

INTELIGENCIA ARTIFICIAL, TÉCNICAS DE SIMULACIÓN, Y SU FUTURO EN LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

*Artificial intelligence, simulation techniques,
and its future in industrial engineering*

EPISTEMUS
ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Eleazar Jiménez Serrano ¹

Recibido: 15/02/2021

Aceptado: 10/06/2021

Publicado: 22/06/2021

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v14i29.129>

Autor de Correspondencia:
Eleazar Jiménez Serrano
Correo: eleazar.jimenez@unison.mx

Resumen

La fabricación de inteligencia artificial (en inglés AI) incluye entre varias cosas la creación de conjuntos de datos y el uso de métodos probabilísticos, estadísticos, y de análisis numérico para el aprendizaje automático (machine learning). Técnicas de simulación computarizada se utilizan a veces como una plataforma en el aprendizaje de la AI, implementan dichos datos como entradas, calculan el mejor ajuste mediante el método adoptado, y arrojan como salida un modelo predictivo de comportamiento. De entre las técnicas actuales, en este manuscrito se describen las redes de Petri como una técnica de simulación, el análisis de componentes principales (en inglés PCA) útil en el método de aprendizaje automático, y la aplicación de la simulación en el futuro de la ingeniería industrial.

Palabras clave: inteligencia artificial (AI), redes de Petri, análisis de componentes principales (PCA), aprendizaje automático (machine learning).

Abstract

The fabrication of artificial intelligence (AI) includes among several things the creation of data sets and the use of probabilistic, statistical, and numerical analysis methods for machine learning. Computer simulation techniques are sometimes used as an AI learning platform, implement these data sets as inputs, calculate the best fit using the adopted method, and output a predictive behavior model. Among the newest techniques, this manuscript describes Petri nets as a simulation technique, the analysis of principal component (PCA) as a useful method in machine learning, and the application of simulation in the future of industrial engineering.

Keywords: artificial intelligence (AI), Petri nets, Principal component analysis (PCA), machine learning.

¹ Doctor en Ciencias en Ingeniería de la Computación y Comunicación, Universidad de Sonora, Unidad regional central. División de ingeniería. Correo: eleazar.jimenez@unison.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2594-6914>

INTRODUCCIÓN

El uso de la inteligencia artificial (AI) para predecir comportamientos ya no es un área nueva, actualmente se observa en diferentes campos. Por ejemplo, la empresa AMAZON utiliza AI en su Bot conversacional (chatbot) de nombre Lex [1]. La compañía IBM-Tokio ofrece la implementación de AI como servicio a clientes interesados en añadir valor agregado a sus operaciones y productos [2]. Y también, la empresa japonesa Nidec ha experimentado con AI para predecir el tiempo de arranque y paro automático de sus motores eléctricos para bombas solares de irrigación de campos en India [3].

Una implementación muy común de AI es la del uso de una red neuronal para el aprendizaje automático (sea supervisado o no) en el área de reconocimiento y clasificación de imágenes [4] utilizando una función de pérdida por minimizar.

Así como las redes neuronales, hay otros métodos útiles que apoyan en el objetivo de la predicción mediante AI, tal como los árboles de decisión, las redes bayesianas, las redes de Petri, entre otros. Los métodos utilizan a su vez funciones muy variadas, como la función sigmoide matricial, la función de transición de estados, el análisis de componentes principales (en inglés PCA), metaheurística, etcétera.

A preferencia del autor en base a su experiencia práctica, en este manuscrito se describen las redes de Petri

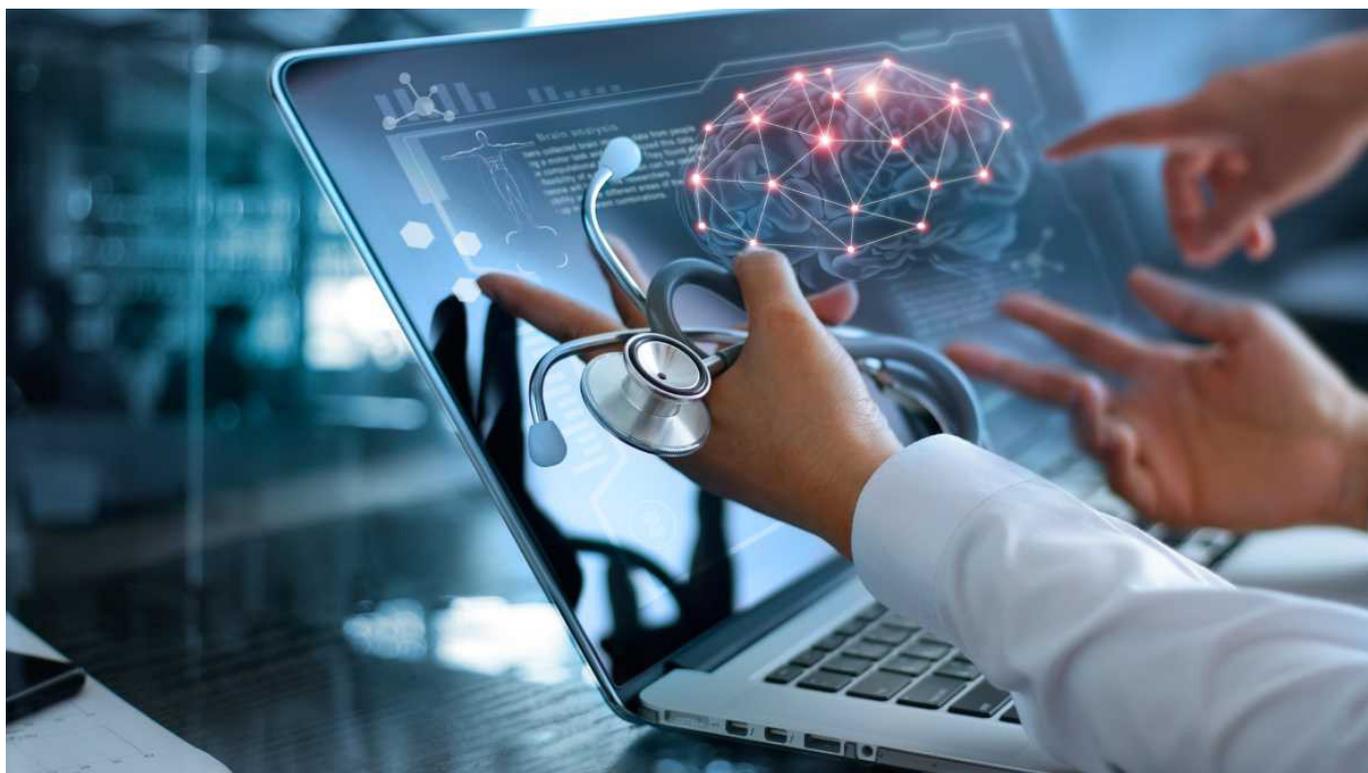
como la plataforma de simulación de sistemas, y el método PCA en términos del análisis geodésico probabilístico (AGP) en un ejemplo de simulación del posicionamiento geodésico mediante datos GPS.

Al final de este manuscrito, dado que en el futuro, la AI abarcará otros campos al incluir métodos de análisis nuevos, aquí se describen algunos de estos en el campo de la ingeniería industrial.

Técnicas de Simulación y la Inteligencia Artificial

Muchas, por no decir que todas las técnicas de simulación, son en cierta manera una plataforma para la investigación y desarrollo de AI. Las técnicas de simulación tienen como objetivo el predecir un resultado, sus orígenes se observan implementando simulación mediante métodos probabilísticos, estadísticos, y de análisis numérico. Se extendieron al dominio de los números enteros y reales para abarcar sistemas reales. Actualmente los métodos son más variados, incluso incluyen animación y realidad virtual. Y los nuevos métodos que incorporan aspectos heurísticos proporcionan lo necesario para transformar una plataforma de simulación en una solución de AI.

La compañía de software Oracle ha incluido una función de simulación desde que lanzó la primer versión comercial del paquete de ERP (Enterprise Resource Planning) para empresas con operaciones globales, la cual permite a los planeadores de materiales y producción estimar fechas





de llegada y entregas, y prevenir paros de línea [10]. Actualmente está experimentando con aplicaciones de AI en sus módulos de contabilidad y finanzas en lo que llama "Adaptive Intelligence."

Empresas automotrices como Toyota Motors Corp. utilizan "Hardware-In-The-Loop," o por sus iniciales en inglés HIL. Es una técnica usada para la investigación y desarrollo de sistemas complejos con software integrado en tiempo real [9]. La configuración más popular en empresas japonesas incluía el uso de Simulink® como el ambiente de trabajo y dSpace® como el configurador de equipos. Actualmente hace investigación con el "Sistema Avanzado de Asistencia al Conductor" (en inglés Advanced Driver Assistance System, o ADAS), incluyendo AI en sus funciones.

La compañía IBM-Tokio en colaboración con la empresa Nidec Corp. desarrollaron con ayuda del sistema Watson® una aplicación de AI para vender como modulo adicional en las máquinas de prensado de menos de diez toneladas, y consistía en reconocer mediante un sensor de ultrasonido y otros sensores IoT el patrón de desgaste en los moldes, predecir cuando el producto que saliera de la máquina estuviera fuera de especificación de calidad, e indicar el momento de mantenimiento.

La misma empresa Nidec Corp. ha realizado investigación y desarrollo de sistemas menos complejos que incluyen la simulación utilizando ambientes de trabajo más sencillos. Por ejemplo, realizó simulaciones para determinar el consumo de energía solar de sus motores eléctricos utilizando únicamente un osciloscopio y un modelo en Simulink® [3]. Dentro de los planes para incluir AI en sus productos incluía el control remoto y no supervisado para el arranque y paro, asistido por una red de sensores IoT de lluvia y humedad.

Como último ejemplo, actualmente el estándar de calidad ISO-26262 para la seguridad funcional de automóviles recomienda la verificación de sistemas mediante el uso de simulación, incluyendo HIL [13]. Futuras versiones del estándar quizás apuntarán a la introducción de AI en sus recomendaciones [5].

Redes de Petri

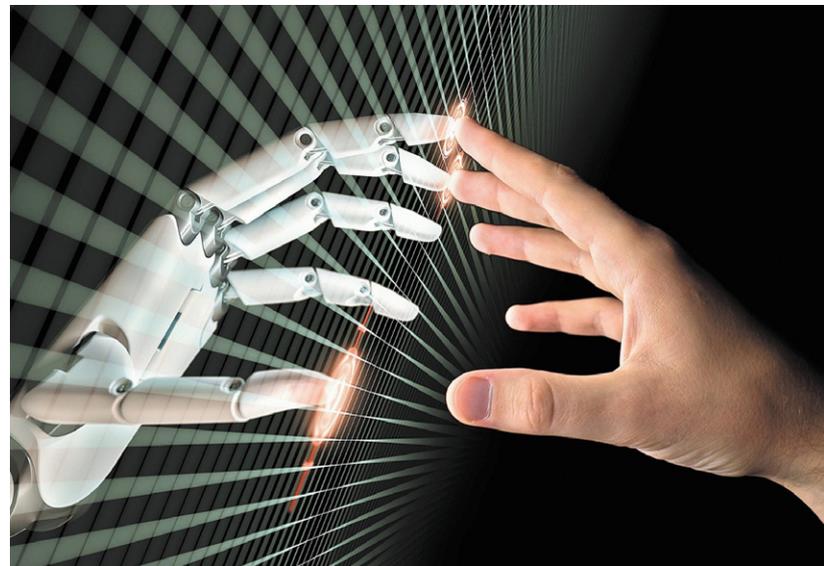
Un ejemplo muy útil de una técnica de simulación que recientemente está ganando popularidad son las redes de Petri, creadas por el doctor alemán Carl Adam Petri en los años 1960s. Las redes de Petri se utilizan en el modelado, análisis, simulación, verificación, control y diseño de sistemas dinámicos, como componentes automotrices [5] entre muchos otros. Son una representación matemática y gráfica de un sistema a eventos ocurriendo a intervalos discretos en el cual se pueden representar las diferentes topologías del sistema, sea este distribuido, paralelo y/o concurrente.

En su representación gráfica, solamente utiliza 4 elementos llamados: estados (descritos con círculos), transiciones (con rectángulos), arcos y tokens (con puntos negros). La distribución de tokens indica los estados activos del sistema, llamados marcas y definidos con la letra m . Existen reglas explícitas para conectar estados y transiciones mediante arcos, y fórmulas matemáticas para calcular el flujo de los tokens en la red, y que permiten la simulación gráfica de la progresión de las marcas. La representación matricial de cómo estados y transiciones se conectan permiten calcular la progresión matemática usando la ecuación de transición de estados mostrada a continuación:

$$m_{\text{siguiente}} = m_{\text{actual}} + (\text{matriz}_{\text{salida}} - \text{matriz}_{\text{entrada}}) \times \text{vector}_{\text{transiciones_activas}}$$

Existen varios paquetes computacionales que permiten modelar y simular redes de Petri de tamaño pequeño y mediano. Algunos contienen extensiones prácticas y útiles para los analistas, tales como el poder modelar usando arcos para evaluar cero tokens, agregar un comportamiento probabilístico en tiempo discreto y/o real respecto a la ocurrencia de eventos, incluir disciplinas prioritarias para los eventos, entre muchas otras.

En el campo de la ingeniería industrial, las redes de



Petri también han ocupado un lugar importante al permitir modelar sistemas de manufactura.

Ejemplo

El siguiente ejemplo proviene de un modelo de línea de producción presentado en [6]. En general, los arcos describen la ruta de procesos, los estados representan inventarios y recursos, y las transiciones a los procesos de producción.

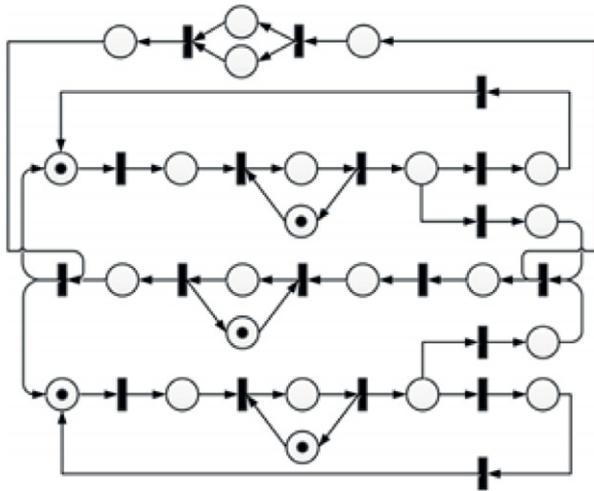


Figura 1. Modelo de red de Petri de un sistema de manufactura flexible de cuatro líneas interconectadas.

El anterior modelo se utilizó para simular diferentes escenarios de velocidad de línea, identificar cuellos de botella y estaciones de trabajo con tiempo muerto, y estimar el volumen de producción. Una aplicación para simular AI podría ser la identificación de patrones de trabajo (medido en productividad) a través de los cambios de turno de empleados cuando el tiempo muerto aumenta, y la predicción de la mejor política de rotación (medida en días de asistencia) entre los empleados y las estaciones comunes de trabajo que lo minimiza.

Redes de Petri y la Inteligencia Artificial

Por la similitud gráfica y matemática con las redes neuronales, las redes de Petri están siendo extendidas a niveles funcionales superiores para poder representar redes neuronales. Una de esas tantas extensiones son las Higher-Order Petri Nets [14]. Y de otras varias formas, las redes de Petri están siendo estudiadas como plataforma para simular redes neuronales [11], y viceversa [12].

El siguiente ejemplo es una sencilla manera de explicar teóricamente la técnica de simulación mediante ambas redes. Recibe como entrada la activación de uno o más nodos en la capa 1 de la red neuronal, o su equivalente en los nodos alineados a la izquierda en la red de Petri. La salida es la predicción de la palabra "sí" o "no" en el caso de la red neuronal. En el caso de la red de Petri la salida es la misma, aunque más en un proceso de simulación.

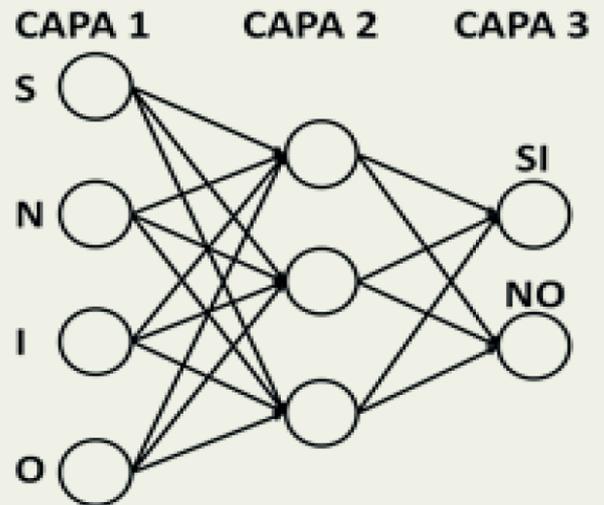


Figura 2. Ejemplo sencillo de red neuronal de tres capas para identificación lingüística de las palabras Si y No.

La capa 2 de la red neuronal contiene el mecanismo donde la información de las letras desciende y una función de activación predice la palabra existente.

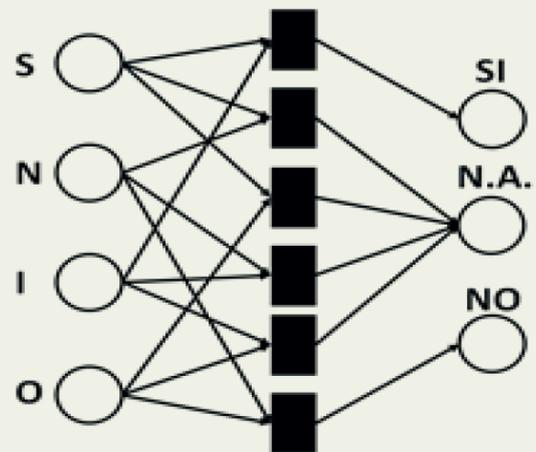


Figura 3. Ejemplo de red de Petri simulando la misma salida que la red neuronal de la figura anterior.





Es posible realizar una red de Petri más compacta utilizando alguna de las otras extensiones existente, como arcos para evaluar cero tokens por ejemplo, pero esa demostración se encuentra fuera del alcance de este manuscrito.

Así como hay cada año nuevas extensiones de las redes de Petri, también hay nuevas configuraciones que permiten simulaciones más complejas. Por ejemplo, con la llegada de tableros de prueba y servidores de nube, actualmente el uso de las redes de Petri se observa como una solución económica para la simulación de modelos más grandes, algo que había sido una limitante práctica hasta hace poco.

Diferentes métodos para la Inteligencia Artificial

Existen varios métodos que se han utilizados en plataformas para desarrollar aplicaciones de AI. La selección de uno depende enormemente de la naturaleza del problema y el tipo de solución deseado. Por ejemplo, métodos de metaheurística buscan una solución satisfactoria para problemas de optimización combinatoria usando de forma iterativa alguna función, como la distancia Hamming. Métodos estocásticos, dentro de la teoría de probabilidad, utilizan variables aleatorias, funciones de probabilidad y sus correlaciones.

Un método muy importante de mencionar es el PCA, útil en el aprendizaje automático al momento de la creación de conjuntos de datos, y que facilita algunas veces la creación más rápida de una aplicación de AI. Este usa transformación lineal en términos de mínimos cuadrados que reduce la dimensionalidad de los datos.

Método AGP

El método de análisis geodésico probabilístico (AGP) es una especialización de aprendizaje automático mediante PCA usada en el cálculo de posicionamiento frente a fuentes redundantes de posicionamiento satelital de GPS [7-8]. Fue desarrollado por el Dr. P.J.G. Teunissen para la estimación por mínimos cuadrados de las ambigüedades

enteras de las observaciones de GPS. Es conocido por dar a un modelo lineal de observaciones de la forma $y = Ax + \text{error}$, el mejor estimador lineal sin sesgo utilizando la siguiente ecuación:

$$\hat{x} = (A^T Q y^{-1} A)^{-1} A^T Q y^{-1} y$$

donde y tiene distribución normal con parámetros $y \sim N(Ax, Qy)$.

Los métodos desarrollados por el profesor Teunissen no solamente han probado ser útiles en el mundo académico, también han demostrado su aplicación práctica al ser implementados en empresas e industrias, tal como el caso de fabricante Toyota Motors Corp. de Japón [9].

Ejemplo

Este ejemplo muestra el poder de AGP al obtener la posición de un receptor utilizando datos de los satélites GPS. Un programa en Python® se usa para simular el desplazamiento del receptor, usa las efemérides de los satélites y las señales como entradas, aplica las matemáticas referentes a AGP, calcula la posición del receptor, y grafica su posición. Las figuras 4 y 5 muestran con puntos a colores la posición de los satélites a la vista, donde la vista comienza en la coordenada (0,0) en el centro del plano U/V



y abarca hasta un punto (0,1) que es la conversión de 90 grados de azimut y 0 grados de elevación.

El programa era parte de un modelo mayor que estaba en lenguaje Matlab®, trabaja en una plataforma HIL en conjunto con un modelo completo del vehículo automotor construido en Simulink® y conectado a un simulador dSpace® reproduciendo las señales del vehículo recolectadas por anticipado, así como un archivo de datos de las señales de los satélites GPS [9]. Las salidas de la simulación eran las coordenadas en latitud, longitud y altura del receptor, así como otras señales del motor. Dichas coordenadas se transmitían al sistema de navegación del vehículo habilitado con internet, y se mostraban en una pantalla integrada al tablero de control en un mapa digital, similar a la aplicación móvil de Google® Maps.

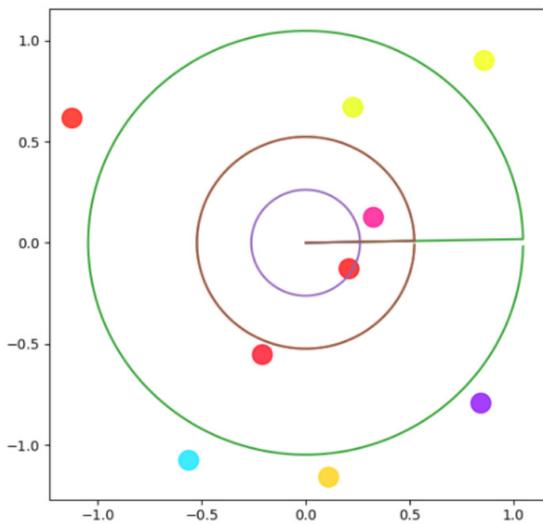


Figura 4. Diagrama de coordenadas U/V de los satélites GPS basada en un umbral mínimo en tres dimensiones y sin usar AGP.

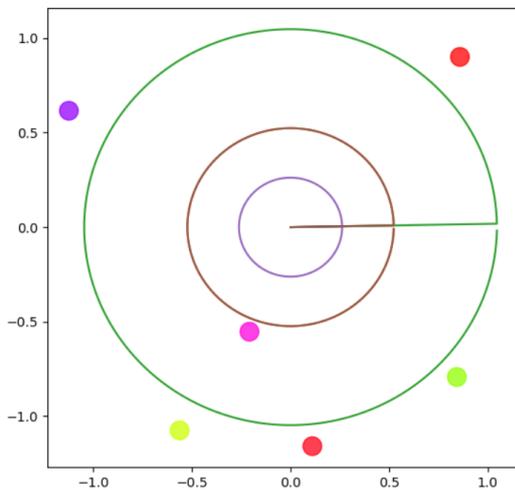


Figura 5. Diagrama de coordenadas U/V de la selección de satélites GPS usando AGP.

Los resultados relacionados con utilizar AGP o no son evidente en las siguientes figuras mostrando la posición (en latitud y longitud) y desplazamiento del receptor con la línea azul.

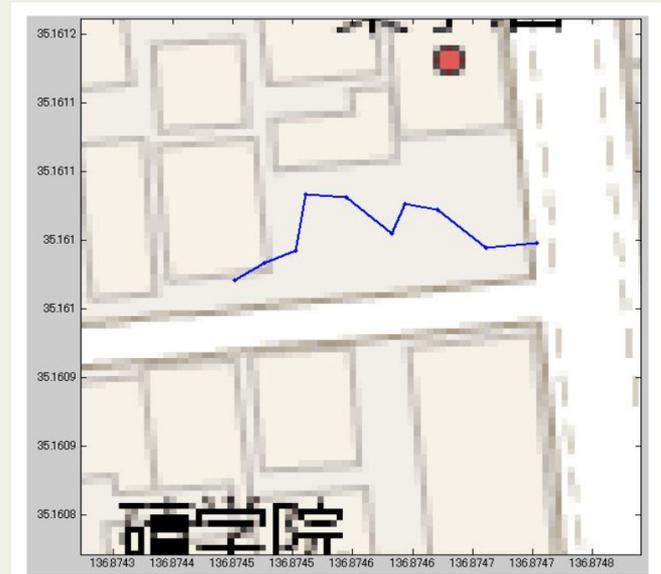
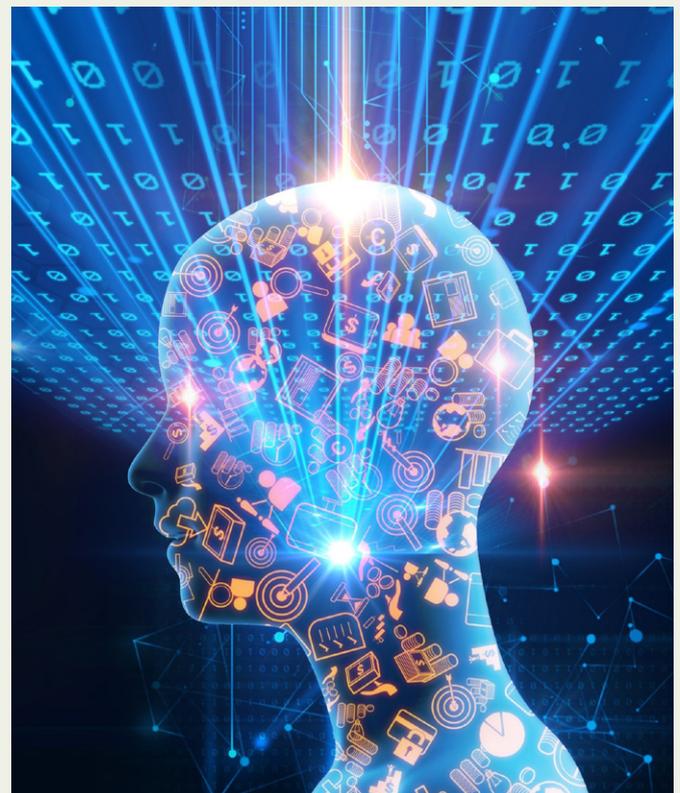


Figura 6. Resultados de posicionamiento sin usar AGP.

El resultado de posicionamiento sin usar AGP se observa más errático. Esto se debe a que utiliza la información de 9 satélites GPS, donde 3 de ellos presentan una posición que solamente incrementan el error en el cálculo.



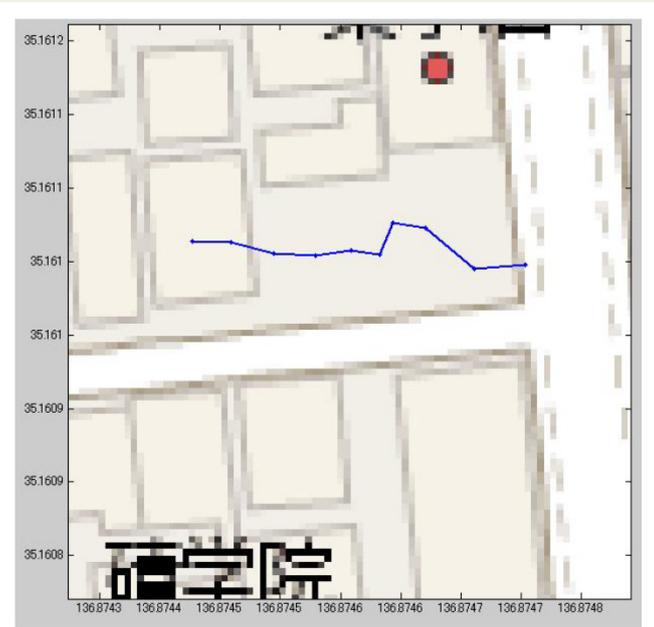


Figura 7. Resultados de posicionamiento usando AGP.

Futuro

La AI se aproxima a su incorporación en nuestras actividades diarias y rutinarias en un futuro no lejano. Sin embargo, existe un gran abismo en términos de un modelo de negocio al tratar de reconciliar el costo de la complejidad tecnológica con el beneficio práctico y financiero. Actualmente compañías como IBM luchan para convencer a los clientes de los beneficios de la IA [2], no exclusivamente para reducir costos, tampoco para agregar

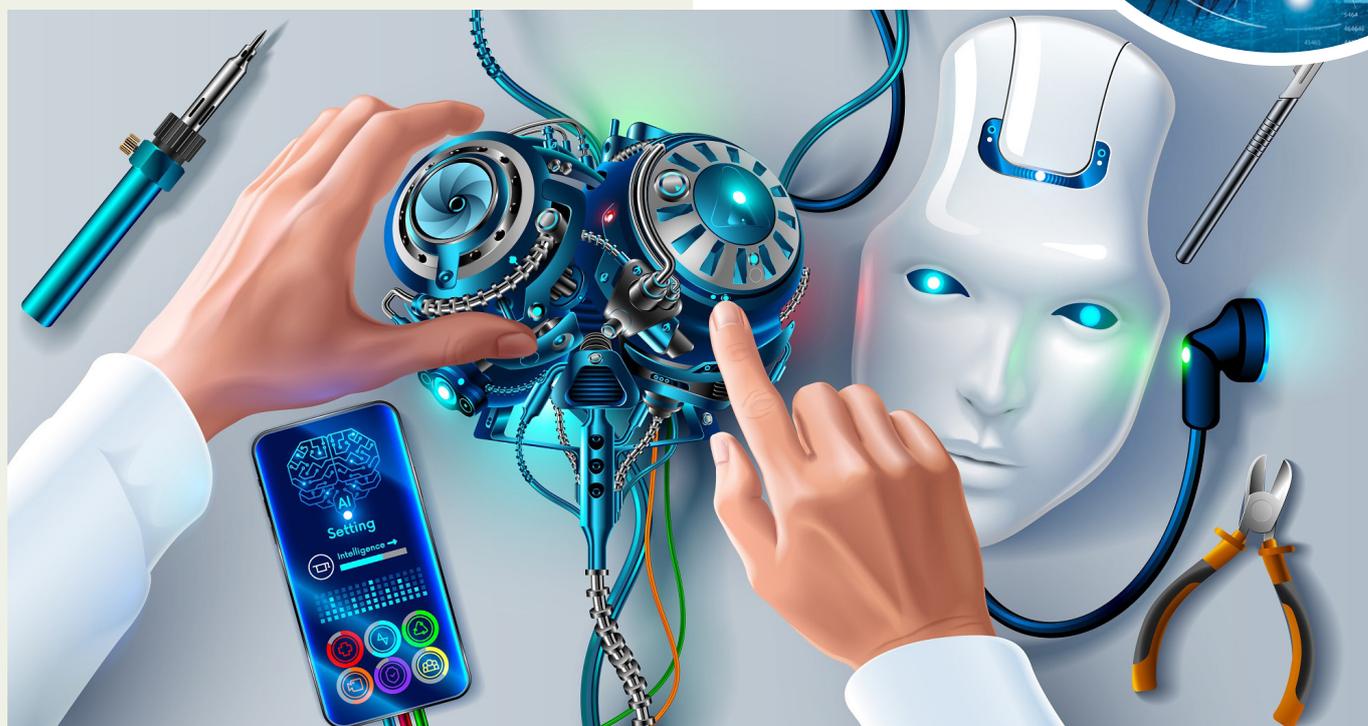
un valor al producto o servicio, sino para generar ingresos. A continuación, se describen tres aplicaciones donde la AI tiene futuro.

En el campo de la verificación de sistemas y software automatizada usando por ejemplo redes de Petri, la incorporación de AI en el algoritmo de exploración del espacio de estados se estima puede ocupar menos tiempo de verificación que el actualmente utilizado.

Otro campo es el de la robotización de operaciones de producción y manufactura, donde una fuente grande de aleatoriedad en los procesos proviene de los insumos de entrada en la línea que se salen de los márgenes de calidad debido a una ineficiente administración. Incorporando AI es posible predecir y detener insumos en mal estado con anticipación.

La técnica de simulación computarizada, usada como plataforma en el aprendizaje de la AI, también tiene futuro en la prueba de las funciones de AI. Empresas tales como la estadounidense AnyLogic Company ofrece el servicio de entrenamiento y prueba de AI usando su plataforma de simulación AnyLogic© [16].

Finalmente, en el campo de diseño de motores híbridos de vehículos, como los fabricados por la empresa Toyota Motor Corp., la AI se puede usar durante la simulación de la operación del motor



para monitorear los parámetros y que estime el punto de máxima eficiencia térmica, la menor emisión de gases tóxicos, el torque eléctrico para la mayor aceleración, y el menor consumo de gasolina, todo simultáneamente para los distintos modos de operación. Un ejemplo se muestra en la figura siguiente [15]. Es un gráfico de búsqueda de puntos de torque y la velocidad del motor que optimiza el consumo específico de combustible en freno (BSFC) para una determinada solicitud de potencia del motor. El módulo de control del motor (ECM) ordena el torque óptimo al motor y la velocidad óptima.

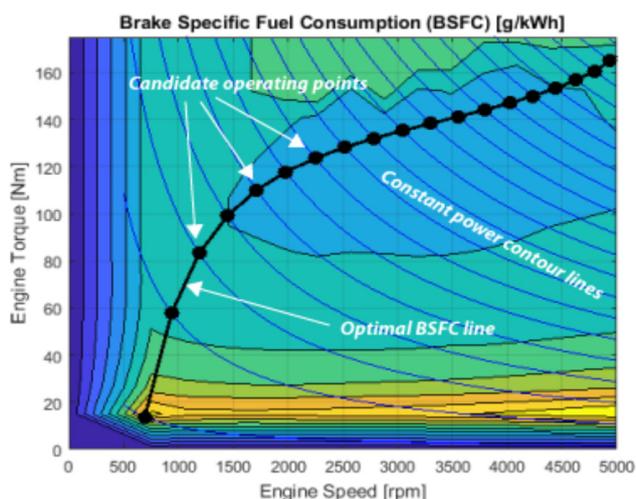


Figura 8. Gráfico de búsqueda optimiza el consumo específico de combustible.

CONCLUSIONES

El dominio de los fundamentos de las técnicas de simulación y los métodos en AI en el futuro de la ingeniería industrial es muy importante porque la industria de la transformación y servicios se verá dominada ampliamente por la adopción de robots operando bajo módulos y subsistemas con AI. El conocimiento de un vocabulario común con otros profesionistas será mandatorio para trabajar, pero el dominio de su implementación será la diferencia entre tener un trabajo como ingeniero o no.

De la misma manera que la selección adecuada de una técnica de simulación y un método de aprendizaje automático determina la confiabilidad del modelo de predicción, el dominio de su correcta implementación determinará la continuación de la AI en nuestro mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eleazar Jiménez Serrano. Reporte de trabajo a Welocalize Inc. para la creación de conjuntos de articulaciones en español para el chatbot Lex de Amazon. Yokohama, Japón. Abril 2020, sin publicar.
- [2] Eleazar Jiménez Serrano. Reporte de trabajo a Nidec Corp. de colaboración con IBM Tokyo para desarrollar un motor eléctrico inteligente. Kawasaki, Japón. Junio 2015, sin publicar.
- [3] Eleazar Jiménez Serrano. Estudio público de factibilidad de Nidec Corp. para el gobierno de Japón, Ministro de economía,

- comercio e industria (METI). Kioto, Japón. Septiembre 2018.
- [4] Frank Y. Shih. "Image Processing and Pattern Recognition: Fundamentals and Techniques." Ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [5] Eleazar Jiménez Serrano. "System and software verification using Petri nets. For functional safety of ISO-26262 requirements." Ed. New York, NY, USA: Amazon press., 2020.
- [6] Eleazar Jiménez Serrano. "Estimation of the size of state space of Petri nets to determine the size of hash tables," 12th WSEAS Int. Conf. on Applications of Computer Engineering, 2013, pp. 55-60.
- [7] P.J.G. Teunissen. "Testing theory. An introduction." 2nd edition. Delft University of Technology. Ed. Delft, The Netherlands: VSSD, 2006.
- [8] P.J.G. Teunissen. "Adjustment theory. An introduction." 1st edition. Delft University of Technology. Ed. Delft, The Netherlands: VSSD, 2006.
- [9] Eleazar Jiménez Serrano. Reporte de trabajo a Toyota Motor Corp. para la creación del programa en MATLAB para el posicionamiento usando GPS. Toyota, Japón. Abril 2009, sin publicar.
- [10] Eleazar Jiménez Serrano. Notas del curso de MRP/ERP usando Oracle ofrecido en SONY Corp. Mexicali, México, 1997, sin publicar.
- [11] Nayden Valkov Nenkov, Elitsa Zdravkova Spasova. "Implementation of a neural network using simulator and Petri nets," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 7, no. 1, 2016, pp. 412-417.
- [12] Edouard Leclercq, Souleiman Ould el Medhi, Dimitri Lefebvre. "Petri nets design based on neural networks," European symposium on artificial neural networks, 23-25 de abril 2008, Bruges, Bélgica, pp. 259-534.
- [13] International Standard Organization. Estándar de calidad ISO-26262 para la seguridad funcional en los automóviles. Segunda versión, 2018.
- [14] Tommy W.S. Chow, Jin-Yan Li. "Higher-order Petri net models based on artificial neural networks," Artificial Intelligence no. 92, 1997, pp. 289-300.
- [15] The Mathwork, Inc., "Explore the hybrid electric vehicle P2 reference application," documento disponible en línea en www.mathworks.com
- [16] AnyLogic company. Página de internet de la empresa disponible en www.anylogic.com

Cómo citar este artículo:

Jiménez Serrano, E. (2021). Inteligencia artificial, técnicas de simulación, y su futuro en la ingeniería industrial. EPISTEMUS, 14(29). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v14i29.129>

