

Aplicaciones de Inteligencia Artificial en el sector energético

Pablo H. Ibargüengoytia

El Dr. Pablo Ibargüengoytia es ingeniero en electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana. Maestro en Ciencias con especialidad en sistemas digitales por la Universidad de Minnesota, E.U.A. Doctorado en Ciencias de la Computación por la Universidad de Salford, Gran Bretaña, con especialidad en Inteligencia Artificial. Ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en 1983, ahora Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. Se jubiló del instituto en agosto de 2019 y desde entonces fundó la compañía de base tecnológica *Naatik A.I. Solutions* para el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial en las empresas e industrias del país. Es miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

¿Qué es la inteligencia?

La Inteligencia Artificial (IA) está permeando en casi todos los aspectos de las actividades humanas. Podemos encontrar ejemplos en nuestros teléfonos celulares, que tienen varias aplicaciones de IA como Siri o el asistente de Google. La primera pregunta que surge en este artículo es: ¿qué es la inteligencia artificial? Pero antes debemos remitirnos al concepto de: ¿qué es la inteligencia? Si preguntamos en una reunión de 100 participantes su definición de inteligencia, recibiríamos seguramente 100 diferentes ideas como: la habilidad para jugar y ganar en el ajedrez, resolver problemas, tomar buenas decisiones y reconocer patrones entre otras. Todas ellas refieren una parte de la habilidad del ser humano para comprender y actuar en la realidad. La característica de *artificial* complica más las cosas. Se pueden encontrar tantas definiciones de IA como enfoques de los diferentes autores de IA [1]. Una definición básica y sencilla es: la automatización de habilidades humanas. Programas de computadora que imiten esas capacidades humanas para realizar acciones racionales.

Enumerar las habilidades humanas que se intentan automatizar es equivalente a clasificar las áreas de la IA:

- **Visión:** lograr que las computadoras puedan ver y reconocer patrones o movimientos de personas o cosas.
- Manejo de **lenguaje natural**, que permite a las computadoras oír, leer, hablar y escribir en diferentes idiomas. Búsquedas de información es la aplicación más usada últimamente.
- **Representar conocimiento** en algún lenguaje computacional que permita analizar una realidad y sacar conclusiones y proponer mejores acciones.
- **Manejar incertidumbre**, identificando las explicaciones más esperadas pero considerando las posibles excepciones a un problema.
- **Tomar decisiones**, cuando existen varias acciones posibles ante condiciones

diferentes se puede calcular la ganancia de cada posible decisión, en términos de costos, tiempo o distancias, por ejemplo. Así se garantiza tomar la mejor.

- **Aprender**, como la habilidad humana más estudiada que permite extraer conocimiento en base a datos. De aquí sale el aprendizaje automático o en inglés, *machine learning*, que se ha vuelto un término muy estudiado y usado.

Logrando automatizar esas habilidades humanas, se han podido resolver diferentes tipos de problemas comunes en el quehacer humano. Algunos ejemplos de problemas son los siguientes:

- **Jugar**, con contrincante o sin él. Juegos de estrategia como el ajedrez o juego de inversiones económicas. En las bolsas de valores, por ejemplo, hay muchos asuntos que se resuelven como juegos.
- **Diagnosticar**, es decir, considerar las manifestaciones, signos y síntomas de algún proceso para identificar el estado de ese proceso. Los médicos son los casos más comunes de agentes de diagnóstico.
- **Optimizar**, o sea, revisar las diferentes soluciones disponibles a algún problema para identificar la mejor según las prioridades propuestas. Por ejemplo, seleccionar la ruta entre dos ciudades con la menor distancia, con el menor tiempo o al menor costo.
- **Pronosticar** algún parámetro dado el comportamiento de ese parámetro con relación a otros, o con relación a ese mismo parámetro en el pasado o una combinación de ambos. Por ejemplo, pronóstico del tiempo o de la paridad peso-dólar en un mes.
- **Planificar**, es decir, conociendo las acciones que se deben realizar para lograr una meta, se pueden organizar para alcanzar la meta en el tiempo o costo más conveniente.

Relacionar las habilidades de los humanos con los tipos de problemas que se pueden resolver, ha llevado a los científicos de IA a desarrollar diferentes técnicas para automatizar esas habilidades. Las técnicas se han adaptado mejor a unos campos que a otros. El campo de la energía no ha sido la excepción. Con problemas tan serios como el calentamiento global y la necesidad de hacer una transición hacia las energías renovables, la IA tiene mucho que aportar. En el grupo de Inteligencia Artificial del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) en Cuernavaca, realizamos varios proyectos de aplicaciones de IA en energía: como el diagnóstico de fallas en transformadores o en aerogeneradores, pronóstico de potencia eólica, toma de decisiones en campos petroleros y estimación de parámetros en centrales termoeléctricas. A continuación, se comentan algunos de esos proyectos.

Diagnóstico de turbinas eólicas basado en modelos de comportamiento
Comportamiento se define como: *Manera de funcionar una cosa en una situación determinada*. Aplicando esta definición a una turbina eólica, comportamiento de

la turbina es la manera de funcionar en condiciones de velocidad y dirección de viento determinadas. Y la buena manera de funcionar se refiere a la combinación de valores que van tomando las diferentes variables en las diferentes condiciones meteorológicas. Por ejemplo, a altos vientos se esperan velocidades y potencias altas. Para representar el comportamiento, recolectamos los valores históricos de las variables que participan en el control de la turbina y buscamos la manera de relacionarse entre ellas. Las variables son velocidades, temperaturas, vibraciones, voltajes, corrientes, dirección de viento, entre otras. En total recolectamos dos años de información de la turbina Komai del parque eólico del INEEL en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca (figura 1).



FIGURA 1. AEROGENERADOR del INEEL

La forma de representar el comportamiento fue a través de una red Bayesiana (RB). Una red Bayesiana está formada por nodos y arcos. Los nodos representan las variables de la aplicación y los arcos representan la dependencia probabilista del nodo hijo dado el nodo padre. Por ejemplo, en la figura 2 abajo a la derecha, la variable *Rotor_Speed* es dependiente probabilísticamente de la variable *Vibration_2*.

La estructura de dependencias e independencias se construyen utilizando algoritmos de aprendizaje que identifican esas relaciones en base a datos y utilizando el teorema de Bayes. De ahí el nombre de redes Bayesianas. También existen otros algoritmos que pueden inferir la probabilidad de una variable dados los valores de otras variables evidencias [2]. Con el modelo probabilista aprendido, correspondiente al comportamiento nor-

mal bajo diferentes condiciones de viento, desarrollamos un sistema de cómputo que identifica si los valores en línea del aerogenerador corresponden a una condición normal. Se insertan algunos de los valores en línea y se infieren otros valores en la RB para revisar si coinciden. Es decir, se pueden identificar desviaciones incipientes al comportamiento normal y notificar al operador sobre una probable falla en curso. El sistema demostró que se pueden hacer modelos de comportamiento para la detección de fallas en diferentes tipos de objetos, además de las turbinas eólicas. Por ejemplo, comportamiento de clientes de instituciones financieras, comportamiento de una enfermedad en núcleos humanos y muchas otras aplicaciones.

combustible apropiada, se calienta el combustible a una temperatura específica. El problema es cómo se mide la viscosidad en una central generadora. Existen instrumentos llamados viscosímetros, pero son muy caros y difíciles de operar, configurar y mantener. Solo una central de CFE tiene uno. La alternativa es estimar la viscosidad de acuerdo con los valores de las variables relacionadas con la combustión en una central. Para saber las variables relacionadas con la viscosidad se aprende una RB con los datos históricos de la operación de la caldera en diferentes condiciones de operación. Con inferencia en la RB, se puede estimar el valor de la viscosidad dados los valores de las variables relacionadas en la combustión. A eso le llamamos sensor virtual o en inglés, *Soft sensor*.

Instalamos el sensor virtual de viscosidad en una central de CFE y mostramos al operador y al sistema de control el valor de la viscosidad para obtener una combustión eficiente. El proyecto fue apoyado por el fondo sectorial CFE-Conacyt.

Diagnóstico de transformadores por señales de vibración

Los transformadores vibran. Muchas máquinas y motores vibran al operar. El reto es descubrir cuando la vibración es normal y cuando es síntoma de alguna falla mecánica. Nuestro proyecto consistió en aprender el patrón de vibración de transformadores operando correctamente bajo diferentes condiciones de operación. Para eso, tuvimos acceso a la línea de producción en una fábrica de transformadores donde nos permitieron instalar sensores de vibración en el tanque del transformador. Los sensores de vibración son en realidad acelerómetros y la señal sensada puede expresarse en sus componentes en diferentes frecuencias. Eso se logra con una herra-

mienta matemática llamada transformada discreta de Fourier. Cabe hacer notar que la señal de vibración se compone de señales únicamente en frecuencias múltiplos de la fundamental de 60 Hertz. Entonces, las variables con las que se aprenden los patrones de comportamiento de transformador sin falla son precisamente las diferentes componentes múltiplo de 60 Hertz de la señal original.

El proyecto, realizado en la planta del mayor fabricante de transformadores del continente, consistió en aprender las RB de la vibración normal de un transformador y un programa de cómputo que compara la vibración actual en línea con el comportamiento normal y puede así detectar fallas incipientes en la estructura del transformador.

Pronóstico de potencia eólica

El problema con el uso de energías renovables, principalmente la solar y la eólica es su variabilidad. Es decir, existe variaciones en la disposición de energía. En los centros de despacho de energía de las compañías eléctricas se requiere saber la disposición de energías renovables para preparar el complemento de la demanda con las energías tradicionales. Una forma de tener cierta idea de la disposición de energía es a través del pronóstico. Pronosticar significa estimar el valor de una variable generalmente en el futuro, dados los valores históricos de esa variable y probablemente de otras variables relacionadas. La IA ofrece varias herramientas de aprendizaje de valores futuros dados valores en el pasado. El método utilizado en nuestro proyecto consistió en el aprendizaje de modelos probabilistas, involucrando variables meteorológicas en el parque eólico del INEEL en Juchitán Oaxaca (Figura 1).

Primero, logramos una RB para pronos-

Curva de potencia

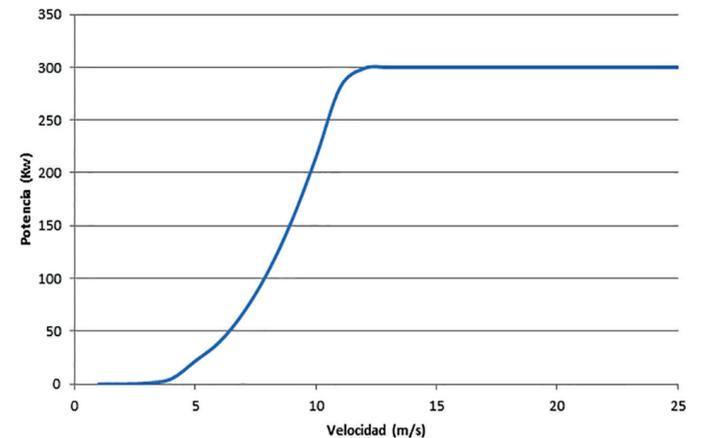


FIGURA 3: CURVA de potencia que relaciona velocidad de viento con generación.

tar la velocidad de viento usando variables meteorológicas del lugar. Después, integramos información de variables meteorológicas en diferentes lugares y en diferentes tiempos. Generamos modelos probabilistas espaciotemporales y logramos el pronóstico de velocidad de viento a 5 horas y después a 24 horas. La traducción de velocidad de viento a potencia generada se logra con las curvas de potencia proporcionadas por el fabricante de los aerogeneradores. La figura 3 muestra la curva de potencia de la turbina Komai del INEEL de la figura 1. Se puede apreciar que la generación comienza a los 4 m/seg de velocidad y continúa generando energía a un rango de velocidad al cubo. Finalmente, se llega a una generación nominal de la turbina y continúa el valor hasta que se alcance 25 m/seg donde se procede a frenar la turbina por seguridad. En suma, nuestro proyecto apoyado por fondo SENER Sustentabilidad nos pronostica potencia eólica disponible para 24 horas adelante.

Asistencia en la intervención de pozos petroleros en campos maduros

Un campo maduro petrolero es aquel donde el petróleo ya no fluye solo, empujado por presiones propias del petróleo y gas al perforarse un pozo. A ese petróleo hay que ayudarlo a salir con algún método. A veces se inyecta agua o a veces nitrógeno. Analizando datos históricos con las intervenciones que se han hecho a los pozos maduros y los efectos que se han observado, diseñamos un modelo probabilista que mide la utilidad de las diferentes intervenciones que se pueden realizar en algunos pozos para tener una ganancia máxima en el campo entero, es decir, en todos los pozos de una región. El modelo aprendido identifica por medio de la información histórica, las posibles interconexiones que existen entre los pozos, así como la definición de pozos de inyección y pozos de producción. Se incluyen las posibles intervenciones que se pueden hacer a los pozos inyectoros y se calcula la producción que se tendría con diferentes combinaciones de intervenciones. El sistema se probó y entregó a un campo

petrolero de Pemex en el estado de Tabasco.

Conclusiones

Así como los seres humanos podemos reconocer patrones, pronosticar según nuestra experiencia, tomar decisiones sobre situaciones difíciles e inciertas, también hemos podido desarrollar programas de cómputo que realicen esas y muchas otras tareas más rápido y de manera más eficiente. La clave está en juntar suficiente información histórica y la IA se encarga de crear los modelos. El sector de energía ha sido usuario intenso de estas herramientas y ha conseguido sensores virtuales, diagnosticadores, pronosticadores y optimizadores de decisiones.

Las máquinas inteligentes tienen la misión de facilitar la vida diaria de los seres humanos y no sustituirlos o atacarlos, según se observa en algunas películas. Por otro lado, los sistemas utilizados en la industria y los servicios generan información histórica de muchas variables, como la capacidad de compra, la satisfacción del cliente y sus necesidades, que actualmente representan beneficios en la telefonía, los servicios de bancos e incluso en tiendas departamentales. Los sistemas inteligentes de aprendizaje automático extraen y generan conocimiento que se aplica en el ejercicio de nuevas formas de comercialización o prestación de servicios. Muy probablemente desde ahora o en un futuro cercano, todos tendremos mayor contacto con la IA en los estudios o el trabajo y habremos de familiarizarnos cada vez más con esta fascinante tecnología.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

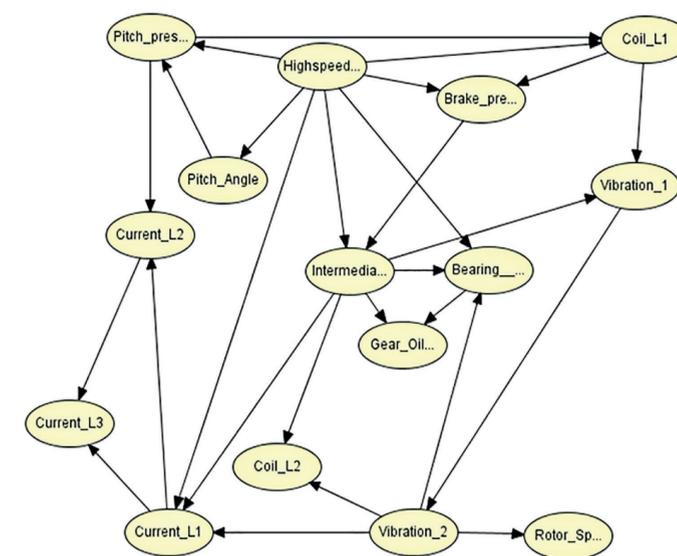


FIGURA 2. RED Bayesiana para representar comportamiento del aerogenerador.

Referencias

- [1] Stuart Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, Fourth edition, Pearson, 2020. ISBN 978-0134610993.
- [2] Judea Pearl, *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Networks of Plausible Inference*, Revised Second Edition, Morgan Kaufmann Publishers, 1988. ISBN 9781558604797.



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: editorial@acmor.org.mx