

Principales usos de los Algoritmos de Control en las diferentes campos disciplinares e industrias en la era digital: Una Revisión de la literatura (Parte II)

Ingeniero en Computación Brandon Giron - Cisneros¹

¹ Instituto Politécnico Nacional - Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas
Bgiron-cisneros1800@alumno.ipn.mx

Abstract

El modelado y la optimización son dos herramientas que suelen trabajar de manera conjunta para describir fenómenos del mundo real de forma simplificada mediante representaciones conceptuales, matemáticas y computacionales, llamadas modelos, que, a su vez, son optimizados mediante soluciones algorítmicas adecuadas a cada tipo de problema. Ambas herramientas han proliferado y han encontrado nichos de aplicación en prácticamente la mayoría de los campos del conocimiento humano, y se posicionan como áreas de investigación científica activas, con tendencias claramente marcadas por los últimos avances de la Inteligencia Artificial en las Ciencias de la Computación. En este artículo divulgativo, se presentan los fundamentos del modelado y de la optimización matemática, así como sus aplicaciones en el contexto práctico. También se analizan y discuten las técnicas más recientes, las tendencias, los desafíos aún por resolver y el futuro que se vislumbra en ambas áreas de investigación.

4. Resultados y discusión

4.1. Panorama de los estudios

Tras la búsqueda de los estudios relevantes y su recopilación, se procedió a realizar la extracción de la información, como ya se indicó en el tema 3.5, adicionalmente a esto, se analizó la cantidad de publicación por año, como se muestra en la figura 4. Se puede destacar que después del 2020 hubo un incremento en los artículos, teniendo su pico en el 2024 y aunque la cantidad es muchísimo menor en 2025, aun así, es superior a lo de los años anteriores, lo que implica que existe un aumento en el intereses de temas relacionados a los algoritmos de control. Además, se analizó la cantidad de artículos publicados por país, destacando a China como uno de los principales países en desarrollar artículos referentes al tema, seguido por España, Estados Unidos y Rusia, como se muestra en la figura 5. Esto nos indica que para las superpotencias las tecnologías desarrolladas bajo los algoritmos de control son necesarias y eficaces, mostrando resultados adecuados en la optimización de sus procesos.

Esta información extraída nos demuestra la importancia de estos algoritmos en la actualidad y en el futuro, resaltando que el desarrollo de aplicaciones, así como su implementación es importante para los países superdesarrollados como lo son China y Estados Unidos.



Figura 4. Cantidad de artículos publicados por año

4.2. Respuestas a Preguntas de Investigación

La siguiente sección se presentan las respuestas a las preguntas de investigación formuladas, estas fueron respondidas de acuerdo con los datos extraídos y analizados de la revisión sistemática conducida.

RP1: ¿En qué campos disciplinares son utilizados los algoritmos de control en nuestros días?

Un campo disciplinar es un área específica de estudio que se enfoca en un conjunto particular de conocimientos y teorías. Para este estudio se consideraron los siguientes áreas de conocimiento:

Matemáticas, Ciencias experimentales (como Física, Química, Biología, Medicina, Ingeniería y Computación), Ciencias sociales, Humanidades y Comunicación. En estas 5 áreas se agruparon las distintas ciencias y aplicaciones que se encontraron en los documentos analizados.

Matemáticas: En esta área podemos mencionar a las ciencias de la computación y las matemáticas aplicadas, ya que en base a los algoritmos de control se desarrollan los algoritmos de optimización como los algoritmos genéticos, de enjambre, de Estimación de Distribuciones (EDAs), entre otros; para poder resolver problemas complejos, optimizar y planificar problemas en el campo mencionado [4, 35, 69, 80]. A través de la programación entera mixta o dinámica se implementa algoritmos de control óptimos, los cuales pueden ser aplicados en el control de sistemas de almacenamiento de energía, permitiendo optimizar el consumo de energía, así como la gestión de su almacenamiento [71]. También dentro de este campo podemos mencionar a la teoría de sistemas de control que es aplicada a los sistemas de control en red a través del control por eventos, estos son sistemas de control en los que los sensores, controladores y actuadores están conectados a través de una red de comunicación digital [55]. Estos algoritmos pueden ser mejorados a través de técnicas IA y RL para le mejora en la optimización de control y la toma de decisiones en entornos complejos [16, 52].

Ciencias experimentales: En esta área podemos mencionar a las distintas ingeniería donde se utilizan estos algoritmos, tales como, la Ingeniería de procesos (Química e industrial) en donde se utiliza el Control Predictivo Basado en Modelo (MPC) y aprendizaje por refuerzo, en la fusión de datos, optimización en cadenas de proceso distribuidas, y en la modelización de procesos de cristalización [23, 50, 47], además también se usan los controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para el control de mecanismos rotarios de alta velocidad, además se aplican algoritmos para el control de demanda pico para múltiples cargas controlables en procesos industriales [45, 51]. En la Ingeniería de sistemas de energía, los algoritmos de control son utilizados para la optimización y control de los sistemas de energía y redes eléctricas, algunas de funciones incluyen la optimización económica en el despacho de calor y la energía combinada, el control de voltaje en recursos de energía distribuida, el control de convertidores multinivel modulares (MMC), la gestión de plantas de energía térmica y el control de demanda pico, por mencionar algunos ejemplos [32, 36, 49, 51]. En la gestión operativa de sistemas eólicos y sistemas de suministro de gas urbanos, se emplean técnicas de control sin modelo y control distribuido basándose en el principio de control de perturbaciones y el control de recursos energéticos, en los sistemas eólicos esto ha permitido optimizar la captura de energía en granjas eólicas [10, 30]. La industria energética en general se beneficia del uso de mecanismos rotatorios de alta velocidad en las cuales se incorporan tecnologías de control [45]. Además, estos también son utilizados para la gestión de la energía en los edificios a través de sistemas HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) optimizando el rendimiento energético y el confort térmico [62]. En la Ingeniería Eléctrica los controladores PI/PID, control por modos deslizantes, control predictivo y métodos no lineales como control difuso e inteligente, así como los controladores de orden fraccional (relevantes por su robustez a incertidumbres y perturbaciones de carga) son implementados en convertidores DC - DC y en el control de motores eléctricos [17, 76]. Dentro de la Ingeniería biomédica estos son aplicados para la regulación de variables fisiológicas, como el control de la profundidad de la hipnosis durante la anestesia total intravenosa [59]. En la Ingeniería Automotriz y de transporte son utilizados en la gestión de los sistemas de transporte y en el control de la gestión de la energía de los vehículos eléctricos e híbridos [11, 84]. Al incluir técnicas de IA a estos algoritmos estos son aplicados para mejorar la seguridad y la eficiencia en sistemas automotrices como los sistemas de asistencia al conductor, en la gestión de tráfico, verificando y validando los métodos de toma de decisiones, así como en la planificación de vehículos automatizados [33]. Otra aplicación es el control de movimiento lateral de vehículos autónomos a través de algoritmos de control adaptativos [9]. Dentro de la Ingeniería Nuclear son vitales para el control de reactores nucleares y el diseño de control de estructura variable (VSC) optimizado con algoritmos bioinspirados [1, 24, 50]. Dentro de la Ingeniería de Materiales son utilizados a través de los algoritmos de búsqueda de raíces en sistemas de

caracterización de materiales magnéticos, controlando la forma de onda de la densidad de flujo magnético del material [20]. Dentro de la Ingeniería Mecánica y Robótica estos son esenciales para la predicción y control de vibraciones en mecanismos mecánicos [45]. En robótica, se aplican en el modelado cinemático de cobots (robots colaborativos), el control de manipulaciones de objetos deformables con uno o dos brazos robóticos, el control de sistemas robóticos blandos y la determinación de la cinemática inversa de brazos robóticos redundantes [57]. También podemos mencionar al uso de los controladores PID los cuales son usados para controlar la trayectoria de los vehículos en movimiento [28], como los UAVs (Vehículos Aéreos

No Tripulados) en donde además se utilizan control por modos deslizantes, control predictivo basado en redes neuronales, y control por modos deslizantes de orden fraccional para el control de altitud, estabilización de actitud y control de posición horizontal [3, 79]. En la Ingeniería Aeroespacial se utilizan en el control para tolerar las fallas de aeronaves y para asistir la navegación y la planificación de trayectorias de los UAVs [7, 35, 68]. En el caso de la Ingeniería Civil y ambiental, estos son utilizados para el control en tiempo real de inundaciones en sistemas fluviales, así como para el control de sistemas de desinfección de agua con luz ultravioleta [53]. También estos algoritmos son usados en la Ingeniería Marina para el control de precisión de buques, el control de objetos marítimos multidimensionales y el control de guiñada permitiendo una mejor navegación a los sistemas autónomos [64]. Por otra parte, estos también están presentes en la Bioingeniería siendo utilizados en el control de crecimiento de microalgas en fotobiorreactores [53]. En el caso de la Ingeniería Biomédica, estos han sido implementados en prótesis, implantes y cirugía robótica, en donde se utilizan para el control de movimiento [32]. En la Ingeniería Agrícola estos son utilizados en sistemas de control de nivelación de tractores, controlando sistemas hidráulicos o mecánicos para mantener la estabilidad y orientación de los implementos y en sistemas de fertilización automática en invernaderos, utilizando redes de sensores [12, 83].

Ciencias sociales: Dentro de esta área podemos destacar las aplicaciones de los algoritmos de control enfocados en reducir el impacto ambiental, como en [54] donde fueron implementados para optimizar y evaluar la ecoeficiencia en sectores de manufactura que utilizan mucha energía. Dentro de las ciencias de la salud y la medicina, estos algoritmos son utilizados en los sistemas de refrigeración, que son críticos para la conservación de medicamentos y otros insumos médicos [38]. Aquí también se puede mencionar a la agricultura enfocada en el cuidado de los cultivos, en donde se utilizan estos algoritmos para el desarrollo de sistemas de soporte a la decisión (DSS) para la gestión de la protección de plantas utilizan datos meteorológicos y otros algoritmos para predecir riesgos de infección [41].

Comunicación: Dentro de esta área se destaca el uso de algoritmos como MPC, PID, control de modo deslizante (SM) y FOPID para el control de posición de acimut de

antenas de estaciones terrenas, siendo fundamental para tareas como el seguimiento de satélites y la detección de objetos espaciales, donde se requiere una capacidad de seguimiento precisa [2].

Como se nota de la síntesis anterior el campo disciplinar donde más se encuentran presentes los algoritmos de control es el de las Ciencias experimentales y esto no es sorpresa, ya que, como se señaló estos algoritmos están presentes gracias a sus capacidades para optimizar distintos sistemas sin importar el tipo de campo al que pertenezca, así como por sus capacidades para el manejo y control de la energía, sus capacidades para mejorar la navegación de vehículos no tripulados, solo por mencionar algunas de sus aplicaciones. Algo interesante a señalar es que de los artículos analizados no se encontró ninguno con relación a las Humanidades y esto se puede deber a que los estudios o aplicaciones en estas ciencias no

siempre son medibles, son subjetivos y no suelen seguir leyes físicas o matemáticas. Esto podría ser por lo cual los artículos relacionados a las Humanidades no están muy presentes, como se muestra en la figura 4. Lo anterior nos muestra que los algoritmos de control son herramientas esencialmente aplicadas en áreas donde los sistemas pueden ser modelados, medidos y controlados de forma precisa como en las ciencias experimentales destacando las diversas ramas de la ingeniería, pero esto no impide que sus capacidades y aplicaciones no puedan ser aprovechadas en otros campos. Continuara...