los nuevos métodos de inteligencia artificial en lugares donde aún no se han implementado.

6. REFERENCIAS

- Arrestegui, L. B. (2012). Fundamentos históricos y filosóficos de la inteligencia artificial. UCV-HACER. *Revista de Investigación y Cultura*, 1(1), 87-92. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=521752338014>
- Barney, H. B. (agosto, 2019). What is electrical engineering? *IEEE Potentials*, 38(5), 52-52. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8821595>
- Brockwell, P. J. y Davis, R. A. (2002). *Introduction to time series and forecasting*. Suiza: Springer International Publishing.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews*. Recuperado de http://www.elizabete.com.br/rs/Tutorial_IHC_2012_files/Conceitos_RevisaoSistematica_kitchenham_2004.pdf
- García, A. (2012). *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*. Madrid, España: RC Libros.
- Hitam, N. A., y Ismail, A. R. (2018). Comparative performance of machine learning algorithms for cryptocurrency forecasting. *Ind. J. Electr. Eng. Comput. Sci*, 11(3), 1121-1128.
- Jesiek, B. K., y Jamieson, L. H. (2017). The expansive (dis) integration of electrical engineering education. *IEEE Access*, 5, 4561-4573.
- Maiti, M., Vyklyuk, Y., y Vuković, D. (2020). Cryptocurrencies chaotic comovement forecasting with neural networks. *Internet Technology Letters*, 3(3), e157.
- Roberts, J., Demarest, K., y Prescott, G. (2008). What is electrical engineering today and what is it likely to become? 2008 38th Annual *Frontiers in Education Conference*. Nueva York, Estados Unidos. DOI: [10.1109/FIE.2008.4720588](https://doi.org/10.1109/FIE.2008.4720588)
- Russell, S., y Norvig, P. (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. New Jersey, Estados Unidos: Pearson.
- Serna, A., Acevedo, E., y Serna, E. (2017). Principios de la inteligencia artificial en las ciencias computacionales. En E. Serna (Ed.), *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (pp.161-172). Medellín, Colombia: Editorial IAI
- Sharma, V., Cali, U., Hagenmeyer, V., Mikut, R., y Ordiano, J. N. G. (Junio, 2018). Numerical Weather Prediction Data Free Solar Power Forecasting with Neural Networks. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Future Energy Systems* (pp. 604-609). El Karlsruhe, Alemania. doi: [10.1145/3208903.3210279](https://doi.org/10.1145/3208903.3210279)
- Ushakov, V. Y. (2018). *Electrical Power Engineering: Current State, Problems and Perspectives*. Suiza: Springer.
- Vegega, C., Pytel, P. y Pollo, M. F. (2017). Método basado en el emparillado para evaluar los datos aplicables para entrenar algoritmos de aprendizaje automático. En E. Serna (Ed.), *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (pp. 106-137). Medellín, Colombia: Editorial IAI





2011-2013

Creación de e-Ciencias de la Información como una nueva alternativa, que responde a un contexto marcado por una mayor apertura, flexibilidad y rigurosidad en la publicación científica.



2014-2016

Ingresa a bases de datos de prestigio y calidad como Scielo, DOAJ, Redalyc y otros. Amplía sus horizontes usando como gestor editorial el software OJS y publica en PDF, HTML y EPUB.



HOY

Se encuentra en el cuartil A del UCRIIndex y en el Catálogo Latindex con una calificación perfecta, e ingresa al Emerging Source Citation Index de Thomson Reuters.

Revista e-Ciencias de la Información

¿Dónde se encuentra indexada e-Ciencias de la Información?



Para más información ingrese a nuestra [lista completa de indexadores](#)

¿Desea publicar su trabajo?
Ingrese [aquí](#)

O escribanos a la siguiente dirección
revista.ebci@ucr.ac.cr