



## APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CONSTRUCCIÓN

M. Sc. Ing. Luis Alberto Cabrera Serrudo

DOCENTE DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

### INTRODUCCIÓN

Es pertinente, en principio, comprender lo que es la inteligencia artificial. De acuerdo a Barr et al. (1981) la inteligencia artificial es una rama de las ciencias de la computación que desarrolla sistemas informáticos inteligentes, es decir, sistemas que exhiben características similares a la inteligencia humana, con capacidades para comprender, manejar idiomas, tener razonamiento y resolver problemas.

En las décadas recientes, los investigadores han publicado bastantes artículos abordando la aplicación de la inteligencia artificial y sus diferentes ramas. En ese sentido, se hicieron investigaciones acerca de la aplicación de una rama como lo es el aprendizaje automático (machine learning) en campos como la salud, estimación de costos, cadena de suministros, logística, prevención de riesgos y muchos otros. A pesar de esto, la industria de la construcción es un área profesional que aún no ha tenido una digitalización muy profunda y continúa atravesando dificultades para adoptar las nuevas tecnologías digitales, este retraso se debe a ciertos obstáculos como la barrera cultural, costos elevados durante el proceso de desarrollo inicial, desconfianza por parte de los actores de la construcción, mala calidad de internet, falta de personal capacitado en informática, entre muchos otros factores.

Hoy en día, la Inteligencia Artificial (en lo sucesivo será mencionada como: IA) ha emergido como una poderosa herramienta en diversas industrias, y la construcción no es la excepción. En las últimas décadas, los avances en la IA han revolucionado la forma en que se abordan los desafíos en estas profesiones. En este artículo, exploraremos cómo la IA ha transformado la ingeniería civil y la construcción, permitiendo mejoras significativas en la eficiencia, la precisión y la sostenibilidad de los proyectos.

En la figura 1 se puede apreciar un resumen de las ramas, los componentes y tipos de inteligencia artificial.

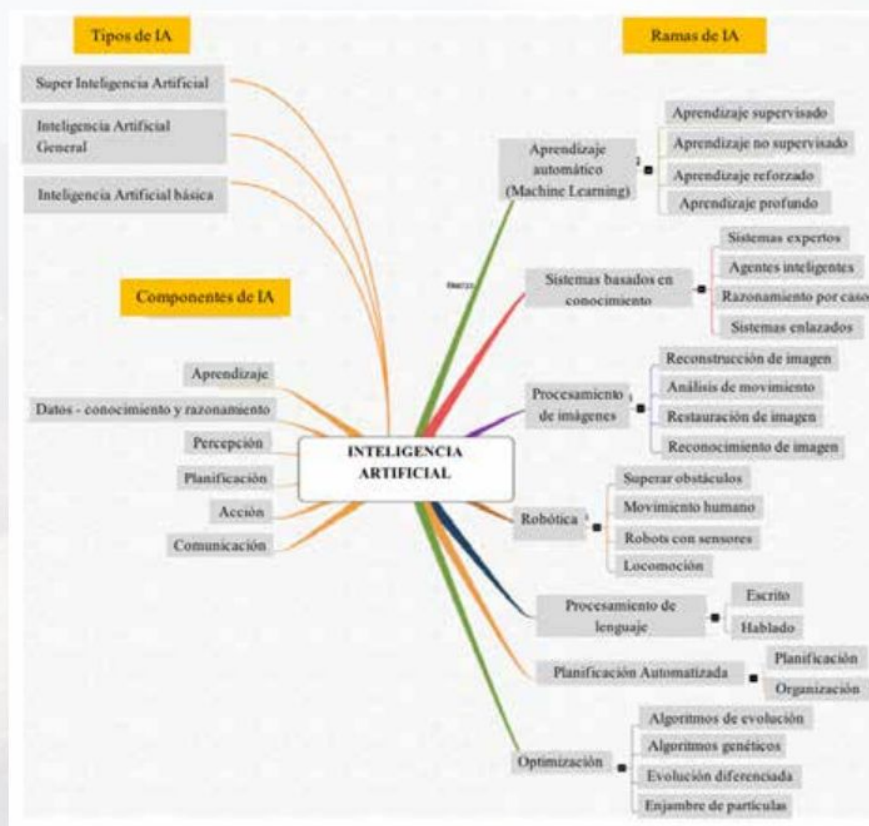


Figura 1. Componentes, tipos y ramas de la Inteligencia Artificial. (Sofiat et al., 2021)

## ELABORACIÓN DE PROPUESTAS PARA LICITACIONES

La IA se puede utilizar para analizar datos históricos de licitaciones y proyectos similares, lo que permite a las empresas crear propuestas más precisas y competitivas. Los algoritmos de aprendizaje automático ayudan a identificar patrones de precios y requisitos, lo que resulta en propuestas más atractivas y exitosas.

Los contratos y las propuestas de licitación en el ámbito de la construcción pueden llegar a ser bastante complejos e implicar mucha documentación y datos, cualquier error o falta de información puede desembocar en severas consecuencias para una empresa constructora tales como: costos de litigación, demoras en el proyecto, pérdida de reputación de la empresa y pérdidas económicas. Actualmente esta tarea recae en el equipo jurídico de la empresa conformado por personas, pero como es sabido, el ser humano es susceptible de cometer errores. El escenario planteado puede tener una mejora substancial al incluir a la IA como un asistente que ayude en la elaboración de todos los documentos que implica una licitación o contrato, de esta manera, el proceso de elaboración de toda esta documentación puede hacerse de forma más rápida y minimizando errores.

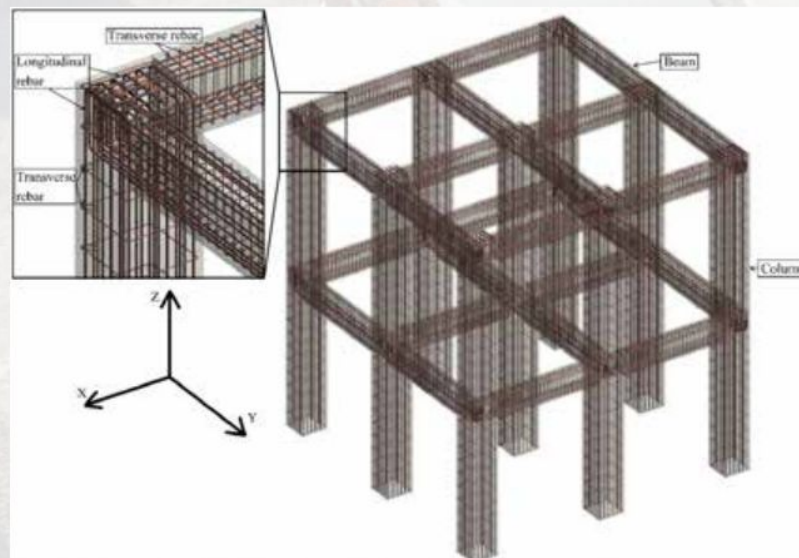


**Figura 2.** Elaboración de documentos para licitaciones y contratos con IA. (<https://licitarconsultores.org/asesorias>, 2023)

## ORGANIZACIÓN DE ACEROS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

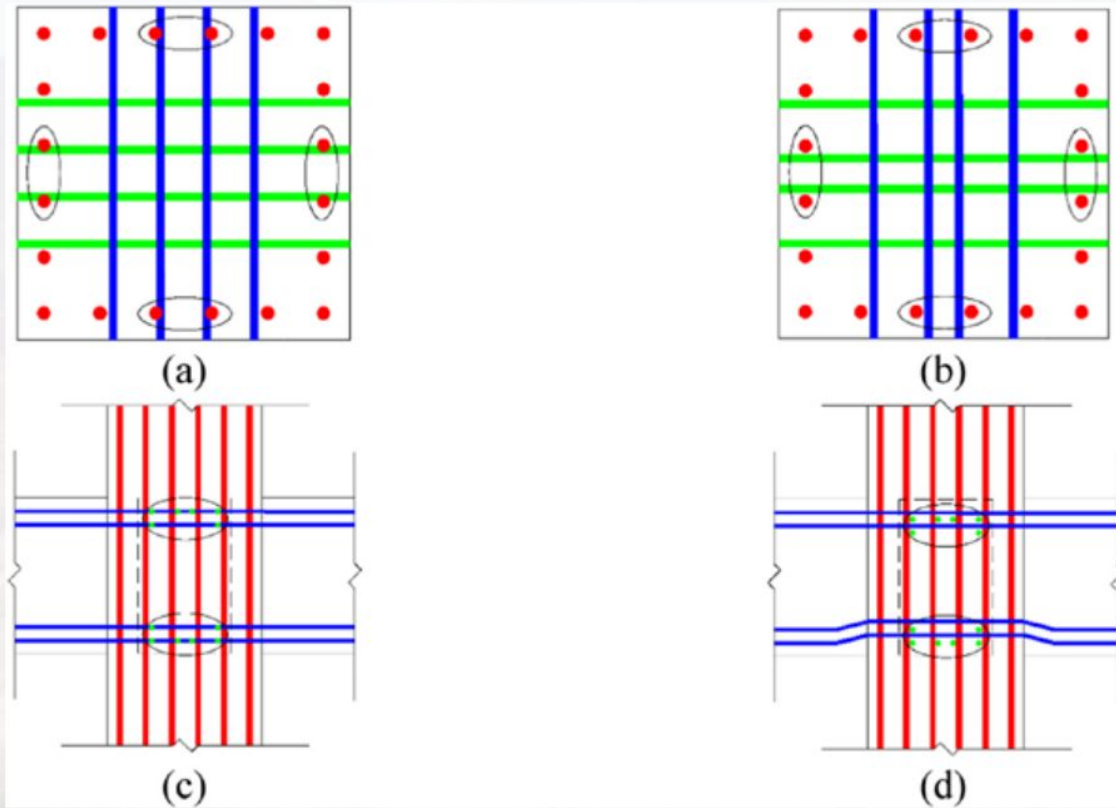
La organización eficiente de los aceros es crucial en la construcción de elementos de hormigón armado. La IA puede optimizar la disposición de los refuerzos metálicos, minimizando el desperdicio y garantizando la resistencia y durabilidad óptimas.

De acuerdo con Jiepeng L. et al., (2020), los nudos donde se unen las vigas con las columnas son zonas críticas para una estructura de hormigón armado. La congestión e incluso colisión de las barras de refuerzo pueden generar problemas durante el vaciado del hormigón, el cual no podrá cubrir todas las barras generando "cangrejeras" que obviamente reducen la resistencia de los elementos estructurales. La figura 3 muestra toda la situación descrita.



**Figura 3.** Estructura aporticada de hormigón armado y congestión de aceros en los nudos. (Jiepeng L. et al., 2020)

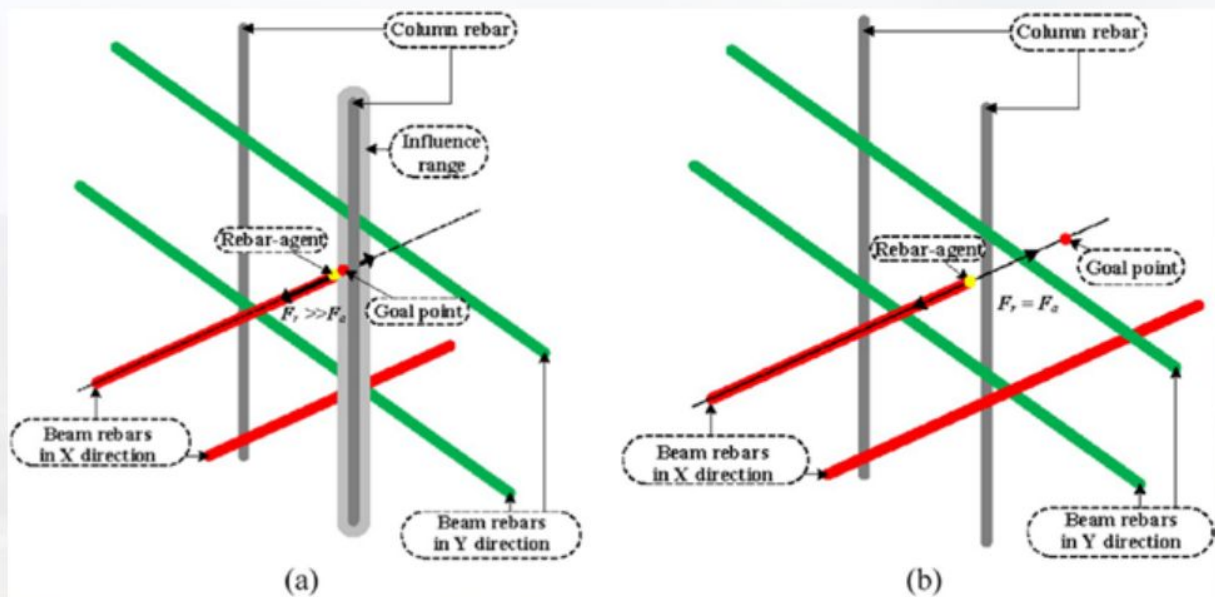
Actualmente el problema de la congestión de aceros se lo revisa manualmente durante la etapa de diseño, sin embargo, la IA puede ofrecer posibilidades de solucionar estas dificultades. La respuesta se halla en la rama de la robótica, más específicamente, en el componente dedicado a esquivar obstáculos.



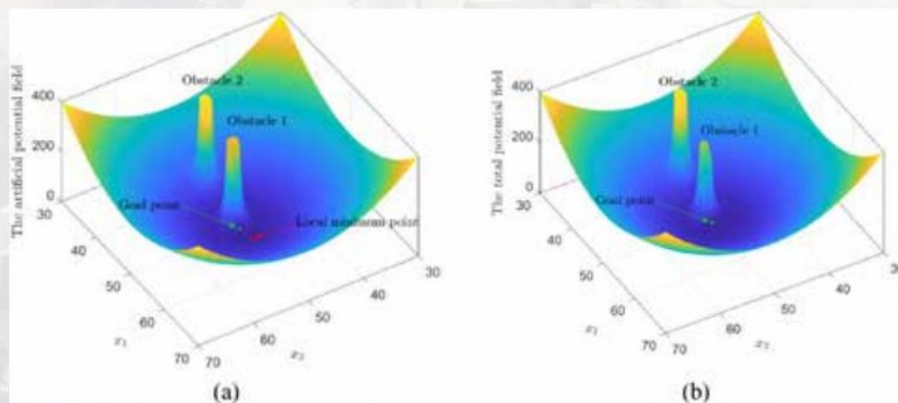
**Figura 4.** Elevación vertical de una junta: (a) Colisión de barras de refuerzo de columna con las de viga; (b) Colisión de barras de refuerzo de viga con las de columna; (c) Colisión de barras de refuerzo entre vigas; (d) Barras de refuerzo entre vigas acomodadas para evitar colisión. (Jiepeng L. et al., 2020)

Cuando un robot debe llegar de un punto A, a otro punto B superando obstáculo, se puede dotar de un algoritmo llamado "Campo de Potencial Artificial", el cual consiste en dotar a los obstáculos un campo magnético hipotético que aleja al robot de los mismos, en tanto que a los puntos donde el robot debe llegar, se los dota de un campo hipotético que atrae al robot, de esta manera la máquina puede tener cierta autonomía e "inteligencia" para evadir obstáculos y llegar a los objetivos.

El algoritmo de "Campo de Potencial Artificial" puede aplicarse al proceso de diseño de una estructura de hormigón armado para solucionar el problema de la congestión y el choque de armaduras, para ello las armaduras deberán ser designadas en una modelación como si fueran agentes en movimiento y el algoritmo mencionado se encargará de "guiar" la trayectoria de cada agente de tal manera que cruce toda su trayectoria evitando interceptarse con otros agentes. Jiepeng L. et al. (2020) lograron desarrollar modelos BIM de los aceros de una estructura aperticada y demostraron la aplicabilidad y la eficiencia del algoritmo descrito para poder trazar la trayectoria de las barras de refuerzo, de esta manera se puede realizar el detallado del acero de refuerzo de forma más rápida, eficiente y exacta.



**Figura 5.** Agente barra no puede llegar a su punto final objetivo: (a) El punto objetivo se halla muy cerca de otra barra; (b) El punto objetivo está interceptado por otra barra. (Jiepeng L. et al., 2020)

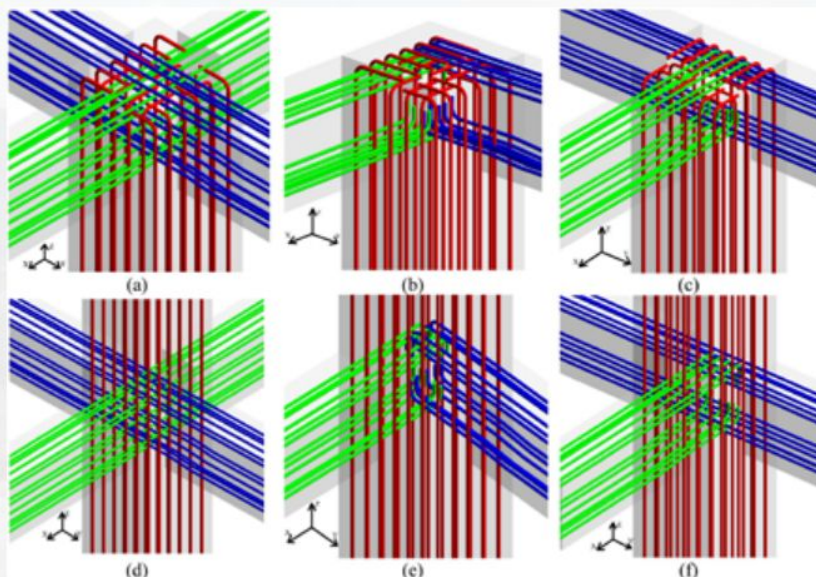


**Figura 6.** Modelación del Campo de Potencial Artificial; (a) En el caso de que el punto objetivo se halla muy cercano a otra barra; (b) En el caso de el punto objetivo se halle interceptado por otra barra. (Jiepeng L. et al., 2020)

En resumen, la congestión de barras de refuerzo en elementos de hormigón armado es raramente considerado a detalle en la etapa de diseño y todos esos problemas deben resolverse de forma manual en la etapa constructiva, esta manera de solucionar este problema es tediosa y puede, en algunos casos, tomar más tiempo del estimado causando un impacto negativo en la calidad de la construcción. No obstante, Jiepeng L. et al. (2020) pudieron demostrar que aplicando un algoritmo de IA llamado Campo de Potencial Artificial, es posible optimizar la organización de los aceros en los nudos, de esta manera se optimiza el uso de acero y se evita tener congestión de aceros lo que repercute en una mejor calidad de la obra.

En la figura 7 se pueden apreciar los resultados de una modelación BIM en la cual se ha insertado un Plug-in que aplique inteligencia artificial a través del algoritmo de Campo de Potencial artificial. Nótese como el algoritmo es capaz de organizar los aceros, de tal manera que no se presenta el choque o intercepción de aceros, lo cual trae muchos beneficios para el proceso constructivo, puesto que ya se tiene de antemano el detalle exacto de cómo deben estar doblados y cortados

los aceros, de esta manera es posible hacer un uso eficiente del material y además tener una estructura más rígida reduciendo la posibilidad de que aparezcan cangrejerías durante el vaciado del hormigón.



**Figura 7.** Resultados obtenidos al dirigir la trayectoria de los aceros con el algoritmo de IA; (a) Nudo interior de último piso; (b) Nudo de esquina de último piso; (c) Nudo lateral de último piso; (d) Nudo interior de entrepiso; (e) Nudo de esquina de piso intermedio; (f) Nudo lateral de piso intermedio. (Jiepeng L. et al., 2020)

## PROCESAMIENTO DE DATOS EN ENSAYOS DE MATERIALES

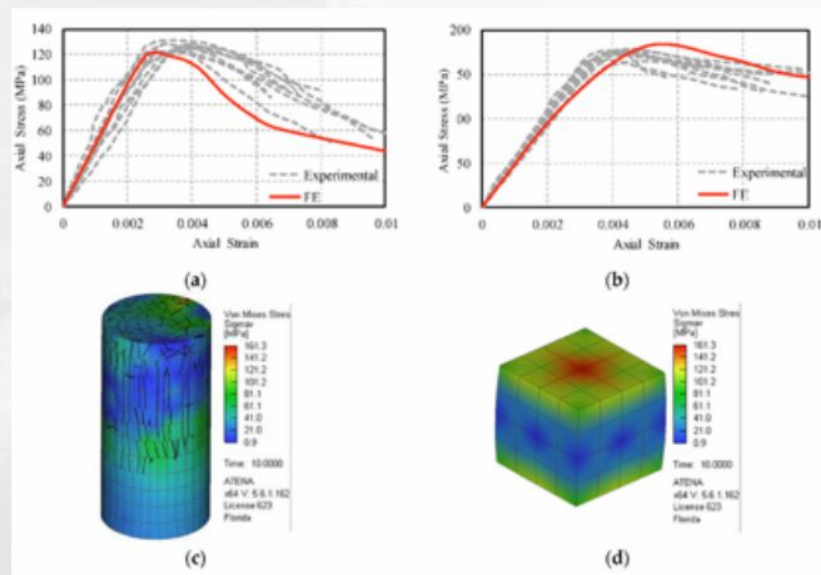
La IA agiliza el procesamiento de datos de ensayos de materiales, identificando de manera rápida y precisa las propiedades de los materiales. Esto facilita la toma de decisiones basadas en datos con respecto a la selección de materiales y la calidad del trabajo.

La construcción de una obra está sujeta siempre a un control de calidad, el cual consiste en determinar la resistencia y el cumplimiento de parámetros detallados en los pliegos de especificaciones. Sin embargo, existen casos en los que los resultados del control de calidad no están disponibles de forma inmediata, más por el contrario, se debe esperar una cierta cantidad de tiempo. Tal es el caso del hormigón, el cual para poder obtener resultados de su resistencia mínima de forma apropiada, debe esperarse, luego de un periodo de curado de probetas de 28 días, para poder realizar el ensayo correspondiente.



**Figura 8.** Ensayo de rotura de una probeta de hormigón. (García F., 2014)

Dependiendo de las circunstancias, la demora en la obtención de los resultados de los ensayos de calidad puede generar retrasos en la obra. Para eliminar este problema, es posible acudir a la IA para que de forma efectiva se pueda hallar una solución satisfactoria: es posible desarrollar en la actualidad, modelos computacionales de alta precisión, dichos modelos pueden ser capaces de predecir los resultados de los ensayos con una gran precisión partiendo de datos como la dosificación real empleada en obra, la consistencia del hormigón y la rotura preliminar de probetas a los 7 días.



**Figura 9.** Simulación de ensayos en probetas de hormigón para estimar su resistencia. (García F., 2014)

## MODELACIÓN DEL DETERIORO EN TUBERÍAS DE AGUA POTABLE

El deterioro en las tuberías de agua potable ha sido tema de investigación durante los últimos veinte años y ha ido tomando cada vez mayor relevancia puesto que cada vez son más frecuentes las roturas de tuberías causando pérdidas de agua potable y contaminación de la red. La IA ha ido abriéndose paso durante los últimos años para modelar el proceso de deterioro en una tubería y sorprende la precisión que tiene para este cometido, sin embargo, el conocimiento de estas nuevas técnicas, aún no se está implementando en los libros, ni en la formación de los nuevos ingenieros.

Los modelos de IA son capaces de tomar en cuenta las imprecisiones, incertidumbres y ambigüedades que los modelos tradicionales (estadísticos, probabilísticos y determinísticos) no son capaces de sortear. Por otra parte, los algoritmos de IA son capaces de trabajar con imágenes por medio de diferentes técnicas entre las que se puede citar: redes neuronales artificiales, sistemas de inferencia difusa, sistemas neurodifusos, algoritmos genéticos, soporte de vectores, y muchos otros. Con el procesamiento de imágenes la IA es capaz de extraer de una fotografía o video datos, detectar objetos y remarcar sectores; con toda esta capacidad, es posible detectar y evaluar los defectos presentes en una infraestructura.

La IA han contribuido de gran manera a la gestión de la infraestructura de agua potable a través de diferentes conceptos, procesos y modelos:

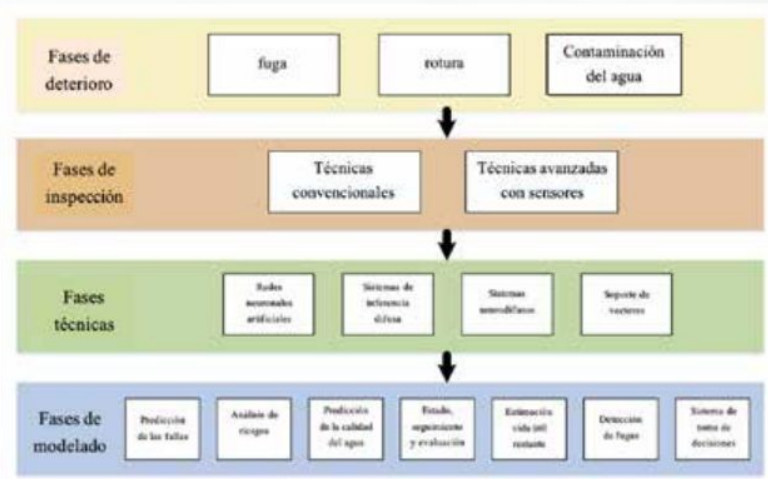


Figura 10. Modelado de infraestructura de agua potable asistido por IA. (Dawood et al., 2020)

## MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL

En estructuras grandes, tales como puentes, el monitoreo de los componentes estructurales es una de las tareas más importantes para el mantenimiento y operación de las mismas. Sin embargo, es también importante el monitoreo de los elementos mecánicos y componentes eléctricos en aquellos puentes que tengan algún tipo de movilidad. Por ejemplo, Catbas et al. (2016) propusieron un algoritmo de aprendizaje automático (machine learning), capaz de procesar una gran cantidad de datos recogidos de los elementos mecánicos del puente Sunrise Bridge en Florida, EEUU. Para poder monitorear las condiciones de funcionamiento de algunos elementos mecánicos tales como piñones y cremalleras, fueron instalados acelerómetros que puedan medir sus vibraciones. Esta metodología de control contempla dos fases: entrenamiento y monitoreo. La fase de entrenamiento consiste en la aplicación de conceptos estadísticos como análisis de correlación de datos y regresión de datos, con esos análisis estadísticos se obtienen modelos de comportamiento. En la fase de monitoreo, se procuran detectar comportamientos anormales de los mecanismos comparando los datos obtenidos en tiempo real con los modelos estadísticos de la anterior fase.

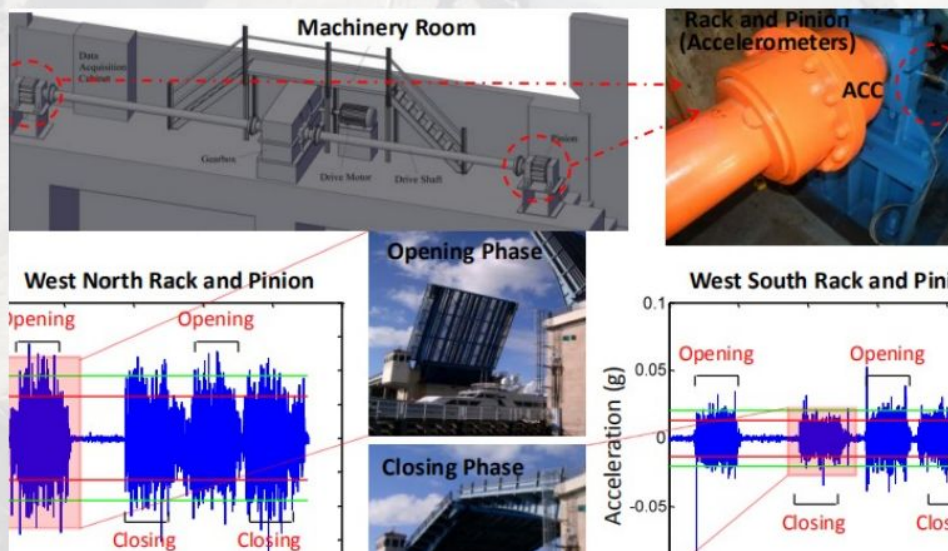
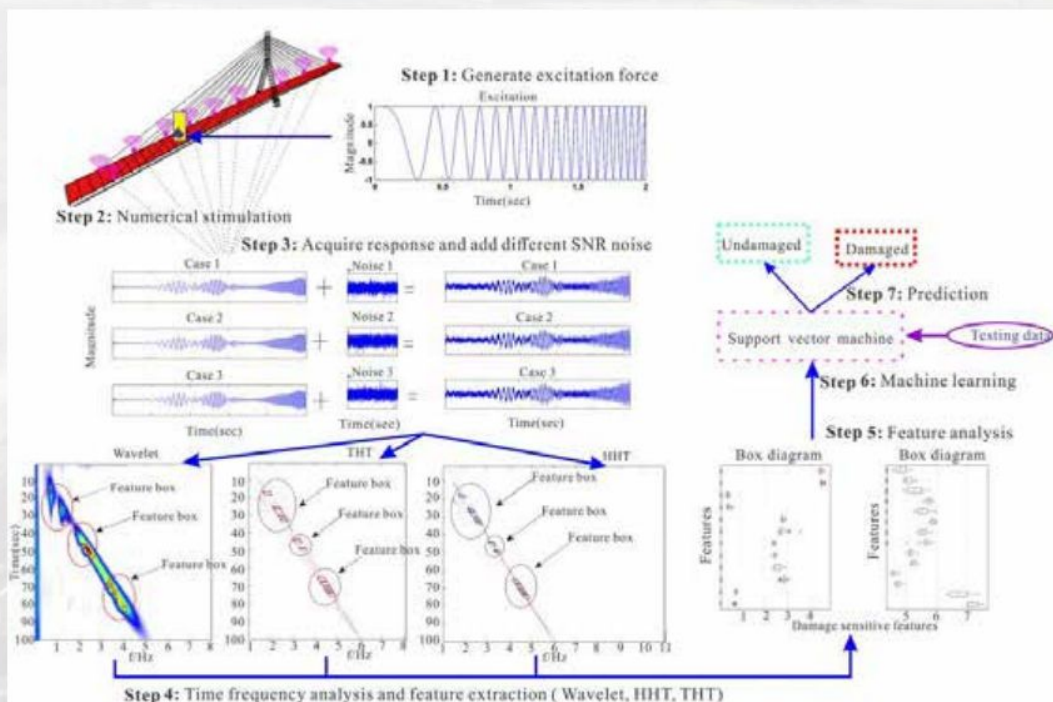


Figura 11. Monitoreo del piñón y cremallera del mecanismo del puente levadizo Sunrise Bridge en Florida, puede apreciarse las vibraciones obtenidas con acelerómetros instalados en el mecanismo. (Catbas y Malekzadeh, 2016)

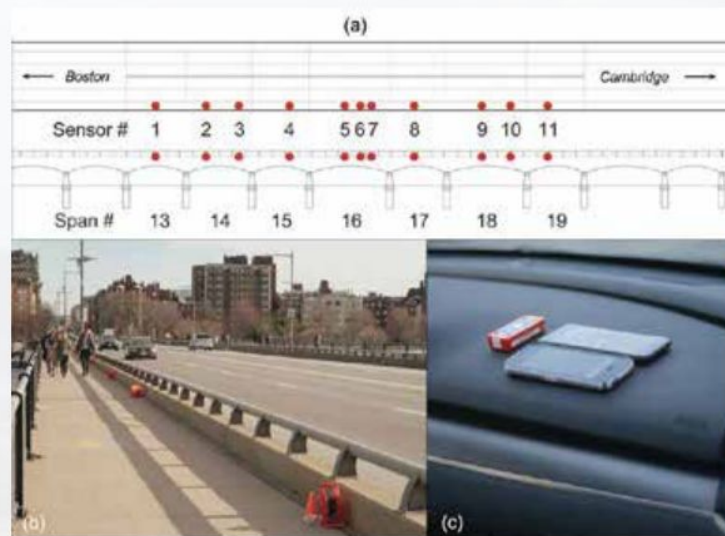


Otra técnica que va tomando relevancia gracias a la IA, es el monitoreo de la salud de una estructura. Un ejemplo se puede ver en la manera en como se monitorea los puentes atirantados, este tipo de puente tiene unas características dinámicas interesantes, ya que, mientras están en servicio y los vehículos los van atravesando, cada puente atirantado presenta patrones de vibración que pueden ser un fiel indicador de su estado. Sin embargo, algunos factores como las condiciones de operación y las condiciones ambientales, pueden causar grandes distorsiones en la respuesta dinámica de este tipo de puentes. No obstante Pan, Azimi, Yan et al. (2018) pudieron realizar una investigación apoyándose en técnicas de Machine Learning, para poder desarrollar un algoritmo de IA capaz de eliminar las distorsiones en los datos, para así poder realizar un diagnóstico estructural y detectar zonas que preseten daños, así como también verificar el estado de los cables de un puente atirantado.



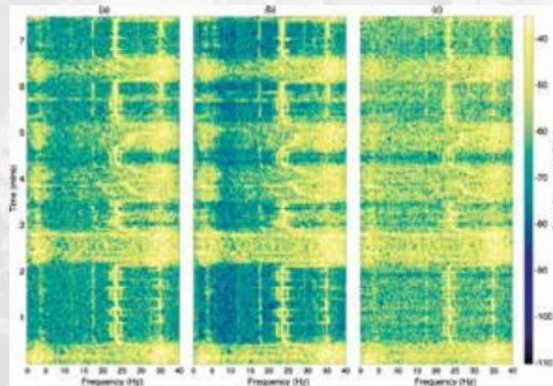
**Figura 12.** Manejo de datos (vibraciones) basado en Machine Learning para el diagnóstico del estado de un puente atirantado (Pan, Azimi, Yan et al., 2018)

En la actualidad, los teléfonos inteligentes están casi omnipresentes en todos los países casi sin excepción, y justamente cada teléfono inteligente viene equipado con un acelerómetro el cual es capaz de percibir cuando el teléfono se encuentra en posición vertical, inclinada, recostada, etc. Pese a que esos acelerómetros son sensores que no tienen mucha precisión, pueden ser capaces de proporcionar información valiosa si se las pone al servicio del monitoreo de una estructura. En efecto, Matarazzo, Santi, Pakzad et al. (2018) desarrollaron una aplicación informática para el puente Harvard, demostrando que las aceleraciones recogidas con teléfonos inteligentes ubicados en vehículos en movimiento atravesando dicho puente, contenían indicadores importantes sobre los primeros tres modos de vibración del puente, todo el procesamiento de esta gran cantidad de información recolectada por los acelerómetros de los teléfonos inteligentes, no hubiese sido posible sin la asistencia de la IA en su rama de Machine Learning y Big data. Dichos resultados permitieron a los gobiernos locales recolectar datos sobre las vibraciones de los puentes a bajos costos, es decir, sin requerir el uso de instrumentos especializados de costos elevados.



**Figura 13.** (a) Vista en planta y elevación del puente Harvard. (b) Sensores fijos ubicados en el puente. (c) Teléfonos inteligentes ubicados en el tablero de un vehículo para medir las vibraciones a tiempo de transitar a través del puente. (Matarazo et al, 2018).

**Figura 14.** Imágenes procesadas con transformaciones de Fourier para visibilizar las



vibraciones (a) Vibraciones de referencia obtenidas por los sensores fijos. (b) Vibraciones obtenidas por teléfono inteligente ubicado en un automóvil en el carril de ida. (c) Vibraciones obtenidas por teléfono inteligente ubicado en el carril de vuelta. (Matarazo et al, 2018).

## REFERENCIAS

Matarazo, T. et al., (2018) "Crowdsensing Framework for Monitoring Bridge Vibrations Using Moving Smartphones" en *Proceedings of the IEEE*. Vol. 106, número 4, Abril 2018, pp. 577-593.

Sofiat, O. et al., (2021) "Artificial Intelligence in the Construction Industry: A review of present status, opportunities and future challenges" en *Journal of Building Engineering*., número 44, Octubre 2021.

Pan, Y. y L. Zhang., (2021) "Roles of Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management: A critical review and future trends" en *Automation in Construction*., número 122, Diciembre 2020.

Dawood, T. et al., (2020) "Artificial Intelligence for the Modeling of Water Pipes Deterioration Mechanism" en *Automation in Construction*., número 120, Agosto 2020.

Huang, Y.; Li, J. y F. Jiyang, (2019) "Review on Application of Artificial Intelligence in Civil Engineering" en *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. Vol. 121, número 3, pp. 845-875.

García, F., (2014) "The Use of Artificial Intelligence on Construction Products Research" en *Industrial Engineering & Management*. Vol. 3, número 5.

Liu, J. et al., (2020) "Intelligent Rebar Layout in RC Building Frames Using Artificial Potential Field" en *Automation in Construction*., número 114, Marzo 2020.