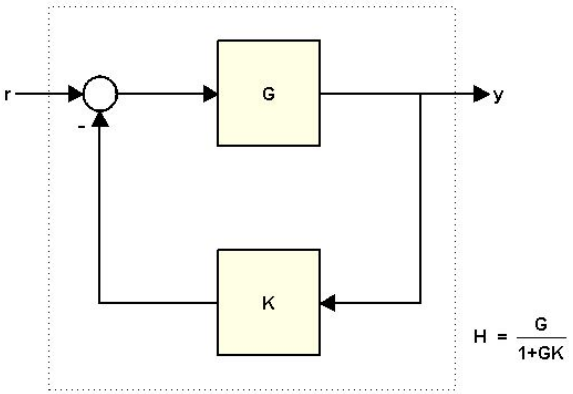
De la Ecuación al Producto: Rutas desde la Academia hacia la Ingeniería Cibernética en la Industria



Adrian Guel-Cortez

el inge de control

“Mi experiencia como información, no como la regla”

Adrian Guel-Cortez

Sistemas con retardos temporales

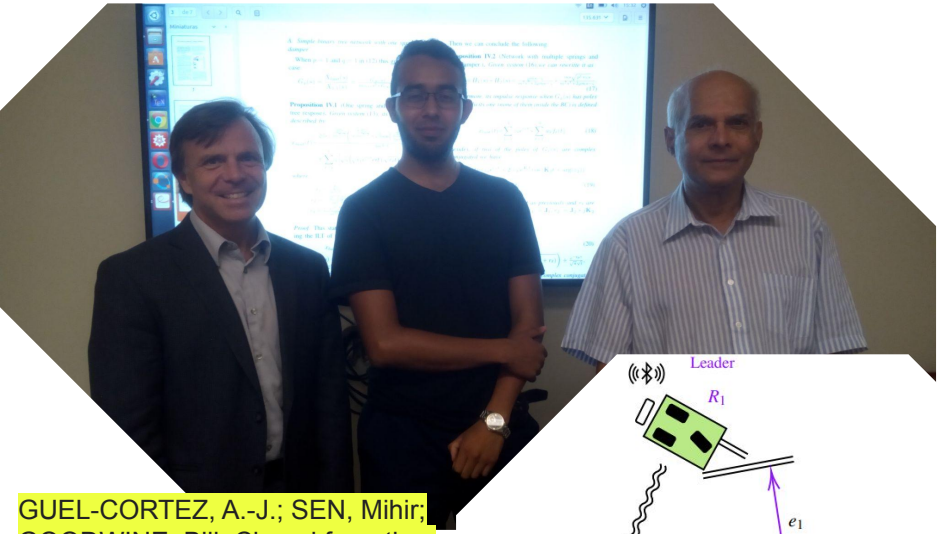
$$G(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} e^{-\tau s}$$

GUEL-CORTEZ, Adrián Josué, et al. Geometrical design of fractional PDμ controllers for linear time-invariant fractional-order systems with time delay. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 2019, vol. 233, no 7, p. 815-829.

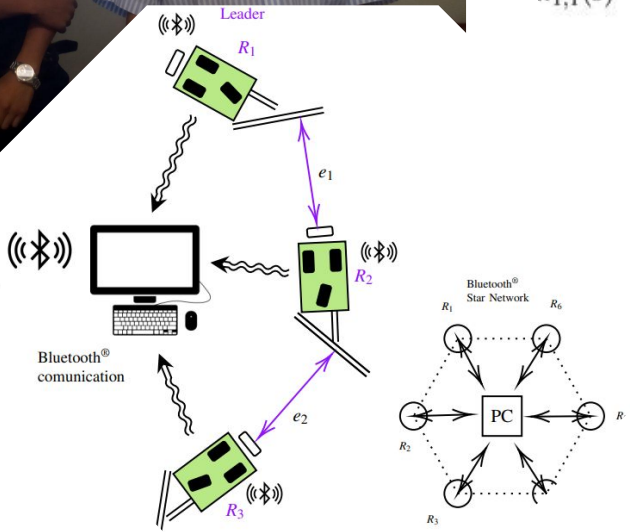
Adrian Guel-Cortez

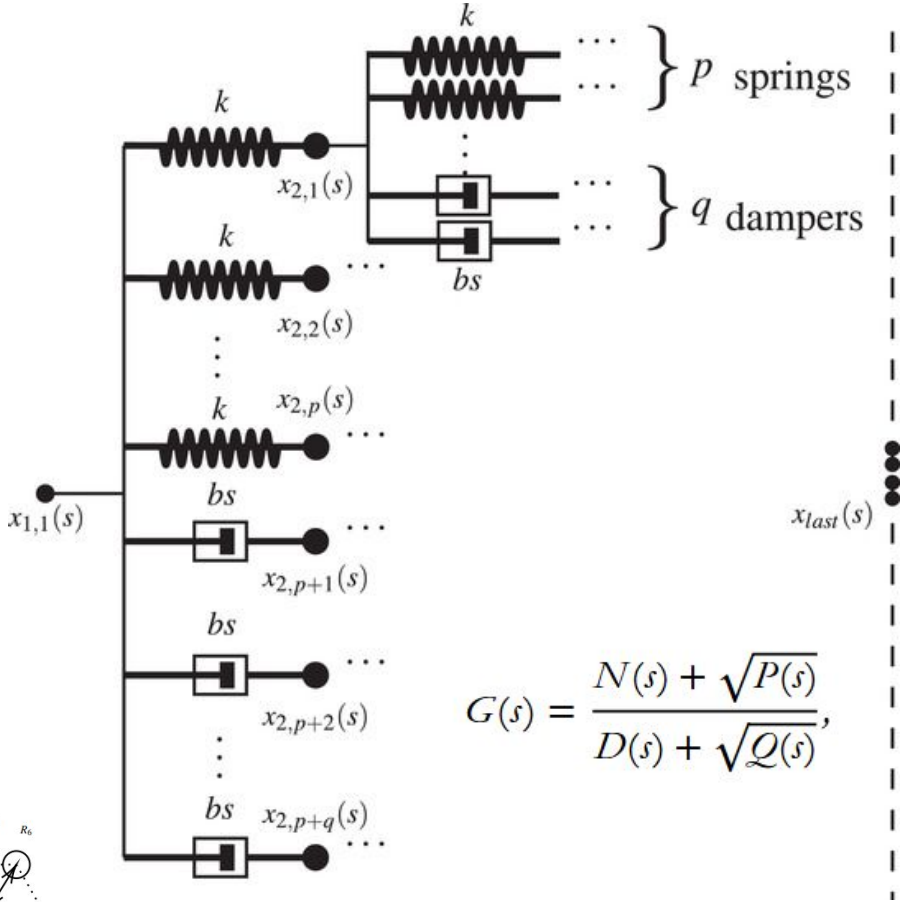
el inge de control

Generalizaciones del Cálculo. University of Notre Dame



GUEL-CORTEZ, A.-J.; SEN, Mihir; GOODWINE, Bill. Closed form time response of an infinite tree of mechanical components described by an irrational transfer function. En *2019 American Control Conference (ACC)*. IEEE, 2019. p. 5828-5833.

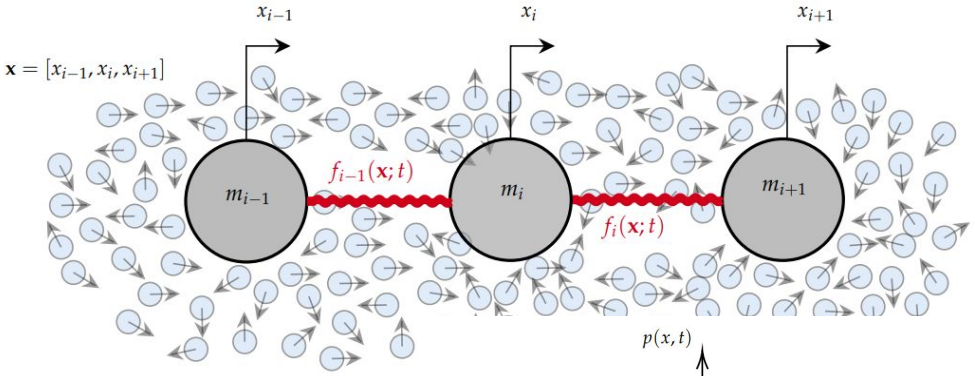


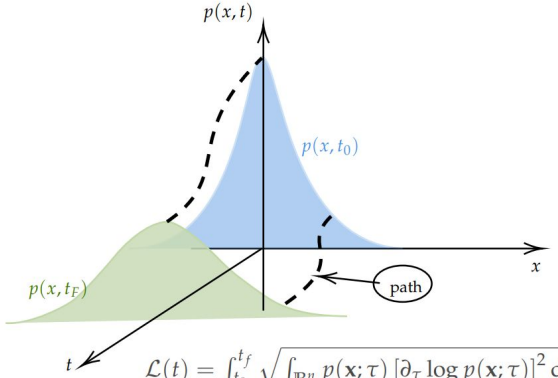


$$G(s) = \frac{N(s) + \sqrt{P(s)}}{D(s) + \sqrt{Q(s)}},$$

Adrian Guel-Cortez

Mecanica Estadistica. Coventry University





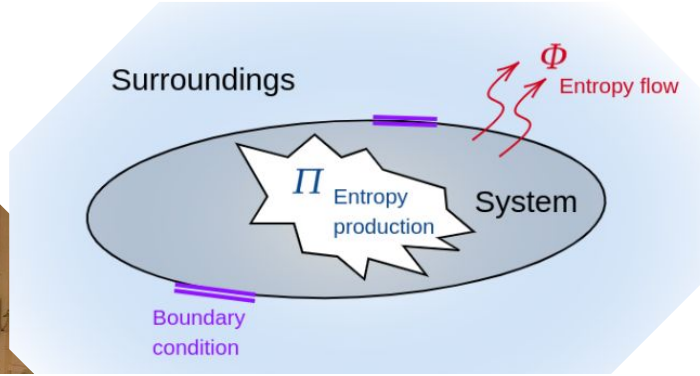
$$\mathcal{L}(t) = \int_{t_0}^{t_f} \sqrt{\int_{\mathbb{R}^n} p(\mathbf{x};\tau)\,[\partial_\tau \log p(\mathbf{x};\tau)]^2\,\mathrm{d}^n x}\,\mathrm{d}\tau$$

GUEL-CORTEZ, Adrian-Josue; KIM, Eun-jin; MEHREZ, Mohamed W. Minimum information variability in linear Langevin systems via model predictive control. *Entropy*, 2024, vol. 26, no 4, p. 323.

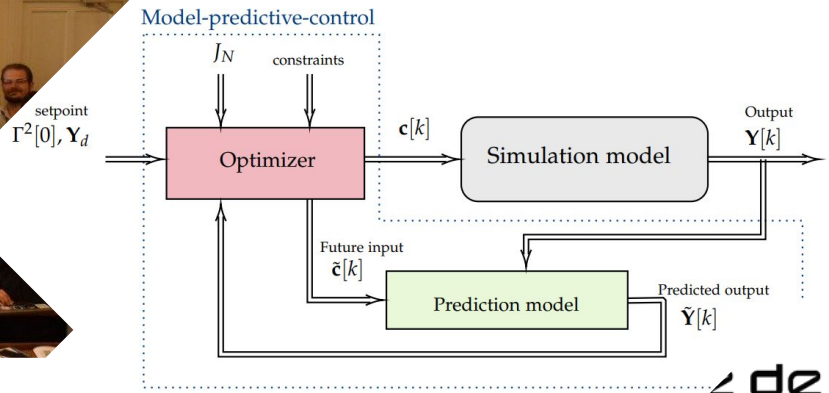
Adrian Guel-Cortez

el inge de control

Inferencia Bayesiana. Max Entropy. Active Inference. Stochastic Thermodynamics.



$$0 \leq \Gamma^2 \leq \mathcal{I}_u := \frac{1}{n}\mathrm{Tr}(\boldsymbol{\Sigma}^{-1})\Pi_u \mathrm{Tr}(\mathbf{D}) + \dot{S}^2,$$



GUEL-CORTEZ, Adrian-Josue; KIM, Eun-Jin. Relations between entropy rate, entropy production and information geometry in linear stochastic systems. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2023, vol. 2023, no 3, p. 033204.

Adrian Guel-Cortez

¿Por qué buscar fuera de la academia?

Ivory tower

Adrian Guel-Cortez

¿Por qué buscar fuera de la academia?

1. **Principales empleadores:** universidades (UNAM, IPN, estatales), institutos tecnológicos y centros /CONACYT/ **Secihti** (CINVESTAV, INAOE, CIATEQ, CIDESI).
2. **Plazas académicas permanentes:** limitadas (se reportó en 2019 que México forma entre **4,000 y 6,000 doctores por año**, pero la principal universidad del país (UNAM) **solo creó 500 nuevas plazas de investigador desde el año 2000**.); pocas se liberan por jubilación.

Adrian Guel-Cortez

el inge de control

1. **Programas especiales:** Cátedras “CONACYT” / Investigadores por México (IxM); **de 1,500 en 2018 a ~1,200 en 2024**, con convocatorias cada vez menores.
2. **Roles comunes:** Profesor de Tiempo Completo, Investigador Asociado, Catedrático CONACYT, con docencia, investigación y participación en el SNI.
3. **Otras vías:** estancias posdoctorales, con aumento en número pero carácter temporal.

OBSERVATORIO REFLEXIONES

Precarización de trabajo científico crece en América Latina

Menú

40 años La Jornada

miércoles 3 de septiembre de 2025

OPINIÓN

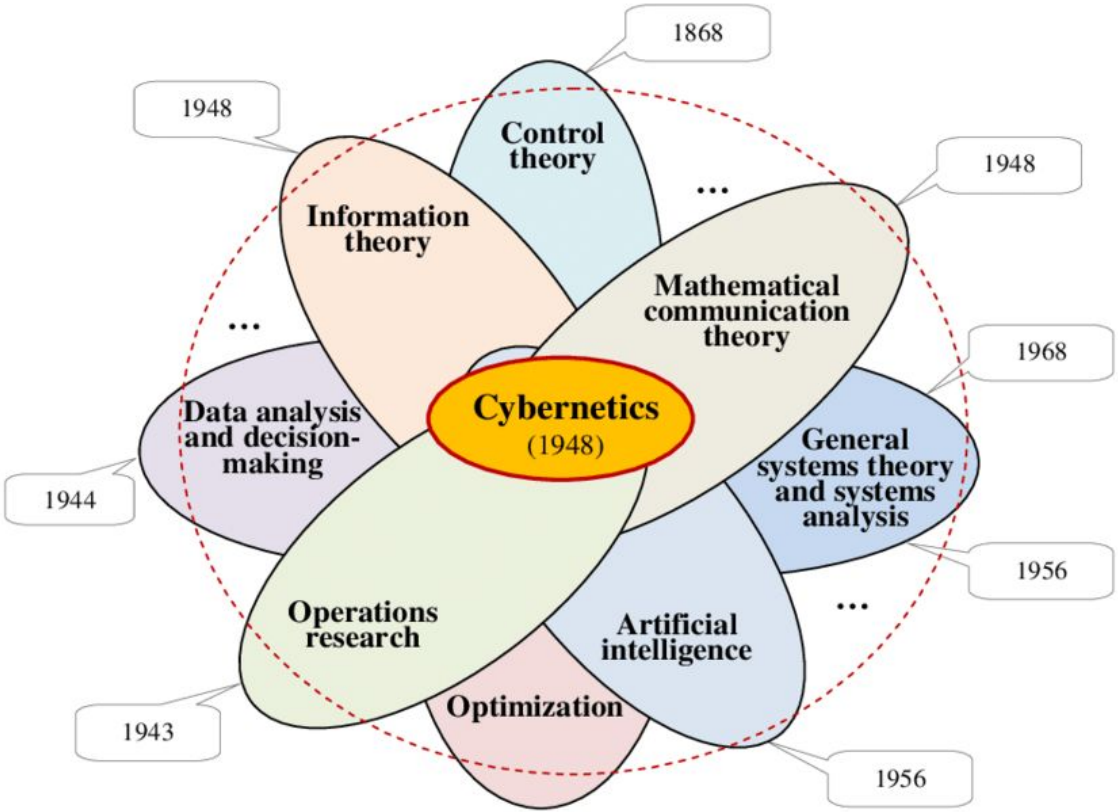
Ciencia sin industria, talento sin destino

el inge de control

Mi pregunta a explorar es: ¿dónde podemos aplicar nuestro conocimiento científico fuera de las universidades y de la estructura académica?

Socrates.

¿Qué es la cibernética?



"Una ciencia ocupada en el estudio de sistemas de cualquier naturaleza que sean capaces de recibir, almacenar y procesar información para usarla en el control." – A. Kolmogórov

"El arte de la conducción: se ocupa de todas las formas de comportamiento en la medida en que sean regulares, deterministas o reproducibles; se relaciona con la máquina real —electrónica, mecánica, neural o económica— de un modo semejante a como la geometría se relaciona con los objetos reales en nuestro espacio terrestre; ofrece un método para el tratamiento científico de aquellos sistemas en los que la complejidad es sobresaliente y demasiado importante como para ser ignorada." – W. Ashby

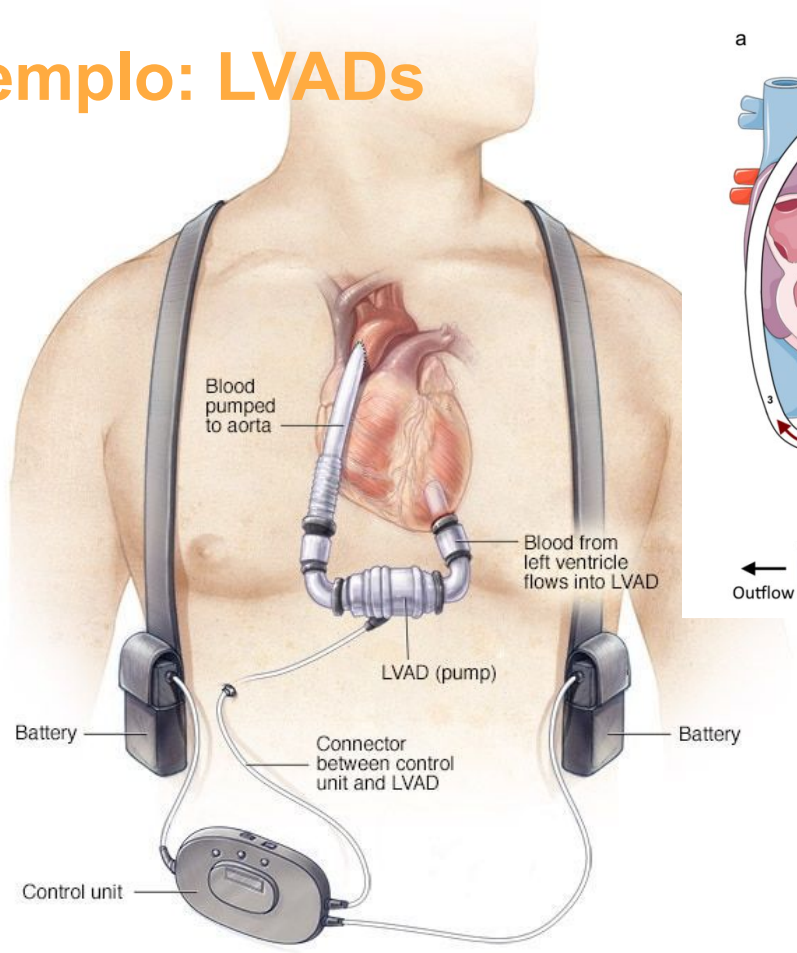
"El arte de la organización eficaz." – S. Beer

Novikov, D. A. (2015). *Cybernetics: from past to future* (Vol. 47). Springer.

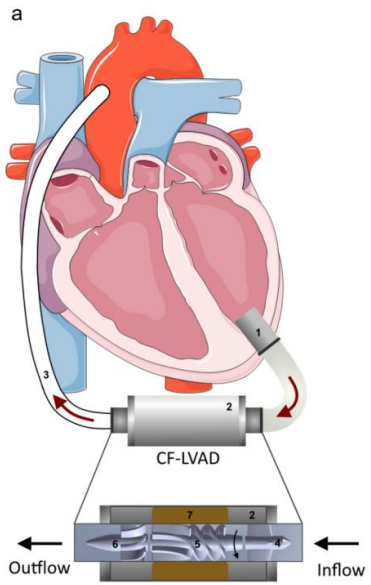
Adrian Guel-Cortez

el inge de control

Ejemplo: LVADs

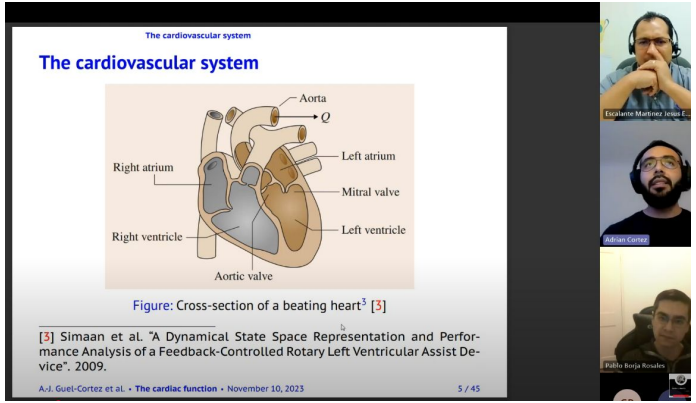


© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.



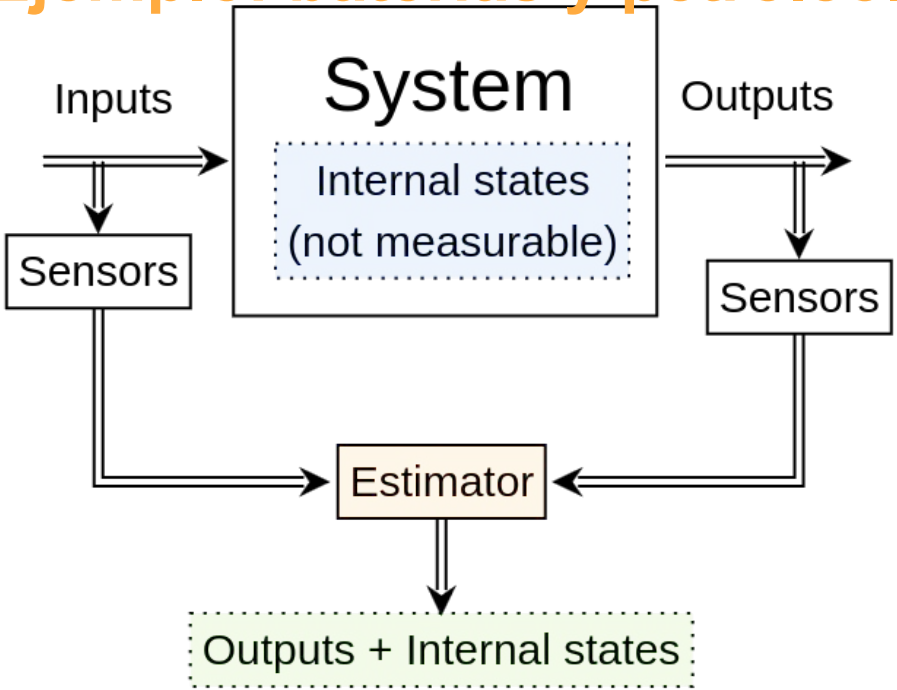
Nagy, P., & Jobbágy, Á. (2022). Sensor fusion for the accurate non-invasive measurement of blood pressure. *Measurement: Sensors*, *24*, 100481.

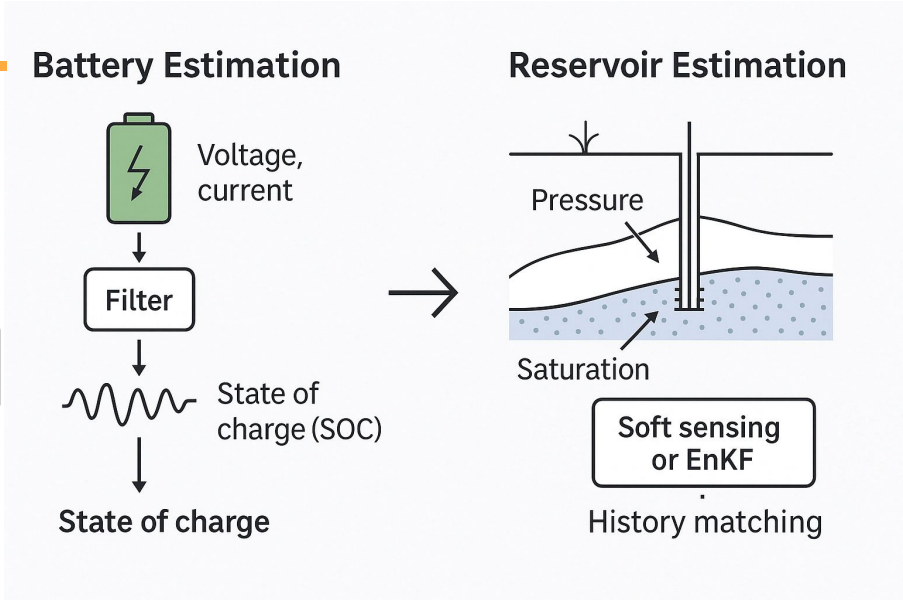
Bozkurt, S., & Bhalla, N. (2023). Sensor-Free Biosensing of Mitral and Aortic Valvular Function During Continuous Flow Left Ventricular Assist Device Support. *IEEE Sensors Journal*, *23*(16), 18515-18523.

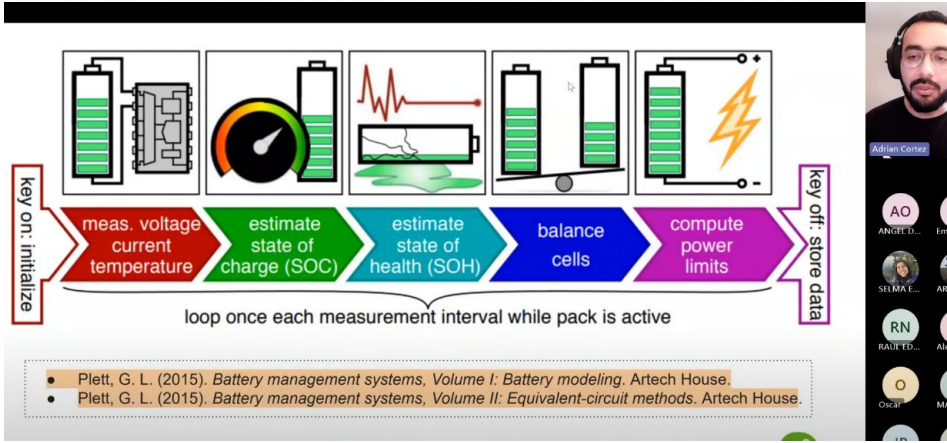


Adrian Guel-Cortez

Ejemplo: baterías y petróleo.



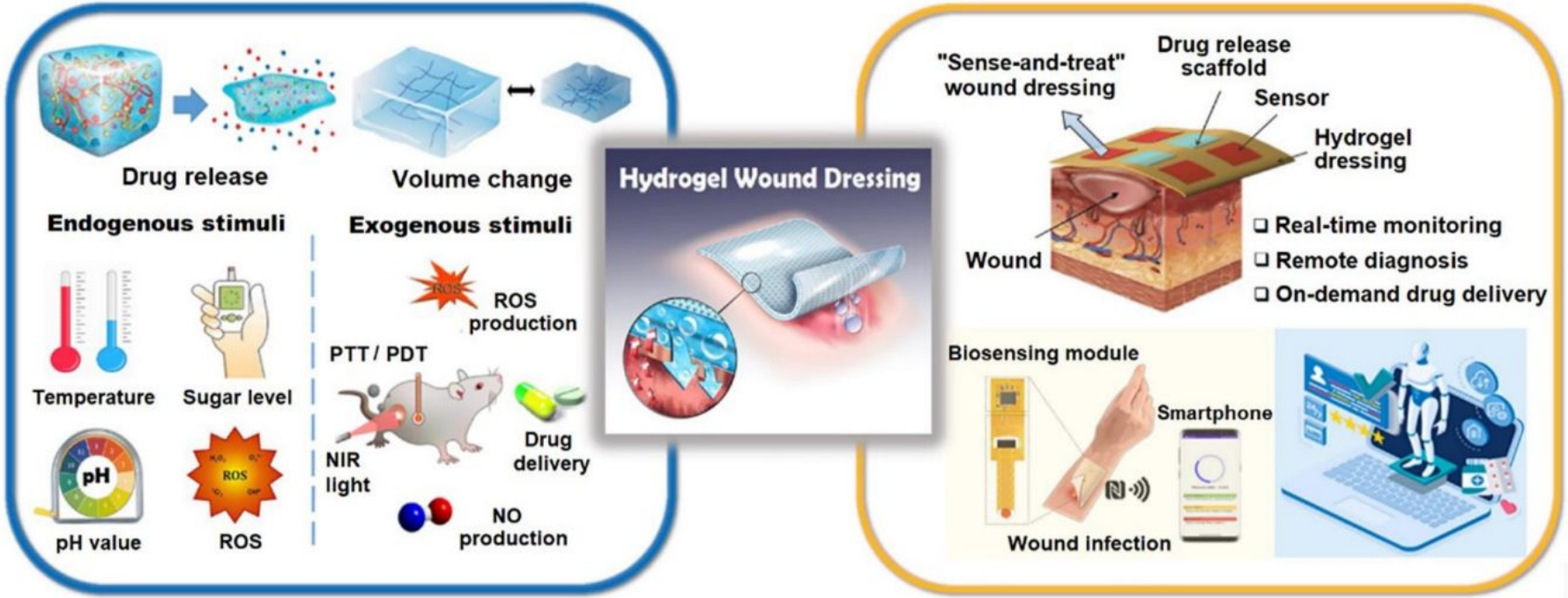




F. Sana, K. Katterbauer, T. Y. Al-Naffouri and I. Hoteit, "Orthogonal Matching Pursuit for Enhanced Recovery of Sparse Geological Structures With the Ensemble Kalman Filter," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, no. 4, pp. 1710-1724, April 2016, doi: 10.1109/JSTARS.2016.2518119.

Adrian Guel-Cortez

Ejemplo: suministro de medicamentos.



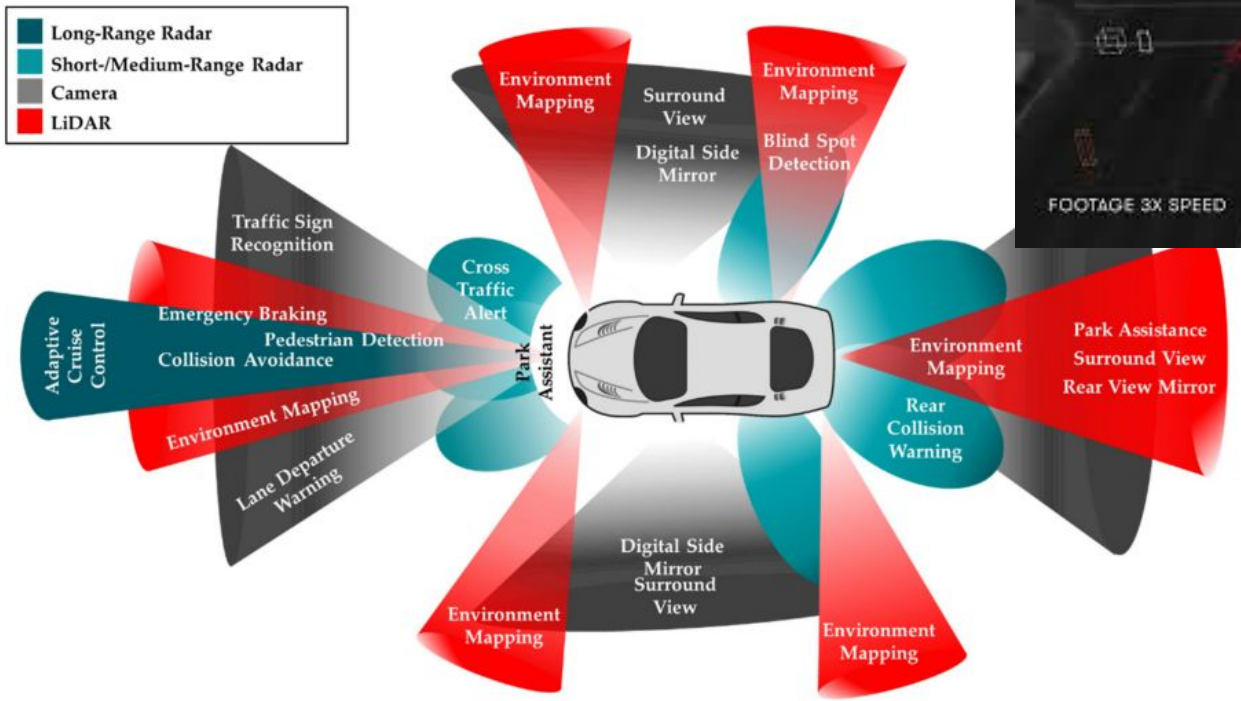
Wang, S., Wu, W. Y., Yeo, J. C. C., Soo, X. Y. D., Thitsartarn, W., Liu, S., ... & Loh, X. J. (2023). Responsive hydrogel dressings for intelligent wound management. *BMEMat*, *1*(2), e12021.

Khan, M. A., Ansari, U., & Ali, M. N. (2015). Real-time wound management through integrated pH sensors: A review. *Sensor Review*, *35*(2), 183-189.

Adrian Guel-Cortez

el inge de control

Ejemplo: fusión de sensores para sistemas autónomos.

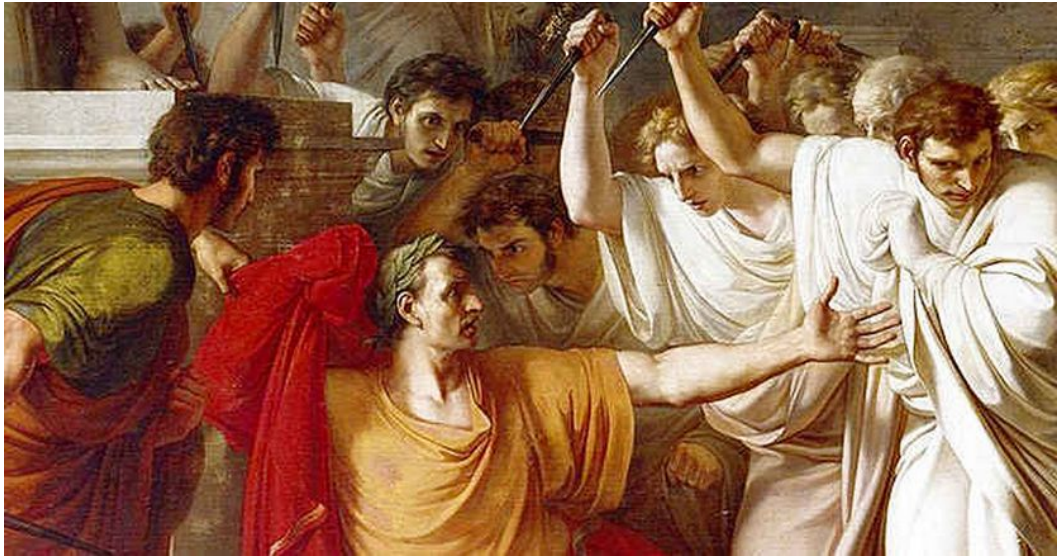


Yeong, D. J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J., & Walsh, J. (2021). Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review. *Sensors*, *21*(6), 2140.

Adrian Guel-Cortez

el inge de control

Ah, pero… ¿y en mi realidad?



The assassination of Julius Caesar

Adrian Guel-Cortez

Sector industrial: oportunidades y roles

- Empresas de **tecnología**, **manufactura avanzada**, **energías renovables,** sector **automotriz y aeroespacial**.
- Entidades gubernamentales y reguladoras (ej. **CFE, CENACE, PEMEX**, agencias de energía)

Por ejemplo, en la **industria automotriz y aeroespacial de Querétaro** hay alta demanda de ingenieros especializados en digitalización y control; a nivel nacional también el sector **de alimentos y bebidas, maquinaria y próximamente vehículos eléctricos** requieren este perfil . Un reporte de Siemens México destaca que el desafío actual es encontrar personal altamente capacitado en Industria 4.0, y estima una demanda latente **de ~4,000 ingenieros especializados** (muchos en control, mecatrónica y automatización) solo en el estado de Querétaro

INDUSTRIA 4.0

Sirse Rosas/ Querétaro en July 2019

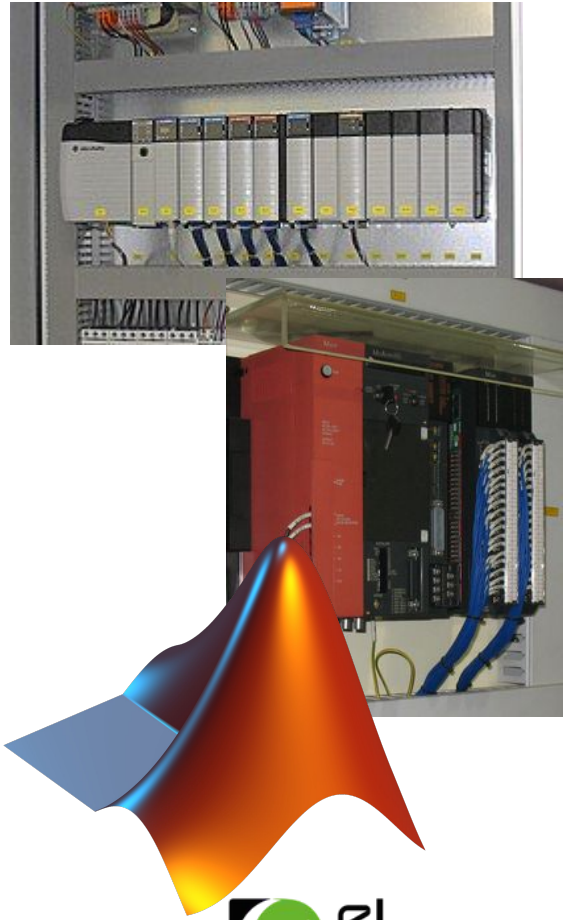
Industria 4.0 demanda personal especializado

El sector industrial en México demanda ingenieros especializ
procesos propios de la Industria 4.0, registrando nada más e
erétaro, una demanda latente de 4 mil ingenieros.

el inge de control

¿Qué tecnologías usamos en México?

- **En cuanto al hardware**, la columna vertebral de la automatización industrial en México (y globalmente) son los controladores lógicos programables (PLC).
- **Sistemas SCADA/HMI** (Supervisory Control and Data Acquisition) para la supervisión y control a nivel de planta, permitiendo a los ingenieros monitorear procesos y ajustar parámetros desde pantallas gráficas.
- **MATLAB/Simulink.** En el sector automotriz.
- En la práctica industrial mexicana, al igual que a nivel mundial, **predominan los algoritmos clásicos** de control en lazo cerrado. El más importante y ubicuo es el controlador PID (Proporcional–Integral–Derivativo), debido a su eficacia y simplicidad para regular infinidad de procesos.



el inge de control

Adrian Guel-Cortez

¿Y la tecnología especializada?

En el sector minero se reporta que aún cerca del 75% de las plantas utilizan estrategias básicas de control, pero soluciones modernas de **MPC** (como la plataforma Pavilion8® de Rockwell) están introduciéndose para optimizar molienda, flotación y otros procesos complejos.

Control Adaptativo - SORALUCE

Mejore el rendimiento de la aplicación con control adaptativo | Rockwell Automation

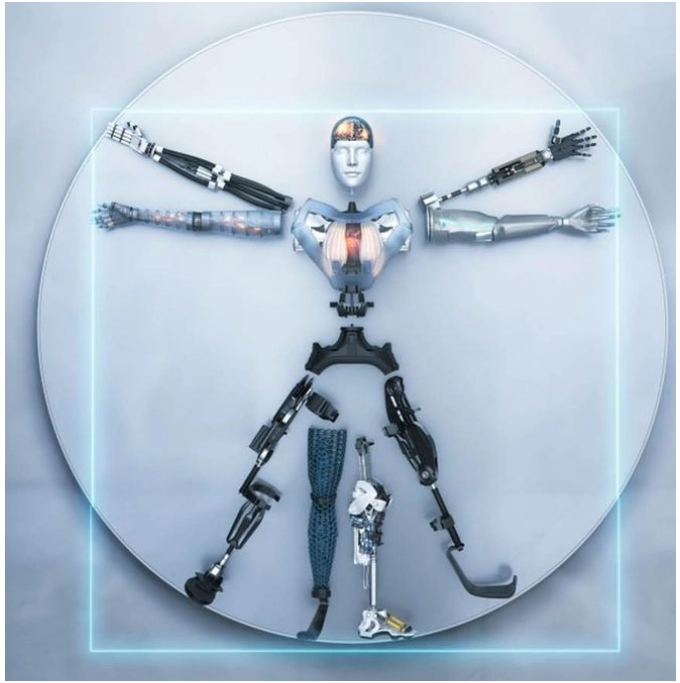
Esto no es exclusivo de México, sino una realidad global: por ejemplo, expertos señalan que **ninguno de los enfoques avanzados (no lineal, robusto, adaptativo puro) se usa rutinariamente en la industria**, salvo en casos puntuales o integrados de manera indirecta en productos comerciales

	Current Impact	Future Impact
Control Technology	%High	%High
PID control	91%	78%
System Identification	65%	72%
Estimation and filtering	64%	63%
Model-predictive control	62%	85%
Process data analytics	51%	70%
Fault detection and identification	48%	78%
Decentralized and/or coordinated control	29%	54%
Robust control	26%	42%
Intelligent control	24%	59%
Discrete-event systems	24%	39%
Nonlinear control	21%	42%
Adaptive control	18%	44%
Repetitive control	12%	17%
Hybrid dynamical systems	11%	33%
Other advanced control technology	11%	25%
Game theory	5%	17%

T. Samad et al. (2020). Industry engagement with control research: Perspective and messages. Annual Reviews in Control, 49, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.03.002

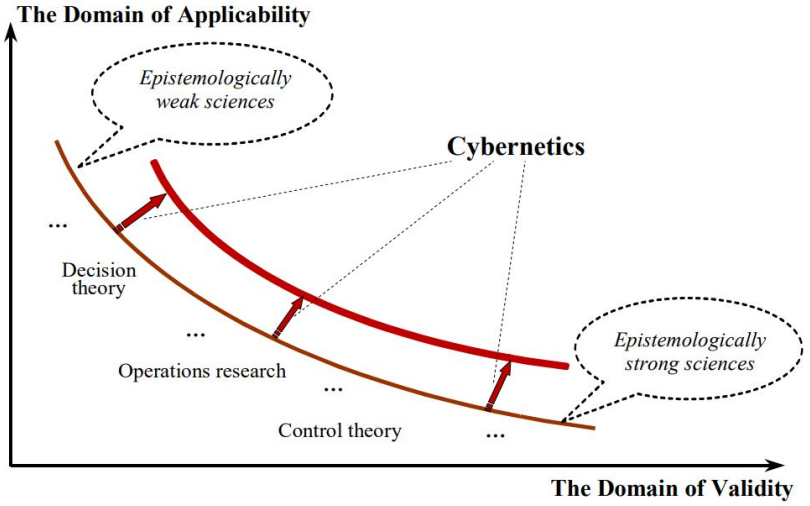
T. Samad (2017). A Survey on Industry Impact and Challenges Thereof. IEEE Control Systems Magazine, February 2017. DOI: 10.1109/MCS.2016.2621438

¿Qué podemos hacer?



Proyectar desde una visión cibernética.

Cibernética como una rama de la ciencia del control que generaliza los métodos y resultados de la resolución de problemas **teóricos de control**.



"No solo máquinas, sino también procesos."

Adrian Guel-Cortez

el inge de control

Ejemplo: Distribución de agua

OPTIMIZACIÓN DEL REPARTO DE AGUA EN PIPAS

con Restricciones Temporales,
de Almacenamiento y Equidad

https://github.com/AdrianGuel/WaterTruckDelivery

CANAL 7 SLP.TV

TV EN VIVO | PROGRAMACIÓN | COBERTURA | NOTICIAS | PRODUCCIONES | ENTREVIS

COMPARTIR | DESTACADAS | GOBEDOSLP | LOCALES Y REGIONALES

Gastan 116 mdp en 40 pipas para arrancar con programa de distribución de agua gratuita en SLP

el inge de control

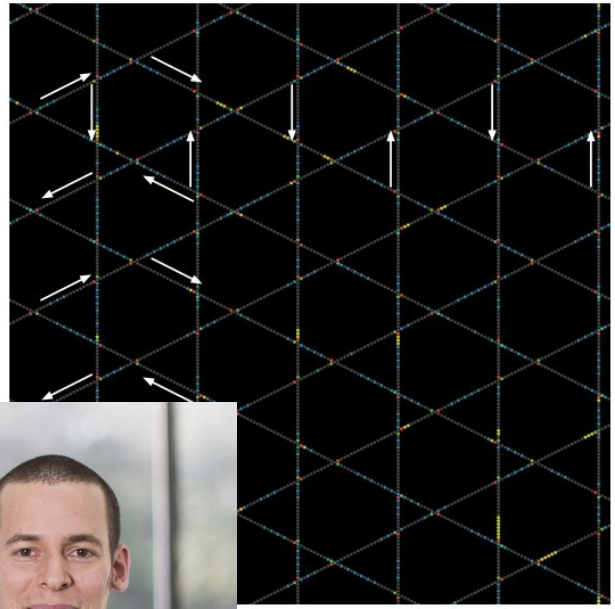
Adrian Guel-Cortez

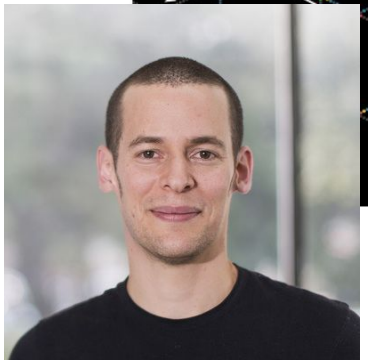
Semáforos auto-organizables (CDMX)

Un desarrollo del Dr. Carlos Gershenson (Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas, UNAM) propone gestionar el tráfico urbano **mediante principios de autoorganización inspirados en sistemas biológicos**. En 2014 su equipo dio a conocer un sistema de semáforos inteligentes capaces de “decidir” el alto o siga en tiempo real según el flujo local de vehículos, en lugar de seguir ciclos fijos . El algoritmo consta de seis reglas sencillas y fue validado con simulaciones por computadora, mostrando potencial para agilizar significativamente el tránsito en zonas congestionadas . De hecho, sistemas similares de semáforos adaptativos ya se han implementado en ciudades como Bruselas y Nueva York, con resultados positivos. En México, Gershenson estima que su aplicación podría ahorrar el equivalente a la gasolina consumida por diez líneas de Metrobús (reduciendo tiempos de espera y emisiones).

Situación: aunque técnicamente listo, el proyecto no se ha piloteado aún en la ciudad por trabas burocrático-políticas, ilustrando las dificultades de implementar innovaciones algorítmicas en la gestión pública.

No obstante, permanece como referente de gobernanza algorítmica, demostrando cómo reglas cibernéticas sencillas pueden coordinar un sistema complejo (tráfico) mejor que controles centralizados rígidos.





GERSHENSON, Carlos; ROSENBLUETH, David A. Self-organizing traffic lights at multiple-street intersections. *Complexity*, 2012, vol. 17, no 4, p. 23-39.

Adrian Guel-Cortez

el inge de control

Análisis de datos y detección algorítmica de corrupción

Con el auge de la política de gobierno abierto en la última década, surgieron en México herramientas para la toma de decisiones públicas basadas en analítica de datos masivos. **Un ejemplo es OPI Analytics,** desarrollaron una plataforma llamada Arquímedes que concentra más de 10 mil variables socioeconómicas (datos públicos y privados) y permite hacer modelos predictivos.

Aplicación concreta: **OPI creó algoritmos de machine learning para, por ejemplo, detectar patrones de posible corrupción en compras públicas.** Al cruzar datos financieros, de contratos y comportamientos anómalos, el software señala riesgos y provee “información accionable” a las instituciones.

Aunque con el tiempo la empresa diversificó a clientes privados, este caso ilustra un proyecto nacido para impulsar decisiones gubernamentales basadas en evidencia y algoritmos. **De hecho, el Gobierno de la Ciudad de México fue su primer cliente en proyectos de apertura de datos.**

Alejandro Maza

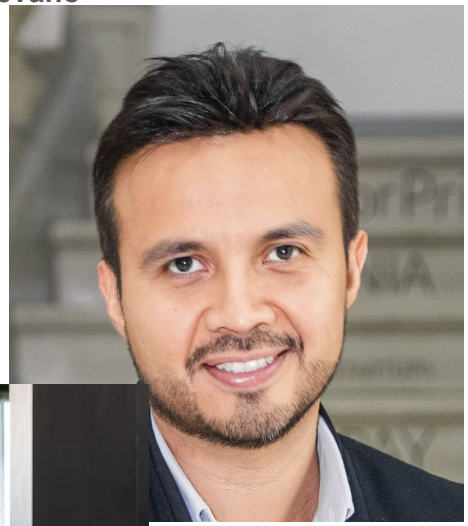
Adrian Guel-Cortez

Crear o ser parte de pequeños proyectos.

Adrian Guel-Cortez

Roomie (Ciudad de México)

Aldo Luévano



Fundada en 2014 por **Aldo Luévano**, esta empresa desarrolló el **Roomie Bot, el primer robot humanoide comercial 100% mexicano**.

El Roomie Bot funciona como asistente personal autónomo para tareas del hogar, orientado a personas mayores o con discapacidad . Incorpora inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural para entender instrucciones y conectarse con dispositivos inteligentes de salud. **Roomie inició ofreciendo software de IA en la nube para financiar su I+D, y luego construyó el robot con apoyo de investigadores de la Universidad La Salle**.

La compañía fue reconocida por MIT Technology Review entre las más innovadoras de Latinoamérica en 2018 , y ha presentado sus robots en eventos internacionales (CES de Las Vegas, etc.).

INDI Ingeniería y Diseño (Monterrey, N.L.)

Startup de base tecnológica fundada en 2012 por **Jesús Tamez-Duque** (ingeniero en innovación y desarrollo, Tec de Monterrey) a sus 21 años.

INDI se especializa en interfaces humano-máquina y robótica para rehabilitación, con su producto estrella: exoesqueletos robóticos que ayudan a pacientes con parálisis a volver a caminar.

Aplicando principios de control dinámico, biomecánica y retroalimentación sensorial, diseñaron el exoesqueleto pediátrico abierto ALICE. **Han validado sus prototipos con pacientes en colaboración con hospitales (DIF Durango, centros Teletón).**

INDI ha expandido operaciones a Francia y colabora con universidades (Tec de Monterrey, Univ. Houston, Mines Saint-Étienne) para llevar innovaciones del laboratorio al mercado.

Robot Dental (Ciudad de México)

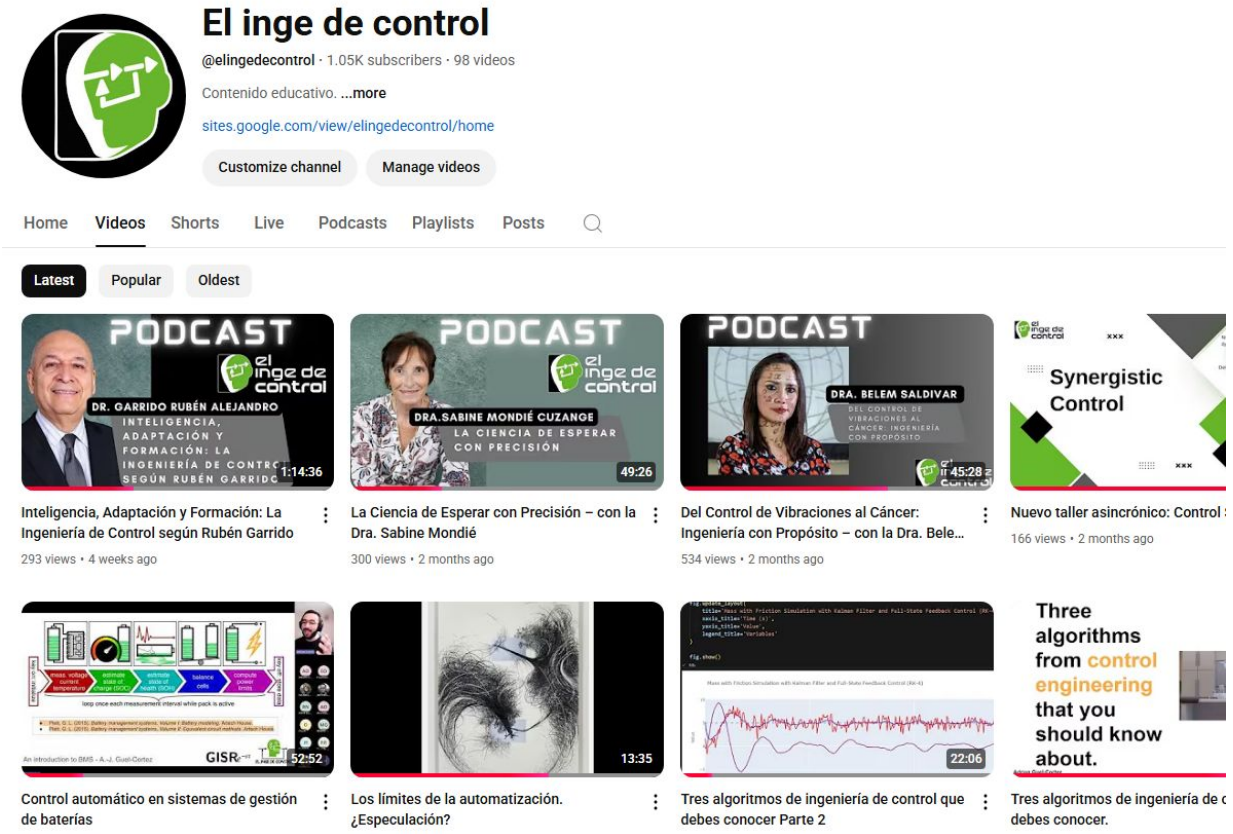
Alfredo Gilbert

Startup fundada por el Dr. Alfredo Gilbert, ortodoncista e investigador, que integró la robótica y la IA al campo odontológico. Desarrollaron Verdopplerbot AI, un sistema robótico patentado que automatiza el diseño y manufactura de alambres de ortodoncia lingual mediante algoritmos de control numérico e inteligencia artificial. **Este “robot ortodoncista” forma parte de una plataforma de realidad mixta educativa, revolucionando la enseñanza de ortodoncia al permitir simular tratamientos de forma precisa**.

Incubada por InnovaUNAM, Robot Dental ha logrado patentes en México y EUA y colaboración con instituciones como la Academia Mexicana de Ortodoncia Lingual (AMOL), que preside el Dr. Gilbert .

Una propuesta en crecimiento:

1. Comunidad.
2. Capacitación.
3. Desarrollo.



el inge de control

Adrian Guel-Cortez

Primer Simposio de Educación en Control Automático

https://sites.google.com/view/iseca

$$\mathscr{L}^{-1}\left[se^{-st}c(a)\right]$$

$$\mathbf{GISR}e^{-s\tau}$$

Día 1 – Viernes 5 de septiembre

Hora	Actividad
10:00–10:15	**Bienvenida e inauguración oficial del Simposio**
10:15–11:15	**Ponencia Magistral 1** Pablo Borja (University of Plymouth) *"Notas interactivas para la enseñanza de teoría de control"*
11:15–11:35	**"Cómputo Evolutivo en Sistemas de Control: Selección, Diseño y Configuración de Algoritmos"** Jorge M. Cruz-Duarte *Université de Lille*
11:35–11:55	**"Entornos de simulación de vehículos aéreos para la enseñanza de sistemas de control"** Antonio Flores. Universidad aeronáutica en Querétaro
11:55–12:15	**"Control de un sistema subactuado: aprendizajes obtenidos"** Daniel Librado Martínez Vázquez, UAM Lerma.
12:15–12:35	**"Cómo participar en el mercado mexicano de la automatización"** Rodrigo Baptista (Enlaces Industriales Mexicanos S.A. de C.V.)
12:35–13:05	**"Sintonización de controladores PID. Enfoques prácticos y basados en modelo."** Ruben Alejandro Garrido Moctezuma (Cinvestav Zacatenco)
13:05–14:00	**Foro abierto** "Impacto de la Ingeniería de Control en México: Tecnologías y Algoritmos en la Última Década"
14:00–15:30	**Taller 1** Ricardo Balcazar *"Control en Industria 4.0"*
15:40–16:00	**"Diseño de sistemas de control digital con microcontroladores": metodologías y herramientas.** Miguel Ángel Pérez Ávila (UACM)
16:00–16:20	**"Perspectiva conceptual e histórica de la cibernética de segundo orden."** Silvino Kazim (IDC)

Día 2 – Sábado 6 de septiembre

Hora	Actividad
10:00–10:10	**Apertura del segundo día**
10:10–11:00	**Ponencia Magistral 2** César-Fernando Méndez-Barrios (UASLP) *"Desafíos y oportunidades en la enseñanza de la ingeniería de control"*
11:00–11:20	**Gemelos Digitales de Robots aplicados a educación y procesos de aprendizaje** Marcelo Ortiz MBA (Artil Robotics)
11:20–11:40	**Diseño de compensadores usando Live scripts de MATLAB** Oscar Martínez Fuentes (INAOE)
11:40–12:00	**Diseño de Sistemas de Control Basado en Modelo** Christian Alejandro Trejo Ramos (SDyC)
12:00–12:15	**Receso**
12:15–13:30	**Taller 2** Daniel F. Zambrano-Gutiérrez *"Diseño Evolutivo de Controladores PID: Hacia Algoritmos Personalizados para Sistemas de Control"*
13:30–14:15	**Foro abierto** "Panorama laboral para doctores en teoría/ingeniería de control en México"
14:15–15:00	**"Plataformas robóticas especializadas para la educación en niveles avanzados universitarios: Tendencias, aplicaciones y desafíos"** Francisco Xavier Yumbla Arévalo (ESPOL)
15:00–15:30	**"Tecnología de acceso abierto para la enseñanza de la teoría de control elemental"** Adrian Guel (IDC)
15:30–15:50	**Palabras de cierre y agradecimientos**

UNAQ
Universidad Aeronáutica en Querétaro

FACULTAD DE INGENIERÍA

el inge de control

Gracias!

https://medium.com/@elingedecontrol
https://www.youtube.com/@elingedecontrol

el inge de control

Adrian Guel-Cortez