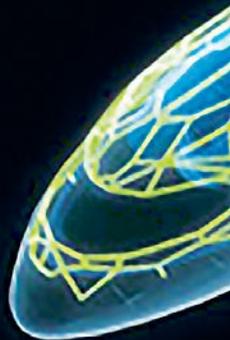


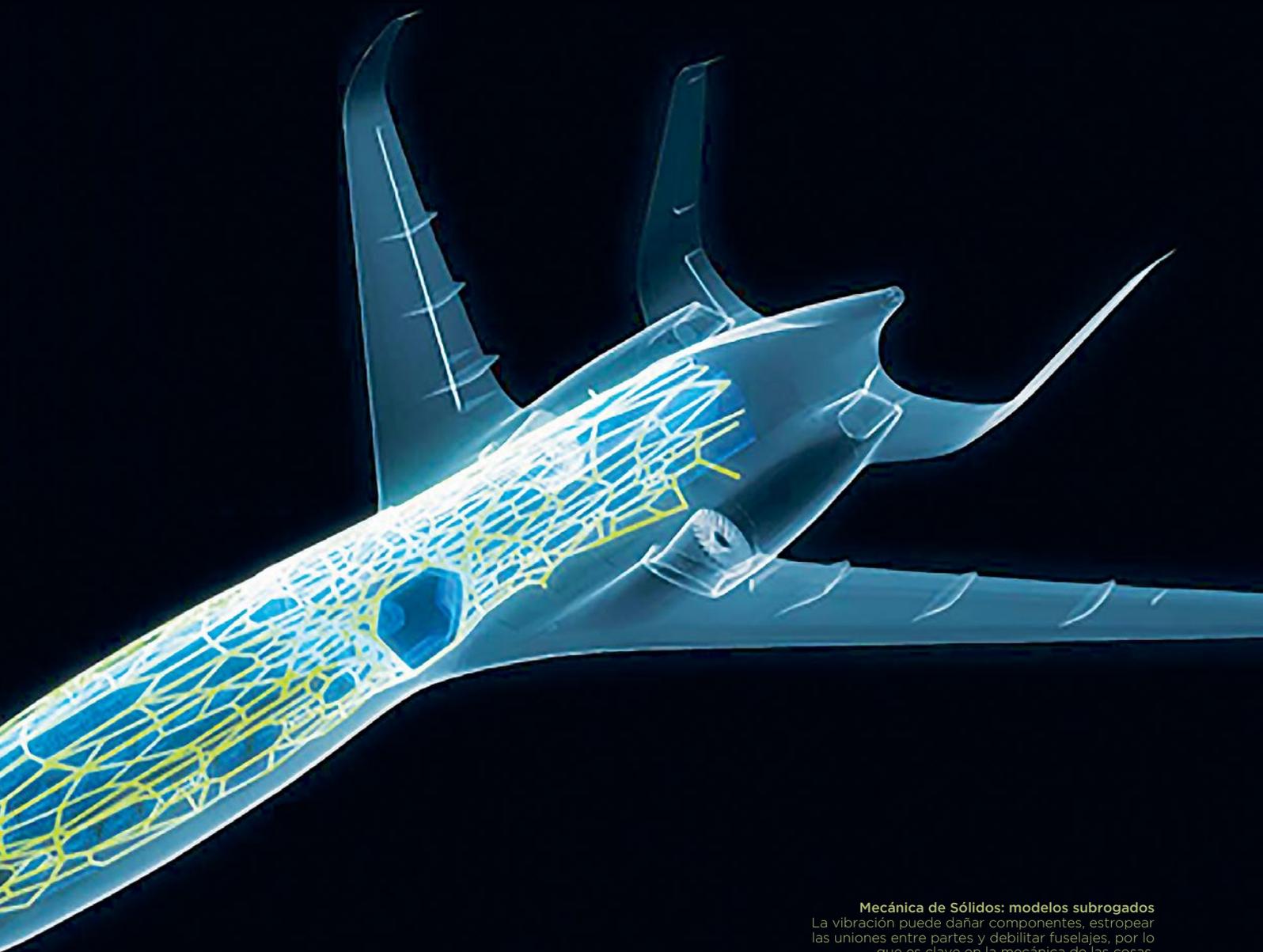
CIENCIA DE DATOS PARA CONTROLAR, OPTIMIZAR Y GESTIONAR **SISTEMAS DE INGENIERÍA MECÁNICA**

En el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile (DIMEC U. Chile) **los avances en Inteligencia Artificial (IA) están permitiendo abordar grandes desafíos de la transformación digital**, que van desde la integración de datos de múltiples sensores y su análisis para la gestión de equipos industriales, hasta llevar simulaciones físicas de un supercomputador a un laptop para permitir controlar y optimizar sistemas complejos, como la aerodinámica de un parque eólico o las vibraciones en el fuselaje de un avión.

Aquí presentamos las principales aplicaciones de IA que se están desarrollando en tres áreas del DIMEC U. Chile: Confiabilidad, Mantenimiento y Gestión de Activos, Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor, y Mecánica de Sólidos.



“ USANDO COMPUTACIÓN DE ALTO RENDIMIENTO, HOY SOMOS CAPACES DE CONSTRUIR MODELOS BASADOS EN FÍSICA DE SISTEMAS DE INGENIERÍA QUE SON DE MUY ALTA FIDELIDAD ”



Mecánica de Sólidos: modelos subrogados

La vibración puede dañar componentes, estropear las uniones entre partes y debilitar fuselajes, por lo que es clave en la mecánica de las cosas.

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina que aprende automáticamente y que usa patrones similares a las redes neuronales humanas para ejecutar y/o repetir una tarea en específico. Sus ventajas son amplias, por lo que desde el año 2014 académicos y académicas del DIMEC U. Chile trabajan con herramientas de Inteligencia Artificial (IA) para el modelamiento de sistemas. En ingeniería mecánica se requiere utilizar modelos numéricos que permitan predecir las respuestas de ciertos sistemas, que involucran el flujo de fluidos, transferencia de calor, deformación de sólidos, vibraciones estructurales, entre otras.

Estos modelos numéricos se pueden ocupar en tiempo real, sin embargo, se requiere una retroalimentación de lo que está ocurriendo para poder hacer un control del sistema y predecir su comportamiento a futuro. “Necesitamos tener una evaluación rápida del comportamiento de los modelos, pero la mayoría de estos requieren muchos grados de libertad esto los hace lentos de evaluar, dificultando su evaluación en tiempo real y por lo tanto no sirve para optimizar el modelo”, explica la directora del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, Viviana Meruane.

En ese sentido, la aplicación de Inteligencia Artificial para desarrollar modelos equivalentes a este sistema conlleva ventajas importantes. En primer lugar, puede ser más liviano, el procesamiento de los datos es más rápido y más económico. Para lograr lo anterior, la profesora Meruane señala “que se realiza identificando cuáles son los parámetros relevantes que dan respuestas a estos modelos, desarrollando uno de menor dimensión. En la mayoría de los casos el sistema es dinámico y no solo requiere una respuesta en tiempo real, sino que también se necesita saber cómo va a cambiar o evolucionar en el tiempo”.

Confiabilidad, Mantenimiento y Gestión de Activos: optimizar y predecir

En esta área trabajan el profesor Enrique López y la profesora Viviana Meruane. “Nos enfocamos en la predicción del estado de salud y del comportamiento futuro de un equipo dado los datos que estamos obteniendo. Esto lo hacemos a través de datos de monitoreo de máquinas. En general, la mayoría de los equipos están siendo monitoreados por muchos sensores, sensores de vibración, de temperatura, de corriente, de voltaje, de presión, etc., y todos estos dispositivos esconden información del estado de salud del equipo”, explica la investigadora.

En la industria hay muchos equipos que cuentan con una gran cantidad de información lo que dificulta su procesamiento de la forma tradicional. En ese contexto, el profesor López desarrolló una solución denominada Big Machinery Data, que permite procesar gran cantidad de datos incorporando el uso de algoritmos de aprendizaje de máquina, capaces de aprender mejor y con mayor profundidad los datos masivos.

Estas soluciones han sido aplicadas en diferentes áreas de la industria nacional e internacional para predecir el estado salud de los equipos, detectando anomalías y planteando soluciones para el comportamiento de vida remanente del equipo. “Desde el punto de vista del proceso analizamos en base a un conjunto de datos provenientes de sensores de alimentadores, correas transportadoras, chancadores y harneros, utilizando aprendizaje profundo (Deep Learning, en inglés), así obtenemos inteligencia a partir de un conjunto de datos de monitoreo de sensores que tienen en planta o en los equipos, más la información o la data de los eventos de detenciones que se saca de los sistemas de información como SAP y SCADA”, señala el académico del DIMEC U. Chile, Enrique López.

También, el investigador colabora con una empresa minera, analizando chancadores secundarios. “Hasta ahora hemos logrado anticiparnos entre 3 y 6 horas, pero queremos llegar a 24 horas de anticipación del mantenimiento correctivo”, afirma López, quien agrega que “la aplicación de IA es un proceso de madurez, que también involucra a la industria, porque a medida que se demuestra el valor agregado de utilizar estas herramientas se organiza y se estructura de mejor forma el registro de los datos, y a su vez, mejora la calidad de estos, incidiendo en el desarrollo de soluciones de predicciones más potentes, con más exactitud y precisión”. En las empresas de celulosa también se ha aplicado IA, por ejemplo en intercambiadores de calor. “En la planta completa hicimos un análisis donde miramos la planta de generación de óxido de cloro. Estas soluciones si son certeras dependen de la calidad y la cantidad de la data. En este caso alcanzamos a tener una anticipación entre 8 y 12 horas para identificar problemas de incrustación en un intercambiador de calor”, explica el profesor López.

Igualmente, en el área de Confiabilidad, Mantenimiento y Gestión de Activos del DIMEC U. Chile se ha trabajado con las aerolíneas Latam y Sky Airline. Y a nivel internacional se desarrolló una solución mediante un gemelo digital (*Digital Twin*, en inglés) para la programación autónoma de acciones de mantenimiento preventivo en base al nivel de corrosión interno de tuberías de distribución de gas natural, en Los Ángeles, Estados Unidos, en conjunto con el DIMEC U. Chile y la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA). Los resultados de este trabajo fueron publicados en la revista *Sensors* con el título “*Condition-Based Maintenance with Reinforcement Learning for Dry Gas Pipeline Subject to Internal Corrosion*”.



Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor: ciencia de datos informada por física
Incluso en sistemas muy complejos, como el flujo turbulento en la atmósfera, existen patrones que caracterizan las cantidades que nos interesan en ingeniería mecánica, como fuerzas sobre un cuerpo, el flujo de calor, la deformación de un sólido, vibraciones estructurales o el movimiento de un robot. Es posible identificar estos patrones dominantes a partir de datos usando técnicas de aprendizaje de máquinas.

Nubes sobre isla del archipiélago de Juan Fernández



Foto satelital por Bob Cahalan, NASA GSFC

Flujo sobre un cilindro ($Re = 100$)



Van Dyke, *An Album of Fluid Motion*, 2002

Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor: ciencia de datos informada por física

En esta área el académico del DIMEC U. Chile, Benjamin Herrmann aplica aprendizaje de máquinas para sistemas físicos. “Usando computación de alto rendimiento, hoy somos capaces de construir modelos basados en física de sistemas de ingeniería que son de muy alta fidelidad. Sin embargo, simular estos modelos puede tomar semanas o incluso meses, lo que hace difícil aprovecharlos para tareas prácticas, como optimización de un diseño o control en tiempo real. Avances en aprendizaje de máquinas están permitiendo construir modelos reducidos para hacer lo que hace un supercomputador en un laptop.”, señala el profesor Herrmann.

De igual forma, el investigador explica que “los desafíos modernos de ingeniería mecánica son diferentes a los de otras áreas donde el aprendizaje de máquinas ha sido muy efectivo, por lo que hay que ser cuidadosos al momento de usar estas herramientas. Típicamente contamos con pocos datos y necesitamos construir modelos que sean interpretables para poder entender y comunicar el comportamiento del sistema, permitiendo la toma de decisiones.” Para abordar estos desafíos, el profesor Herrmann trabaja en el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de aprendizaje de máquinas informado por física, para generar modelos basados en datos que respeten las leyes de la física.

El desarrollo de estos modelos contribuye a predecir, controlar y optimizar sistemas de ingeniería. El investigador ejemplifica señalando que “en el viento que pasa sobre un parque eólico interactúan de manera compleja las estelas turbulentas de los distintos aerogeneradores, y nos interesaría tener un modelo lo suficientemente sofisticado para capturar la aerodinámica relevante, y lo suficientemente simple para controlar el parque en tiempo real o para optimizar el posicionamiento de las turbinas.”, manifiesta Herrmann, quien agrega que “incorporar física no solo resulta en modelos que predicen mejor, sino que además necesitan menos datos para ser entrenados”.

Mecánica de Sólidos: modelos subrogados

En esta área la profesora Meruane desarrolla “Modelos Subrogados”, es decir, se desarrolla un modelo equivalente que prediga lo mismo, pero que se pueda hacer de manera más rápida y para ello utiliza algoritmos de aprendizaje de máquina. “Estos algoritmos se entrenan y aprenden el comportamiento del modelo numérico y luego ese modelo sustituto lo ocupamos para hacer distintas predicciones”, explica la investigadora.

En ese sentido también añade que “es muy relevante poder medir la exactitud al momento de entrenar el modelo de aprendizaje de máquina, porque lo que se requiere es que se parezca al modelo real. Básicamente se va midiendo con algunas métricas el error que hay entre la predicción y lo real. Y cuando ya sabes que el modelo está ajustado se ocupa para predecir otros casos”.

En su proyecto Fondecyt “*Optimal design of ultralight sandwich panels with cellular truss cores and large phononic band gaps*”, que comenzó a desarrollar este año, la investigadora modela estructuras tipo panel que impiden la propagación de vibraciones en un rango de frecuencias, conocidas como bandas prohibidas (band gaps, en inglés). En este caso, Meruane señala que “la importancia de desarrollar estas estructuras es que en algunos casos las vibraciones generan problemas, dañando los componentes de un equipo y su posterior falla, por lo que desarrollar estos Modelos Subrogados aplicando Inteligencia Artificial es una gran herramienta para la predicción y la toma de decisiones”.