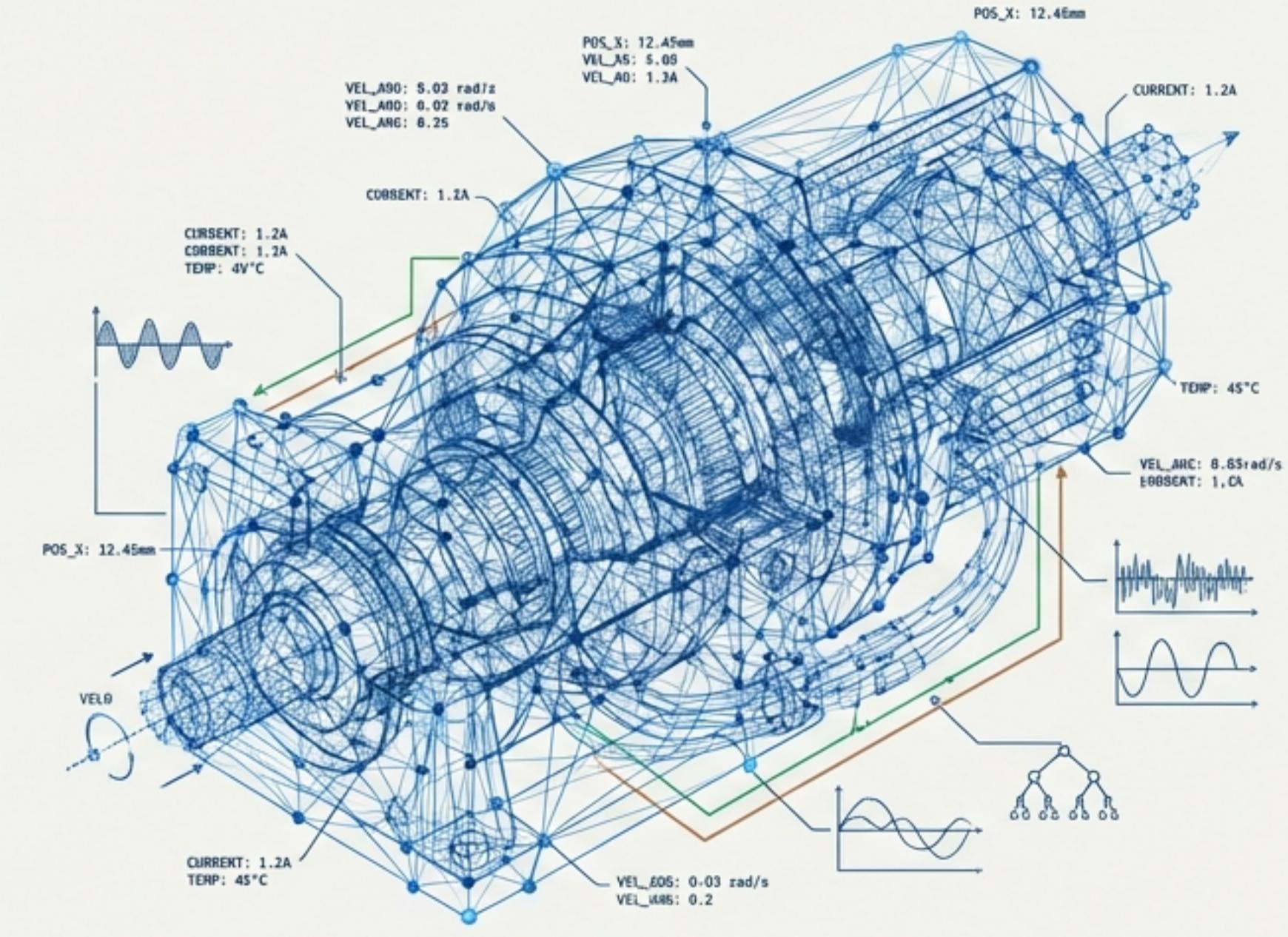
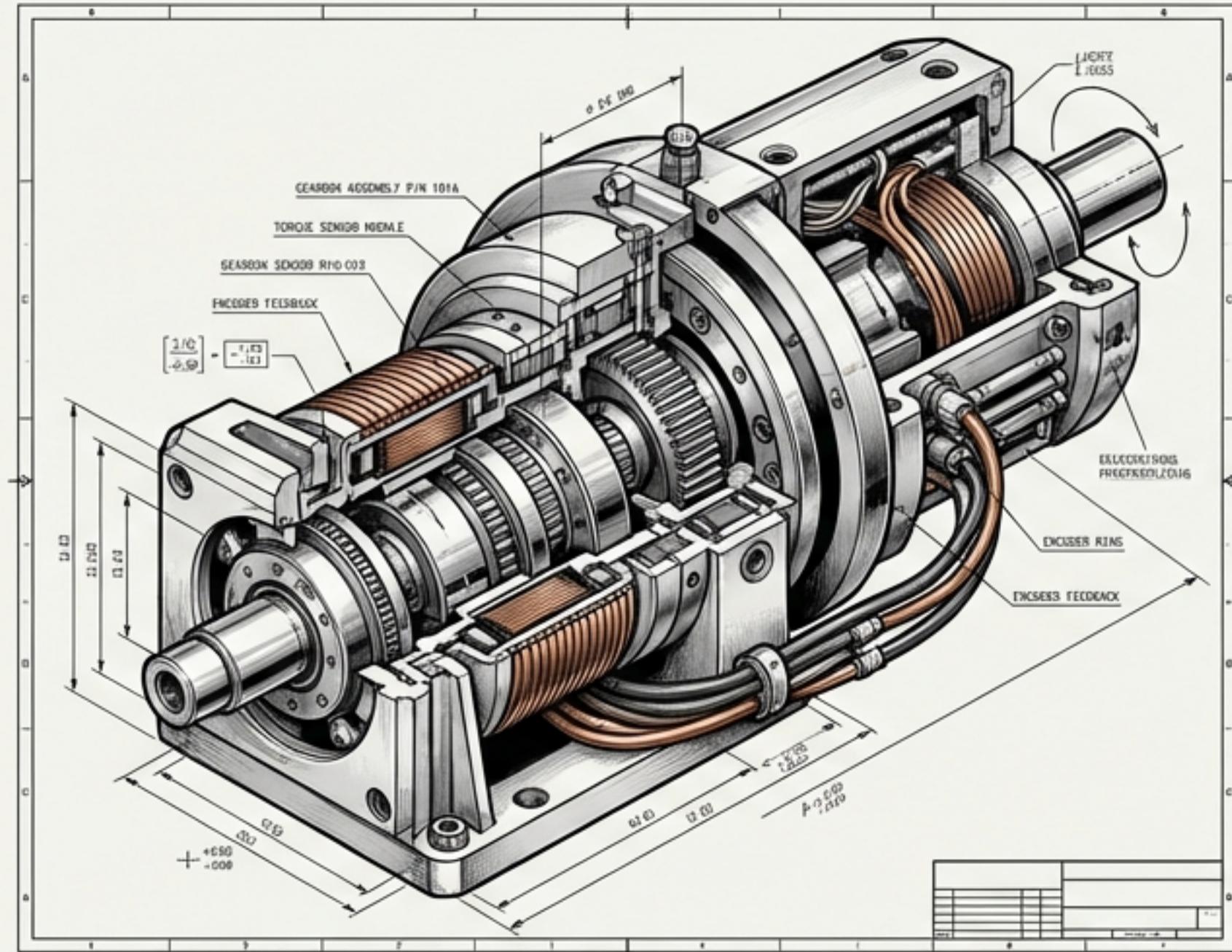


Robótica: De la Máquina al Agente Inteligente

Una exploración de la anatomía, percepción y decisión en agentes físicos.



DIGITAL TWIN: REAL-TIME DATA VISUALIZATION // SENSOR FUSION // PREDICTIVE MODELING

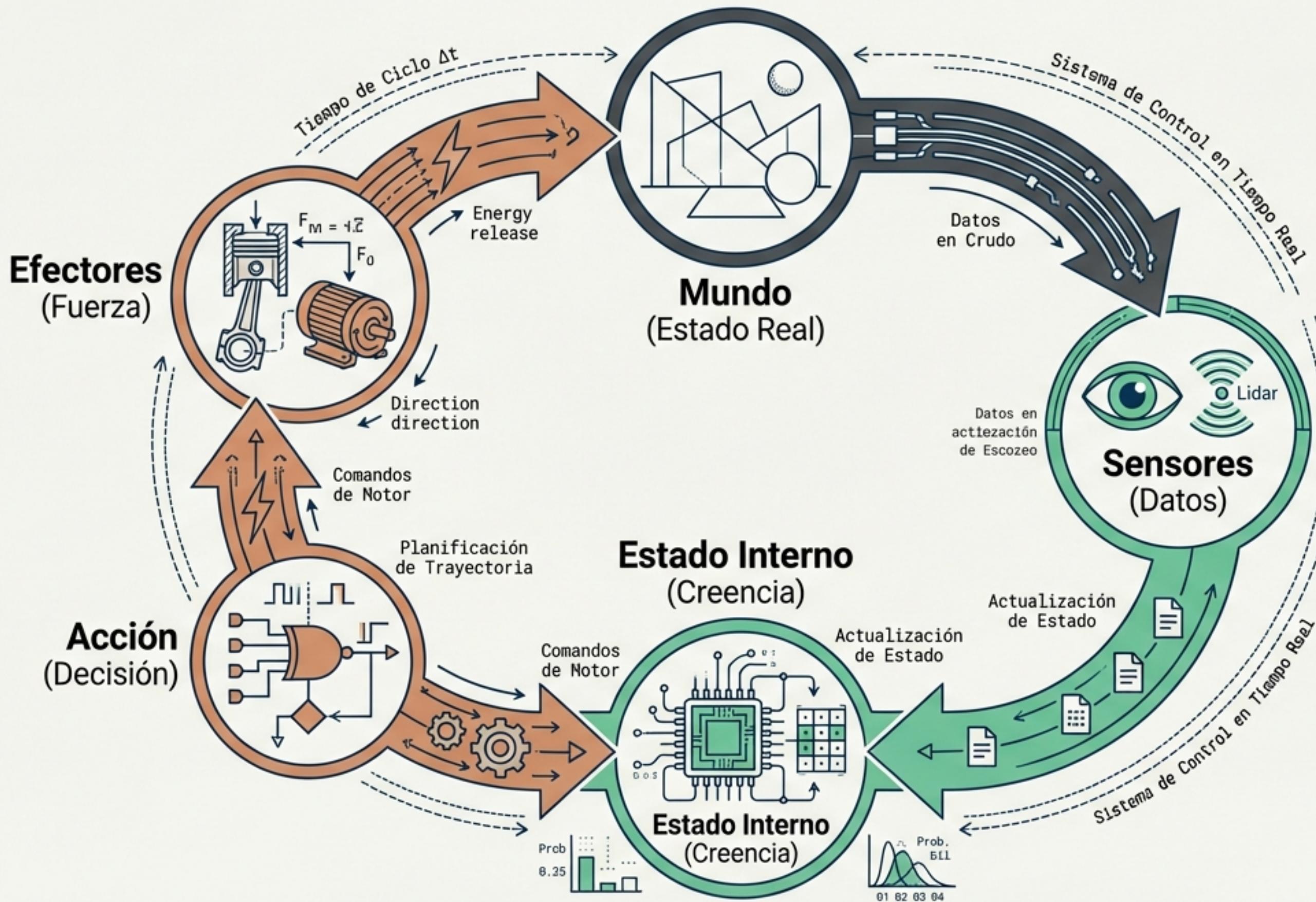
DEFINICIÓN

Los robots son agentes físicos que manipulan el mundo mediante sensores (percepción) y efectores (acción).

EL RETO

A diferencia del software puro, la robótica opera en el mundo real: parcialmente observable, estocástico y atado al tiempo real.

El Bucle Fundamental: Sentir, Planificar, Actuar



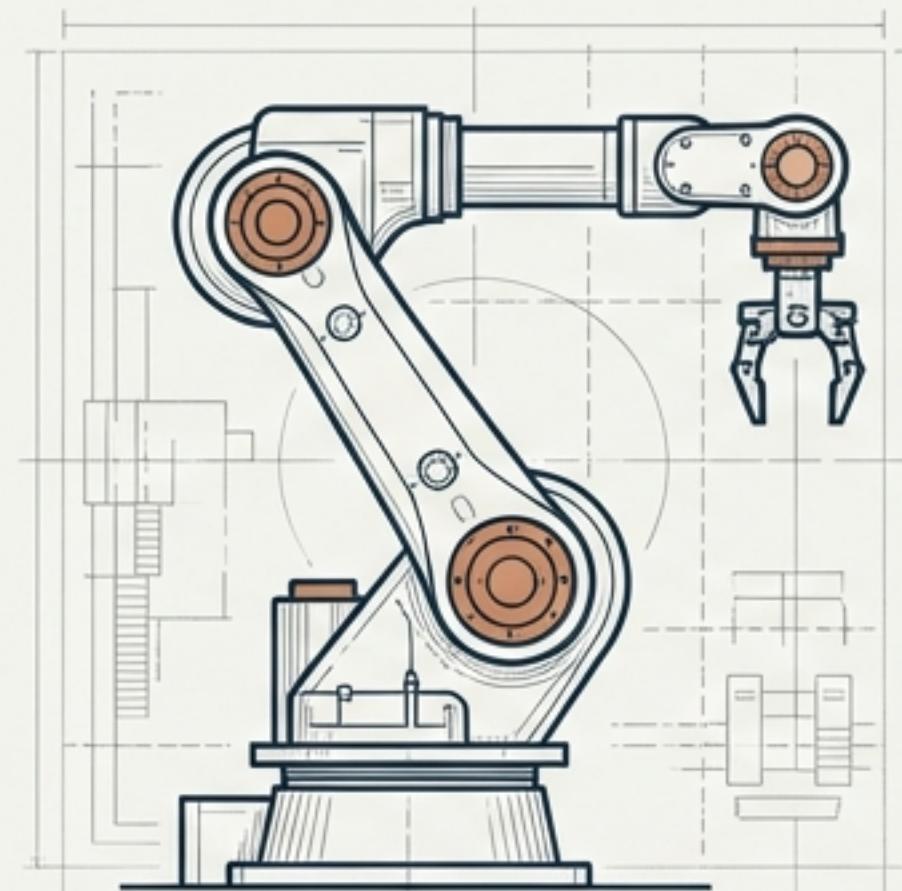
EL OBJETIVO

Maximizar la utilidad esperada. Elegir corrientes eléctricas para ejercer fuerzas físicas que resulten en la mayor recompensa.

LA REALIDAD

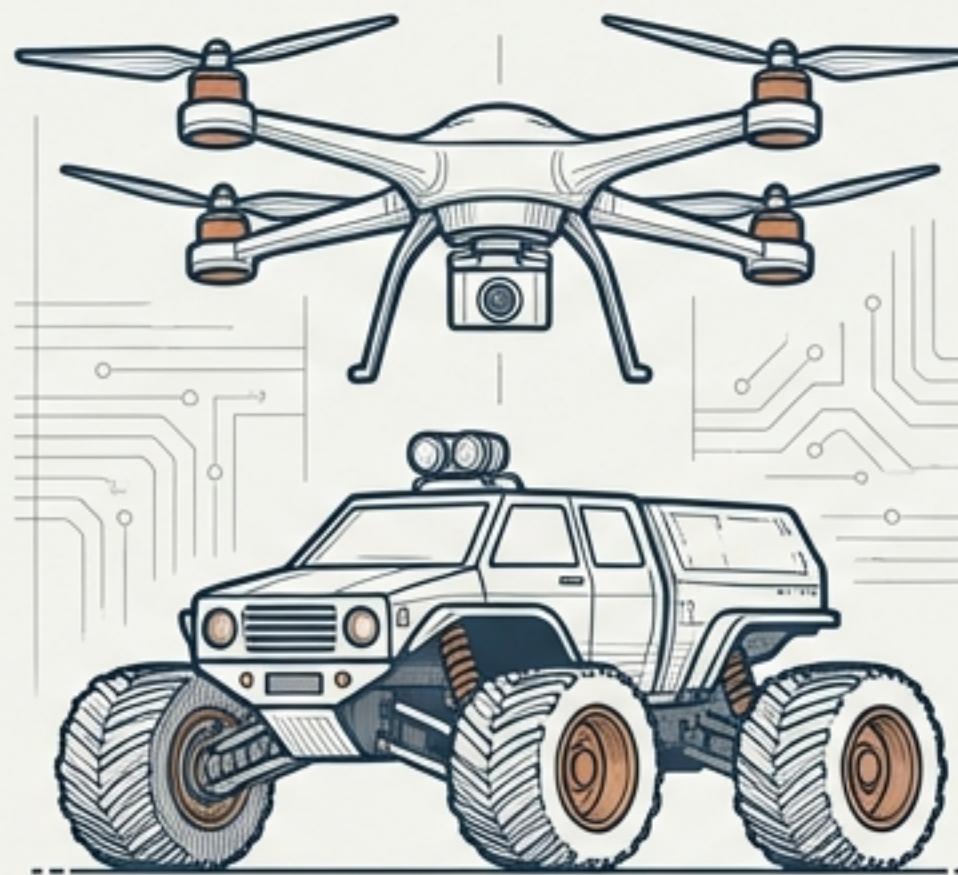
- **Estado Continuo:** Coordenadas (x, y, θ) 
- **Espacio de Acción:** Voltaje continuo 
- **Incertidumbre:** Ruido en sensores, patinaje de ruedas 

La Encarnación: Anatomía del Movimiento



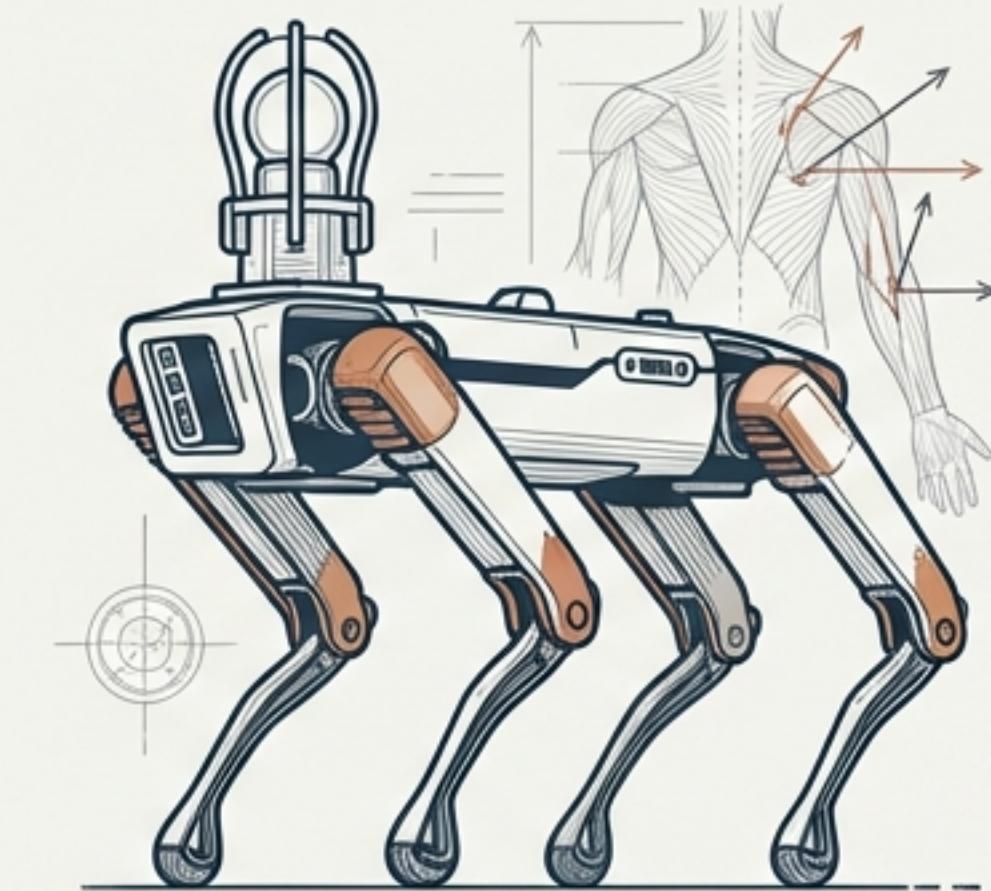
Manipuladores (Fijos)

Articulaciones de revolución o prismáticas. Alta precisión.



Móviles (UAVs / Rovers)

Ruedas para eficiencia.
Hélices para libertad 3D.



Patas (Terreno Irregular)

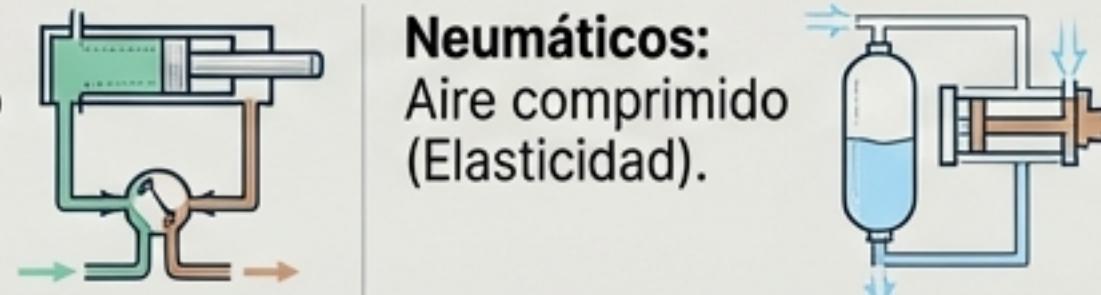
Control complejo para equilibrio dinámico.

ACTUADORES Y EFECTORES

Eléctricos:
Motores rotacionales (Estándar).



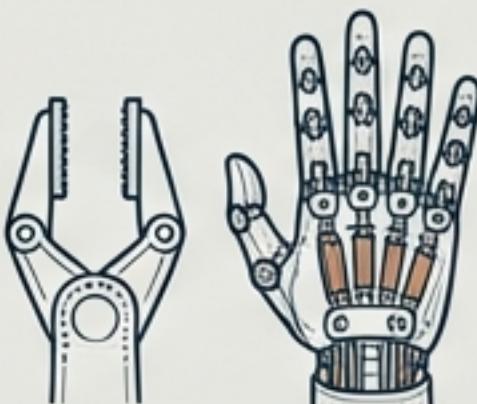
Hidráulicos:
Fluido presurizado (Alta Potencia).



Neumáticos:
Aire comprimido (Elasticidad).



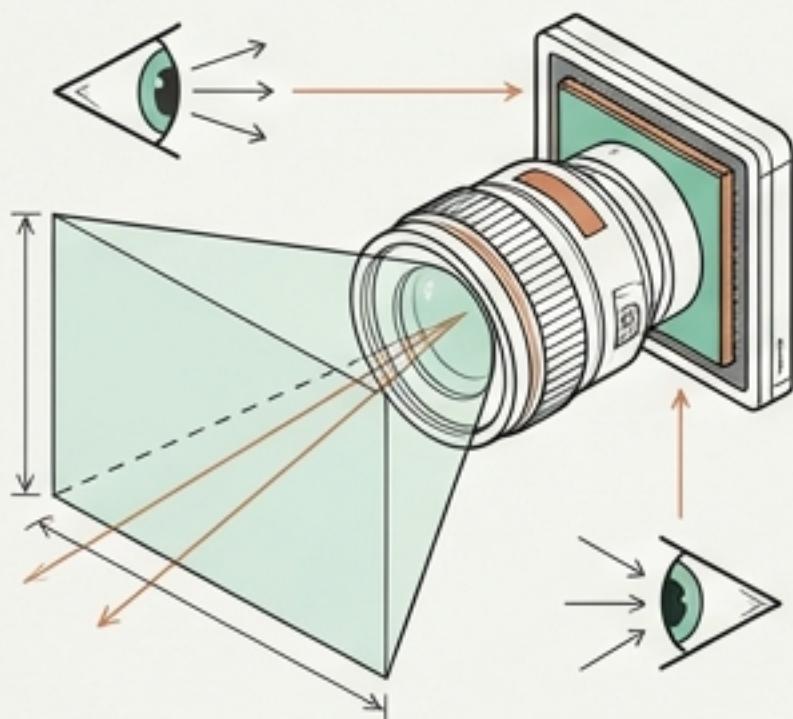
Manos: Desde pinzas paralelas (2 dedos) hasta manos antropomórficas (20+ actuadores).



Percibiendo el Mundo: La Interfaz Sensorial

IBM Plex Mono

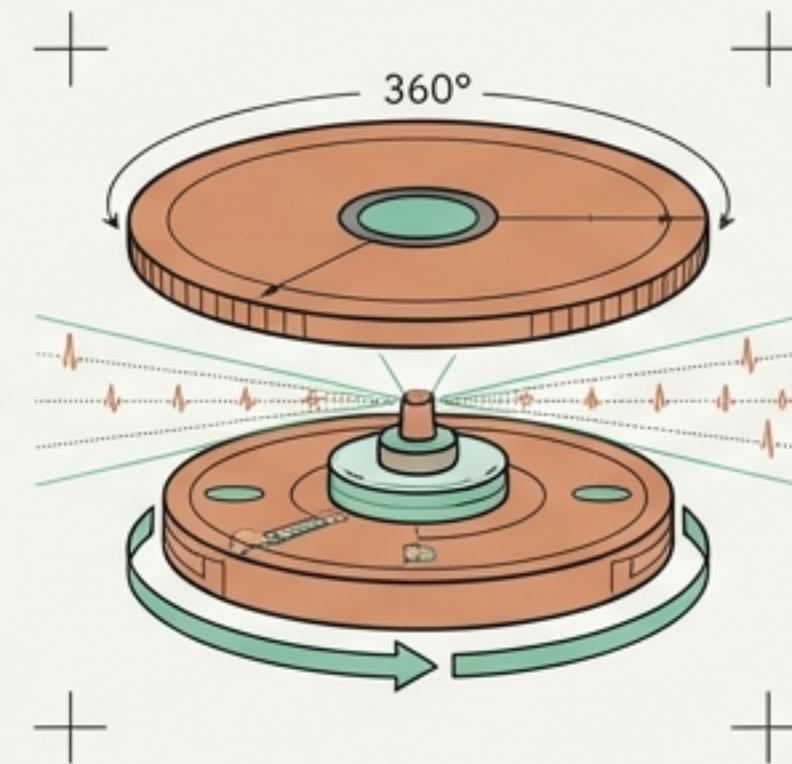
Sensores Pasivos (Cámaras)



Observadores verdaderos.
Dependen de luz externa.
Datos ricos (color/textura)
pero sin profundidad directa.

IBM Plex Mono

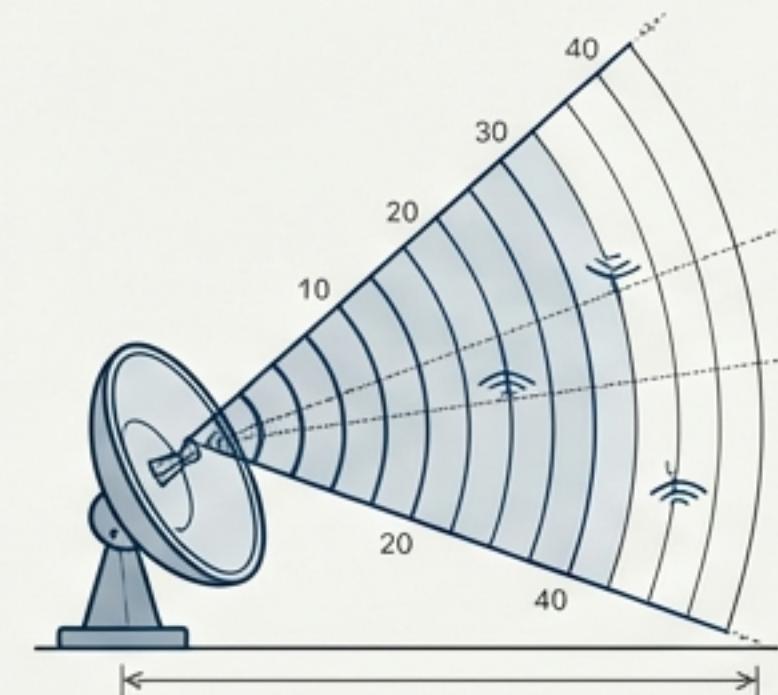
Sensores Activos (Lidar/Sonar)



Emiten energía y miden el
reflejo. Consumen más energía.
Lidar: Precisión cm a 100m
(Nubes de puntos).

IBM Plex Mono

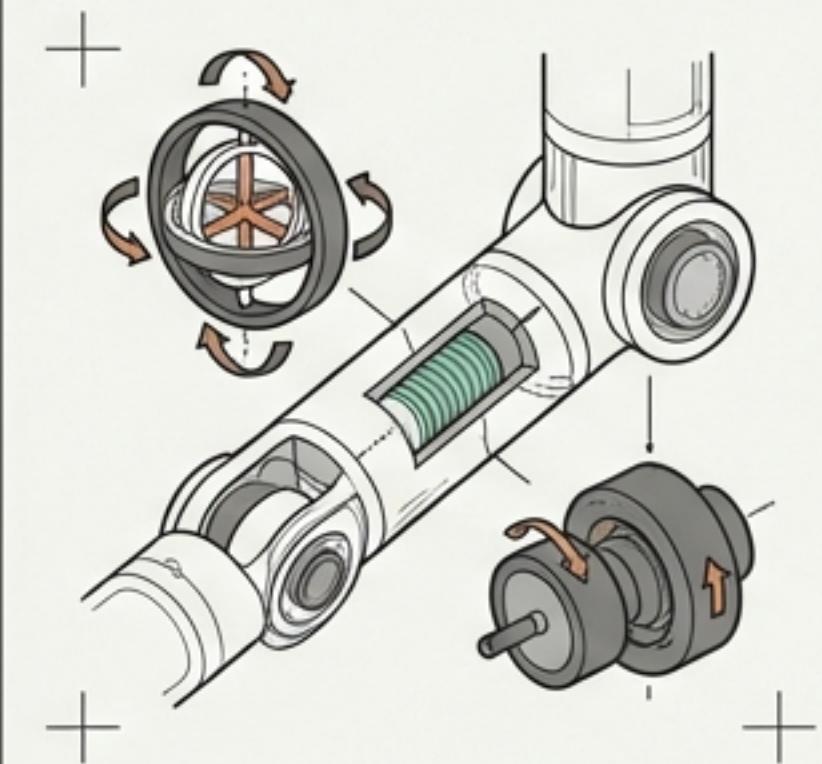
Radar



Baja resolución, pero ve a
través de niebla. Alcance km.

IBM Plex Mono

Propiocepción



Sentir el cuerpo. IMUs
(Giroscopios), sensores de
par y fuerza.



Dato Clave: Las cámaras de Tiempo de Vuelo (ToF) cierran la
brecha entregando imágenes de profundidad a 60fps.

Localización: El Arte de Saber Dónde Estás

El Problema:

La odometría acumula error. El GPS no funciona en interiores.

Filtro de Kalman:

Modela la posición como una única creencia Gaussiana.

MCL (Monte Carlo):

Nube de partículas. Las partículas sobreviven si coinciden con los sensores, mueren si no.

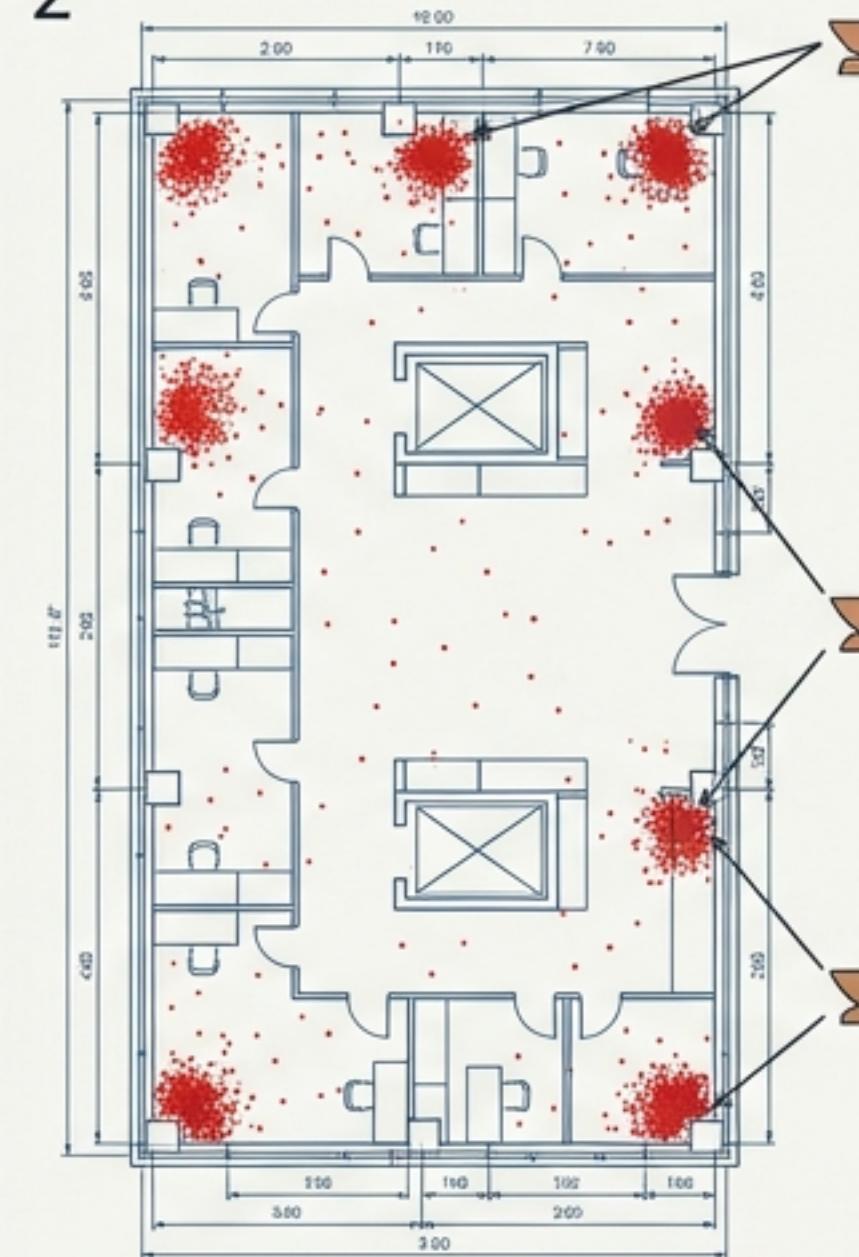
SLAM:

(Simultaneous Localization and Mapping). Construir el mapa mientras se navega por él.

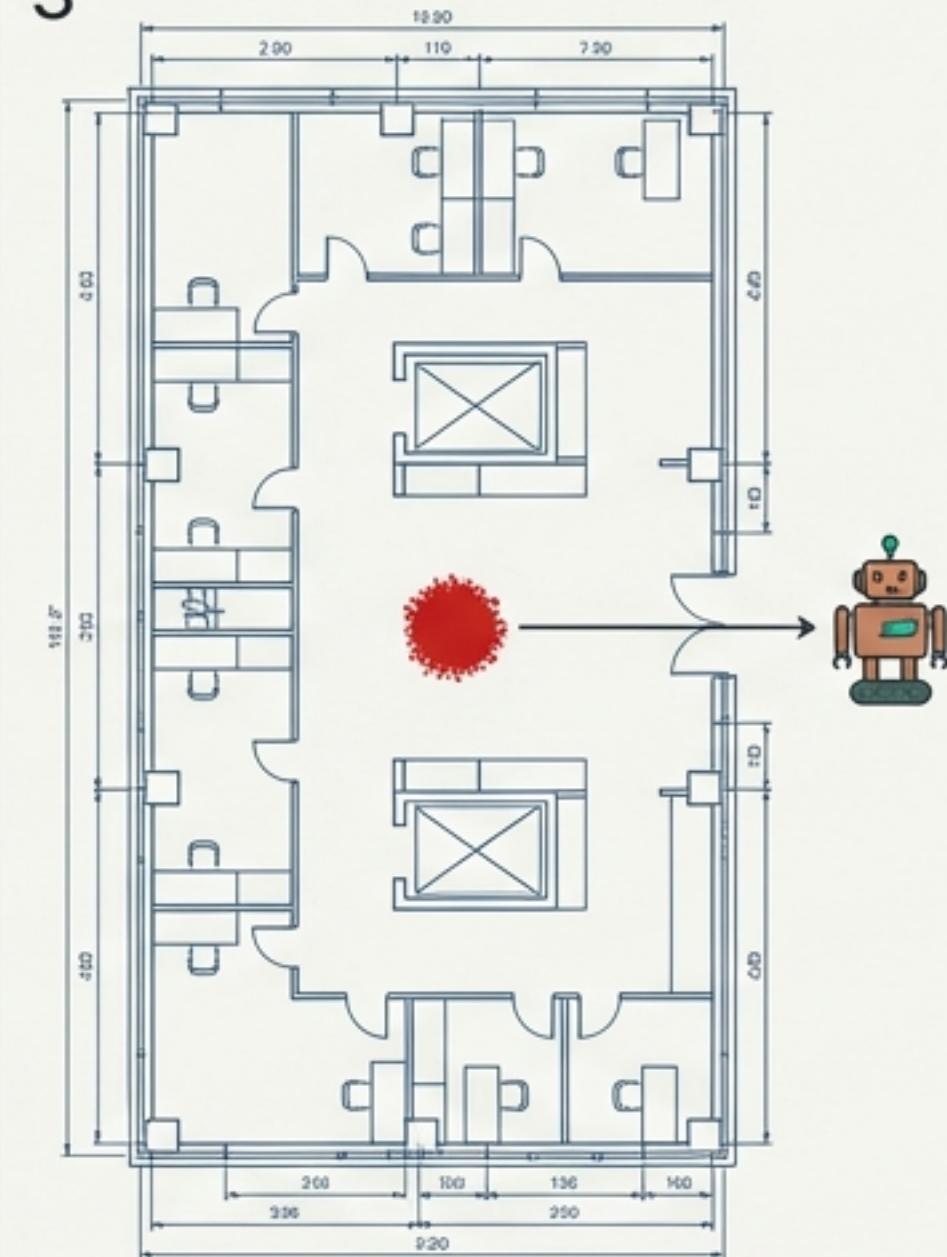
1



2



3



t=0: Incertidumbre Global

t=1: Observación de Sensores

t=n: Convergencia

Arquitectura de Software: La Pirámide de Decisión



Navegando el Espacio de Configuración (C-Space)

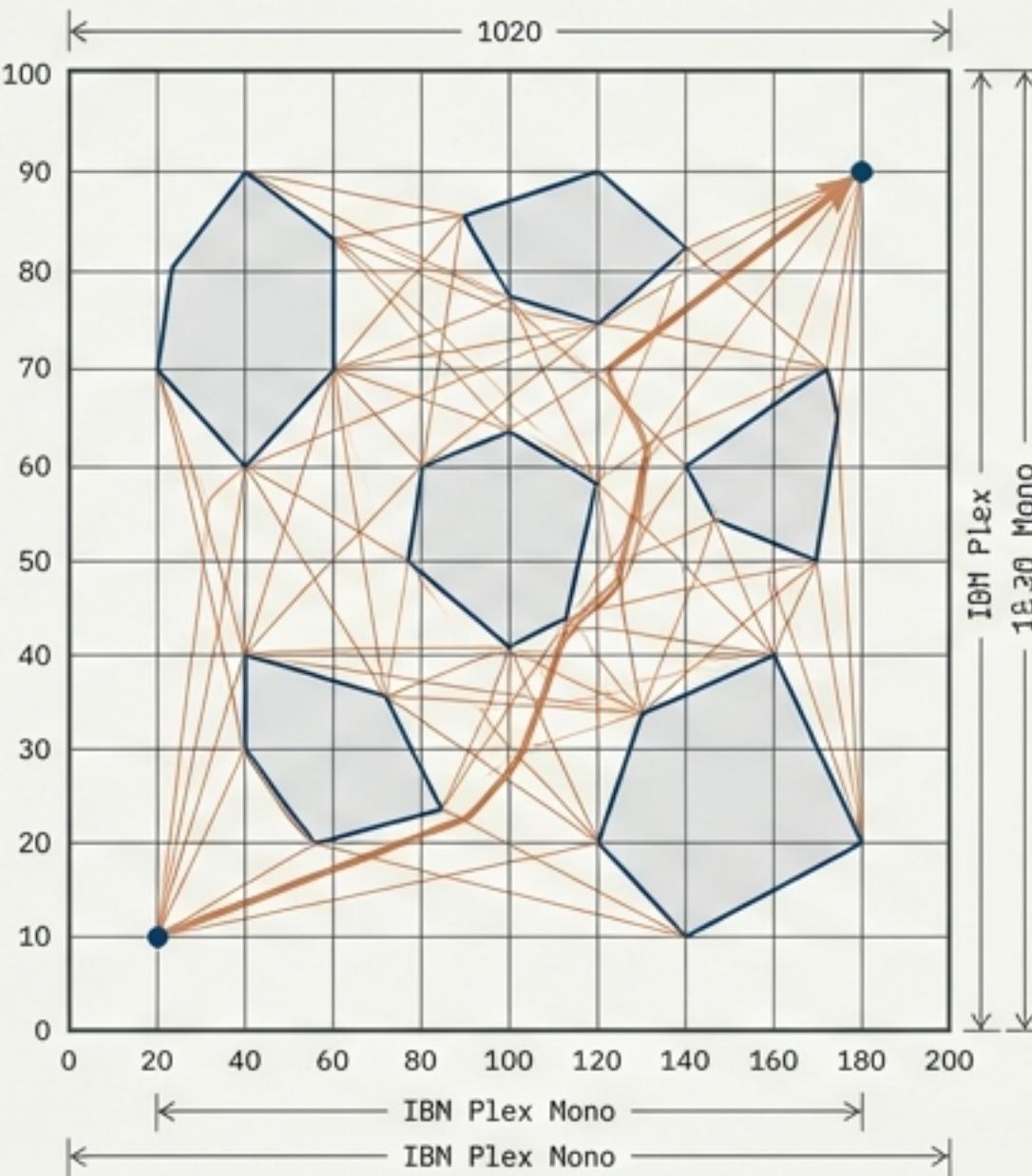
****Espacio de Configuración**:**

Un espacio abstracto donde el robot (con volumen) se reduce a un punto único. Simplifica el problema. Simplifica el problema.

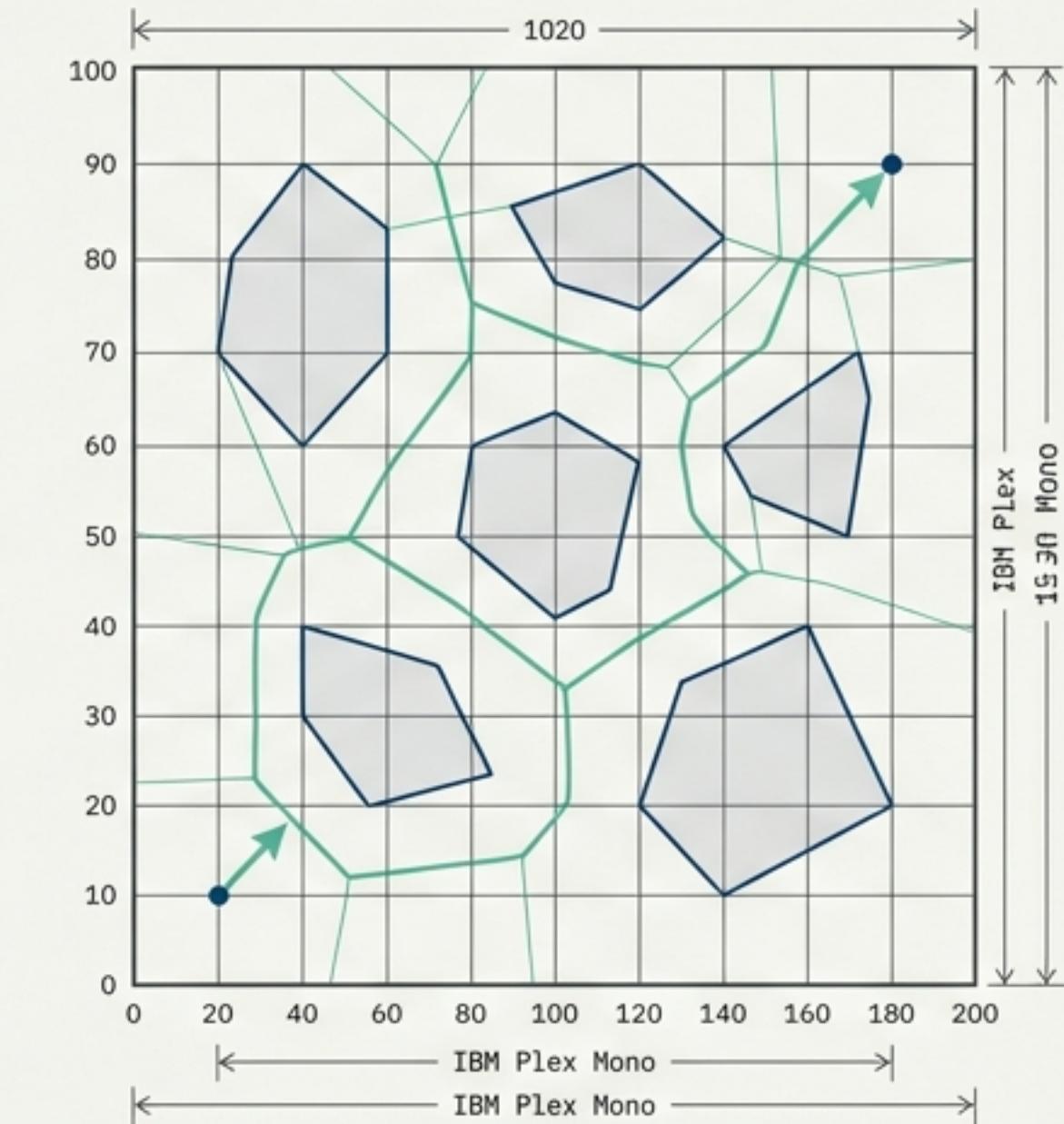
****Métodos Deterministas**:**

1. ****Gráficos de Visibilidad****: Optimizan la distancia, rozan los obstáculos.
2. ****Diagramas de Voronoi****: Maximizan la seguridad, se mantienen lejos de los obstáculos.
3. ****Descomposición Celular****: Divide el espacio libre en una cuadricula navegable.

**Gráfico de Visibilidad
(Camino más corto / Peligroso)**

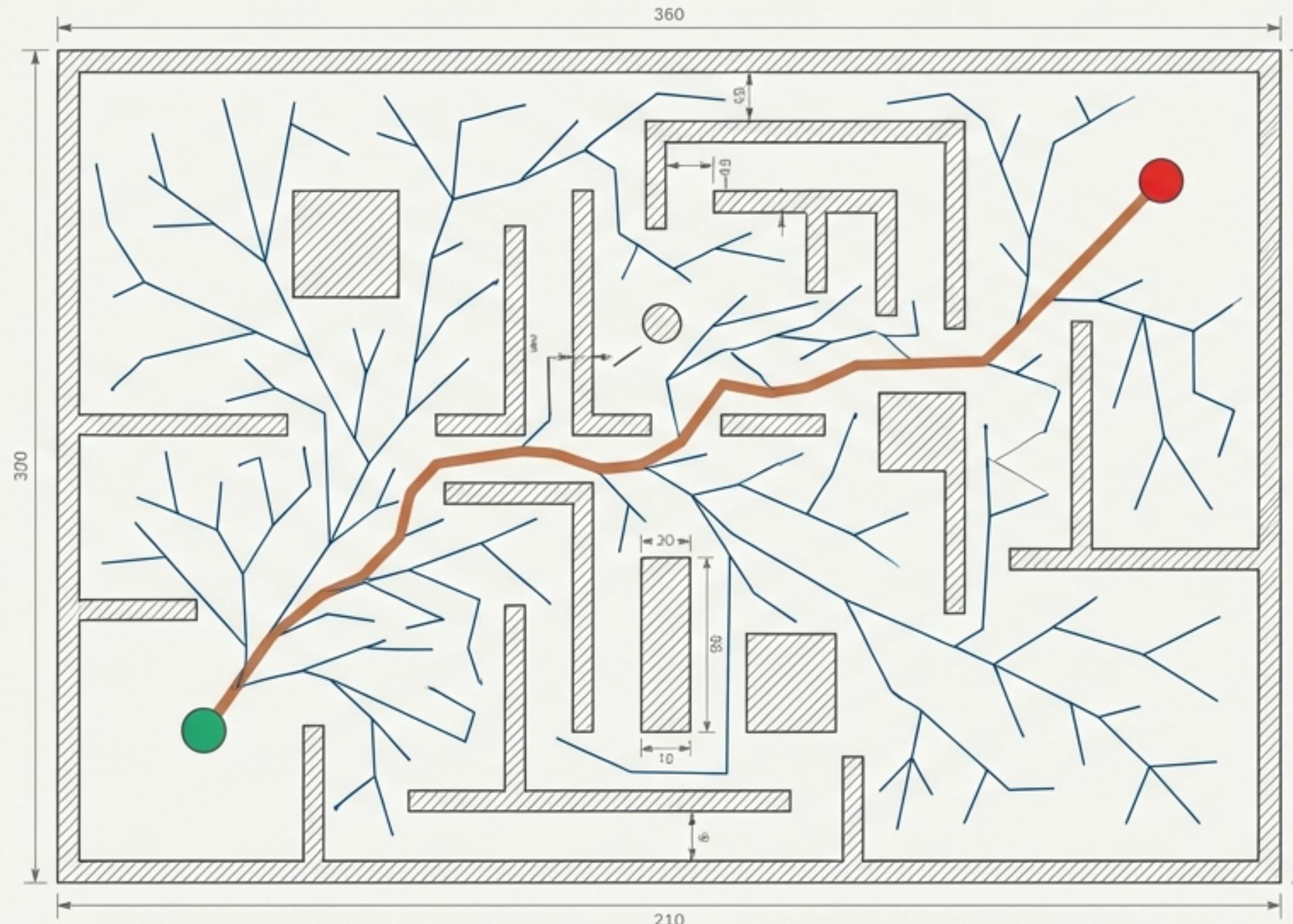


**Diagrama de Voronoi
(Camino más seguro / Largo)**



Planificación Probabilística: PRM y RRT

Soluciones para espacios de alta dimensión.



¿Por qué Probabilístico? Calcular geometría exacta es imposible para robots complejos (ej. 7 articulaciones).

RRT (Árboles Aleatorios de Exploración Rápida):

- Explora lo desconocido creciendo ramas hacia puntos aleatorios.
- **RRT Bidireccional:** Crecen dos árboles (inicio y meta) hasta encontrarse.

PRM (Probabilistic RoadMap):

- Crea un mapa de carreteras aleatorio precalculado para entornos estáticos.

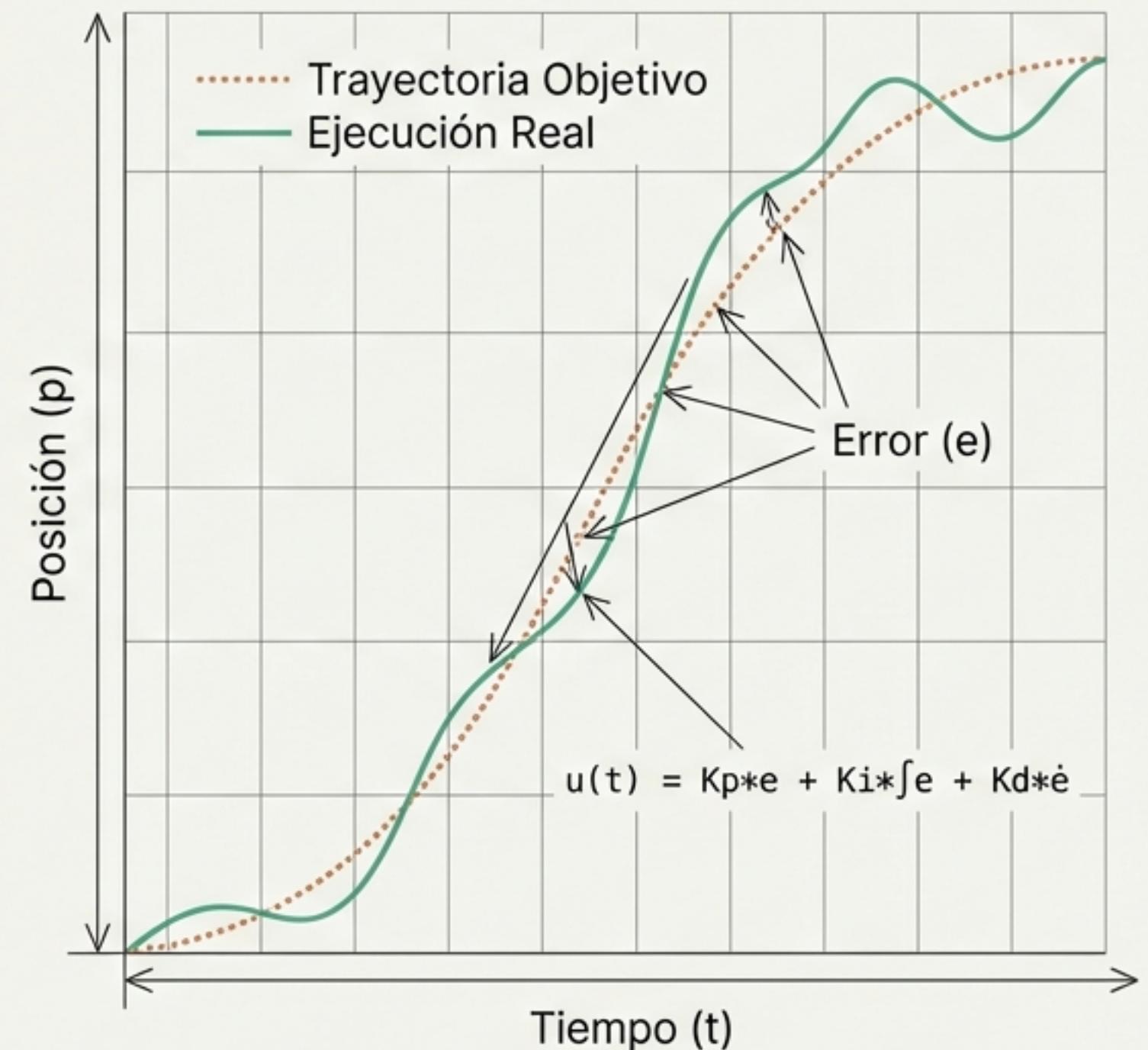
Control: La Ejecución de la Trayectoria

Camino vs. Trayectoria: Un camino es espacio. Una trayectoria es espacio + tiempo (velocidad/aceleración).

Controladores PID: El caballo de batalla de la industria.

- **P (Proporcional):** Reacciona al error presente.
- **I (Integral):** Corrige el error acumulado pasado.
- **D (Derivado):** Predice y amortigua el error futuro.

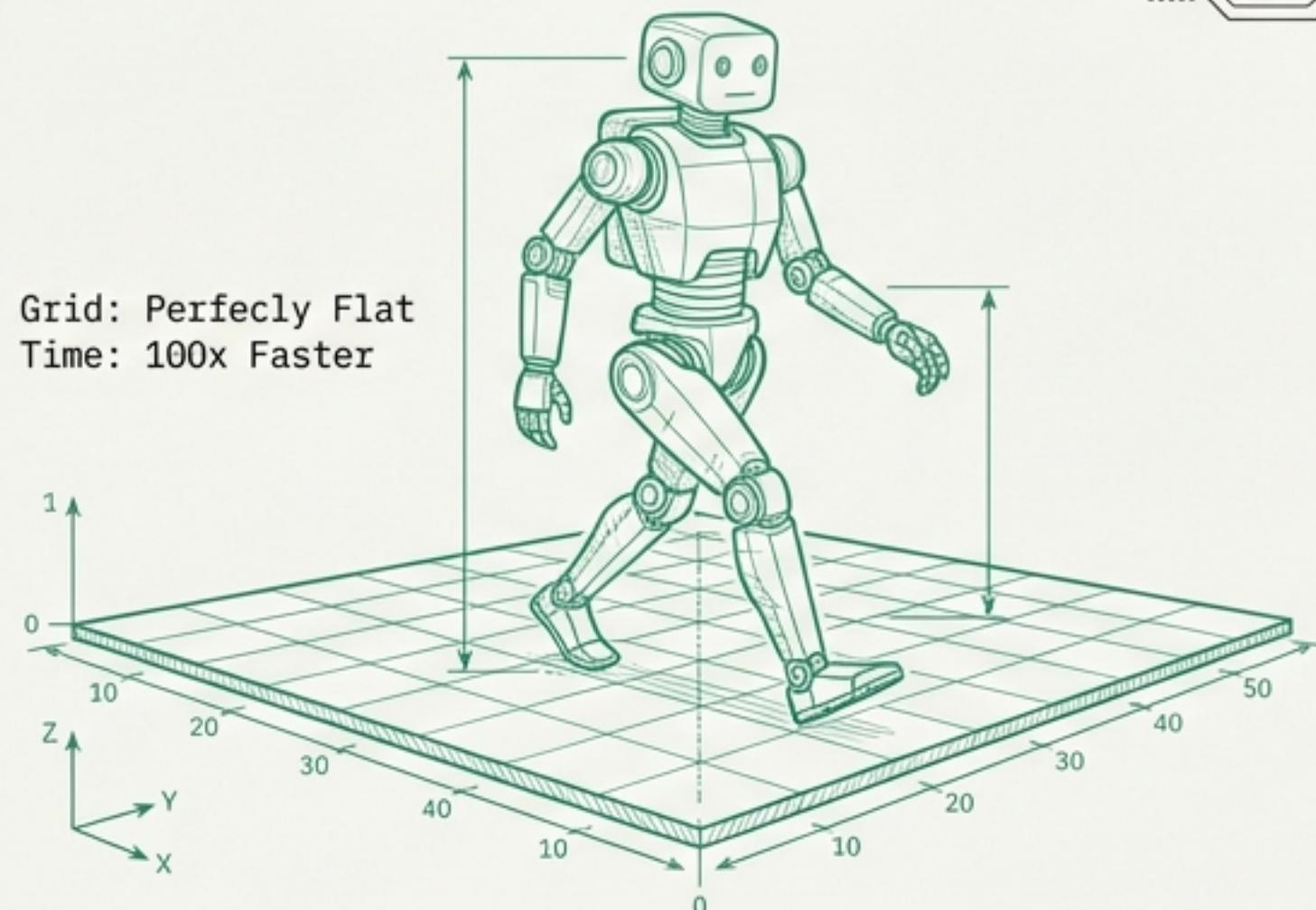
Control Óptimo (LQR): Minimiza el costo energético asumiendo dinámicas lineales.



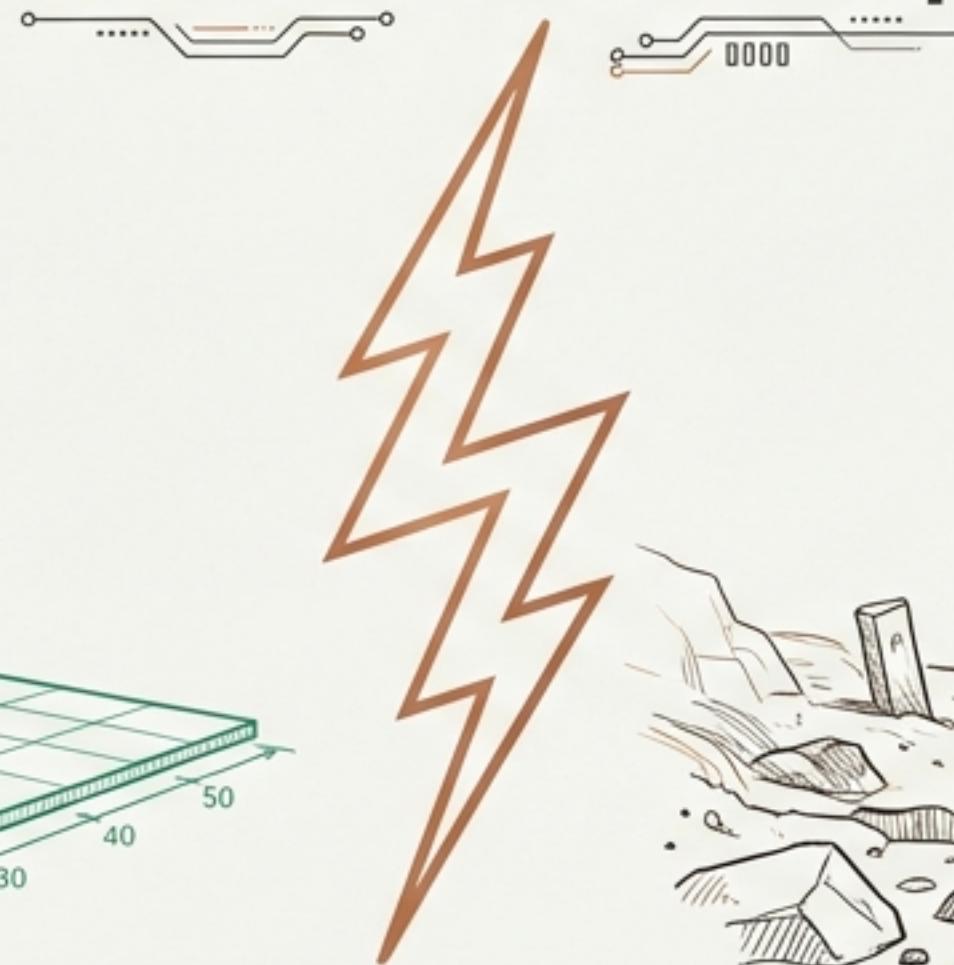
Incertidumbre y Aprendizaje por Refuerzo (RL)

El Reto del RL: De la simulación a la realidad

Simulación (Rápida, Segura)



The Sim-to-Real Gap

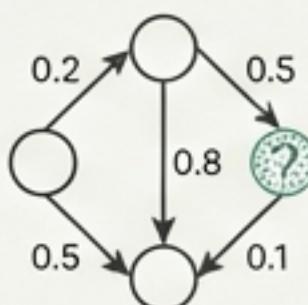


Mundo Real (Lento, Frágil)



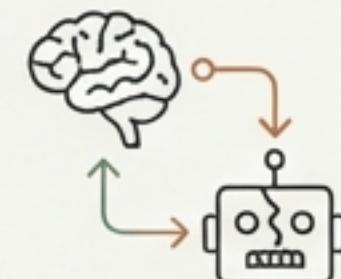
****Decisión bajo Incertidumbre****

- ***MDP***: Procesos de Decisión de Markov.
- ***POMDP***: Estados parcialmente observables (el robot "adivina" dónde está).



****El Reto del RL****

- El mundo real es lento ($1 \text{ seg} = 1 \text{ seg}$) y los fallos son costosos.
- **Objetivo**: Transferir políticas aprendidas en simulación a la realidad sin fallos catastróficos.



Coexistencia: El Problema de la Coordinación

Teoría de Juegos en HRI (Interacción Humano-Robot)

El Bucle de Predicción

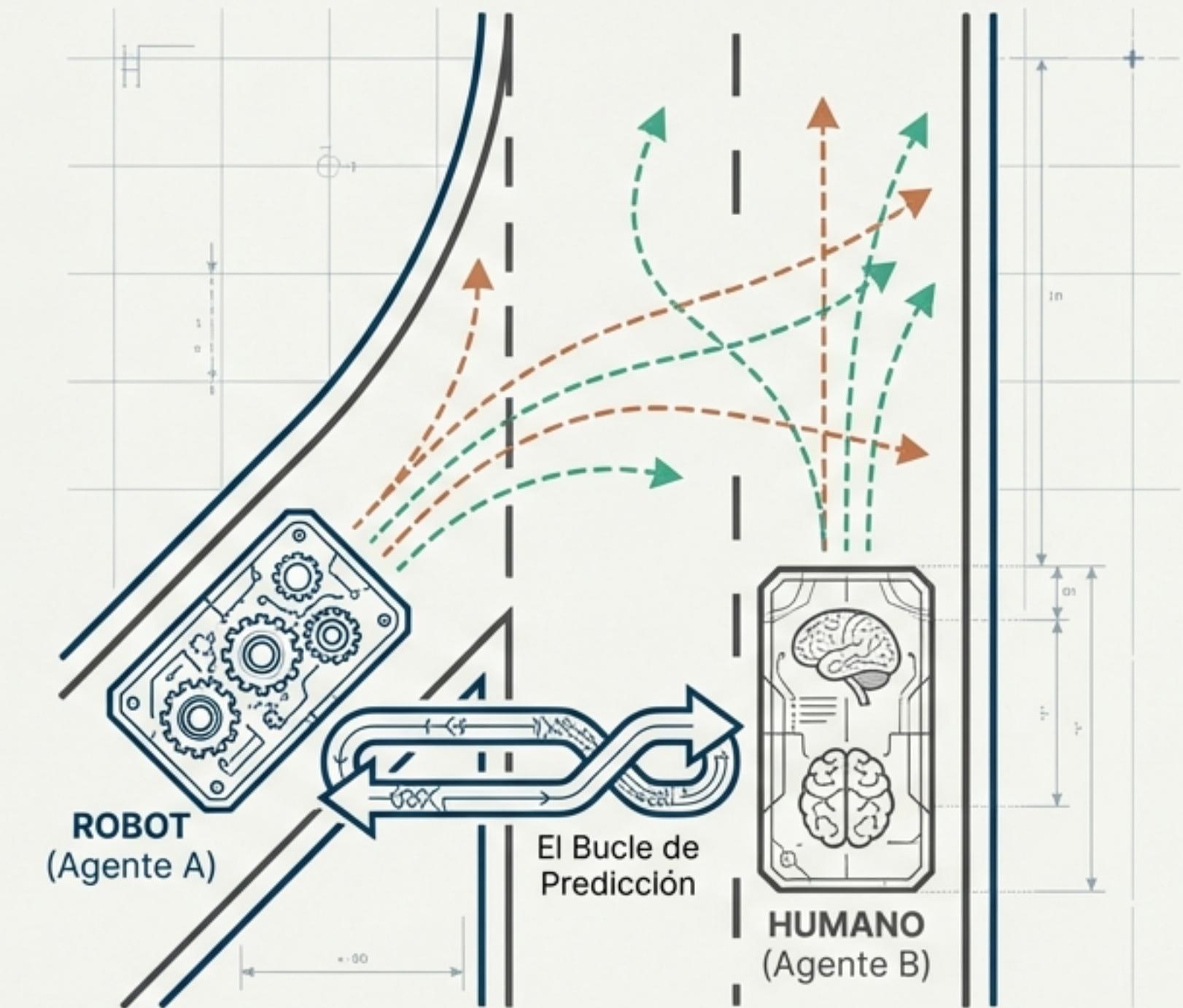
El robot debe predecir al humano, sabiendo que el humano está prediciendo al robot.

Agentes Aproximadamente Racionales

El robot asume que el humano tiene un objetivo (ir a casa) pero cometerá errores.

Solución

Ser legible. Comunicar intención a través del movimiento (ej. avanzar ligeramente para pedir paso).



Alineación: Aprendiendo lo que el Humano Quiere

Teoría de Juegos en HRI (Interacción Humano-Robot)



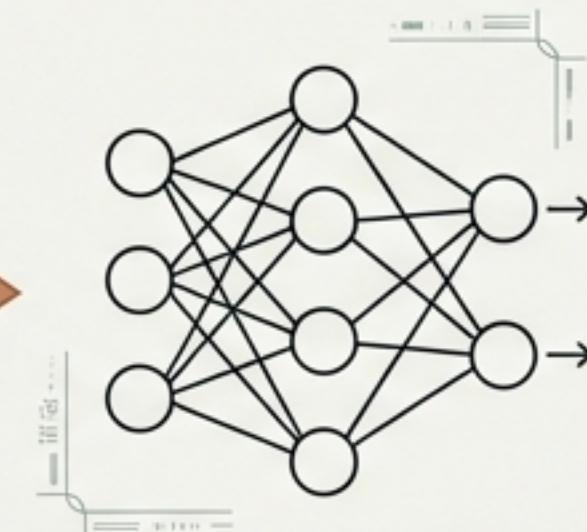
Aprendizaje por Imitación (Imitation Learning)



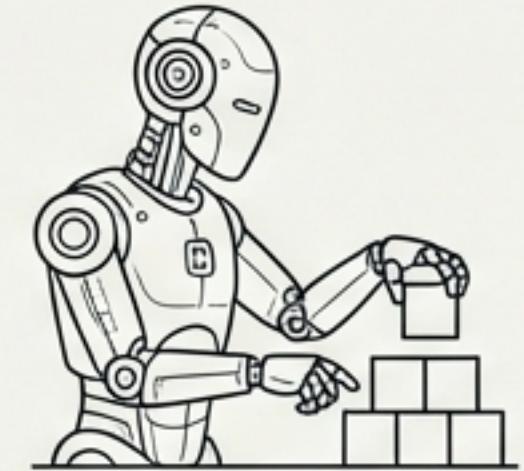
Demostración
Experta



Dataset
(Estado/Acción)



Entrenamiento
Supervisado



Clonación de
Política

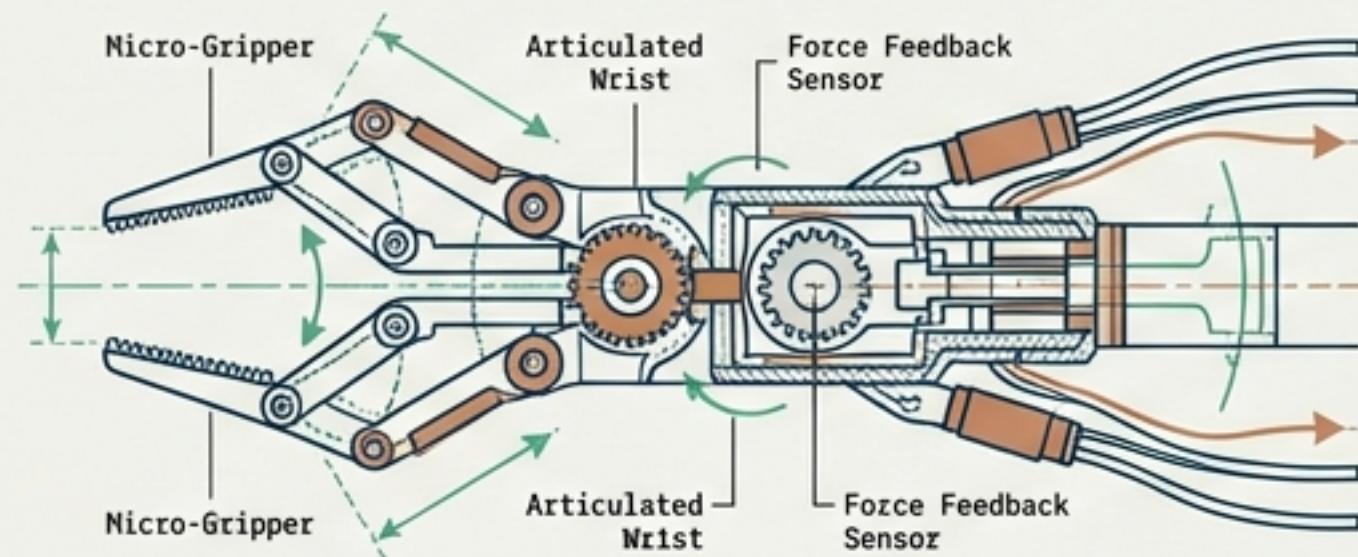
Función de Recompensa: Difícil de codificar a mano (¿Qué es 'conducir con educación'?).

Aprendizaje de Preferencias: Inferir la función de costo observando críticas humanas.

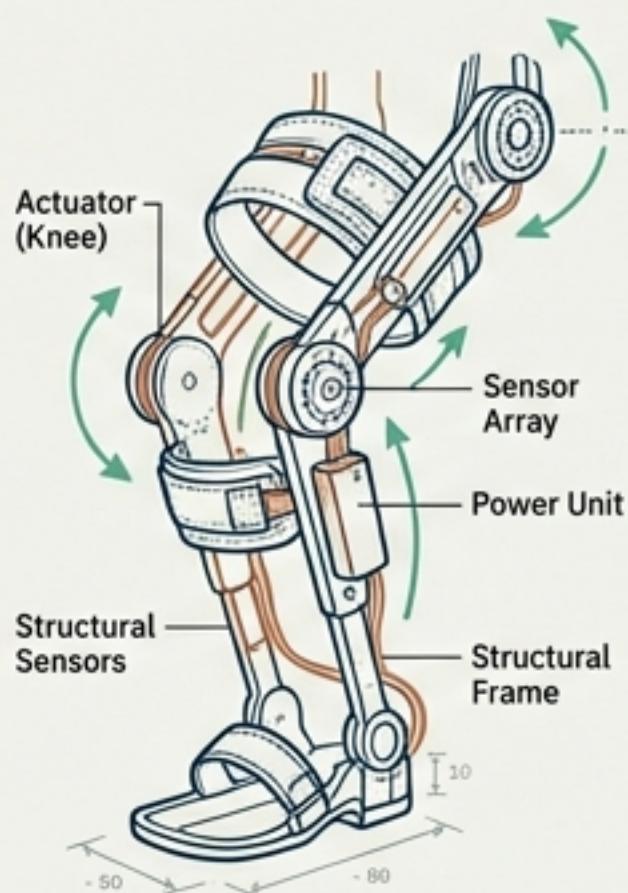
Aprendizaje por Imitación: El robot aprende a copiar al maestro.
Plex Mono

Riesgo: Mala generalización. Si el robot encuentra un estado que nunca vio la demo, puede fallar impredeciblemente.

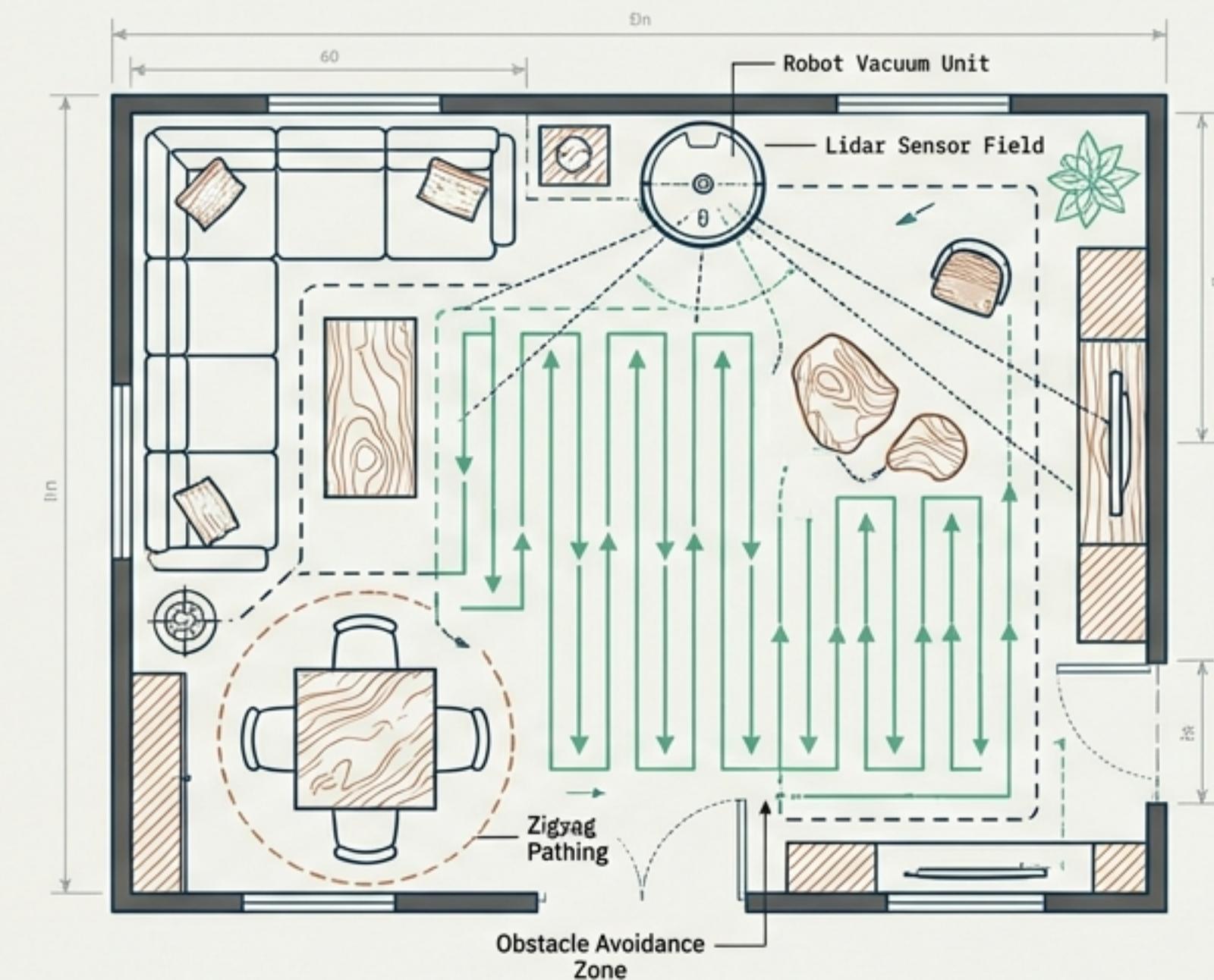
Impacto I: Salud y Vida Doméstica



Médica: Cirugía de precisión milimétrica y mínimamente invasiva.



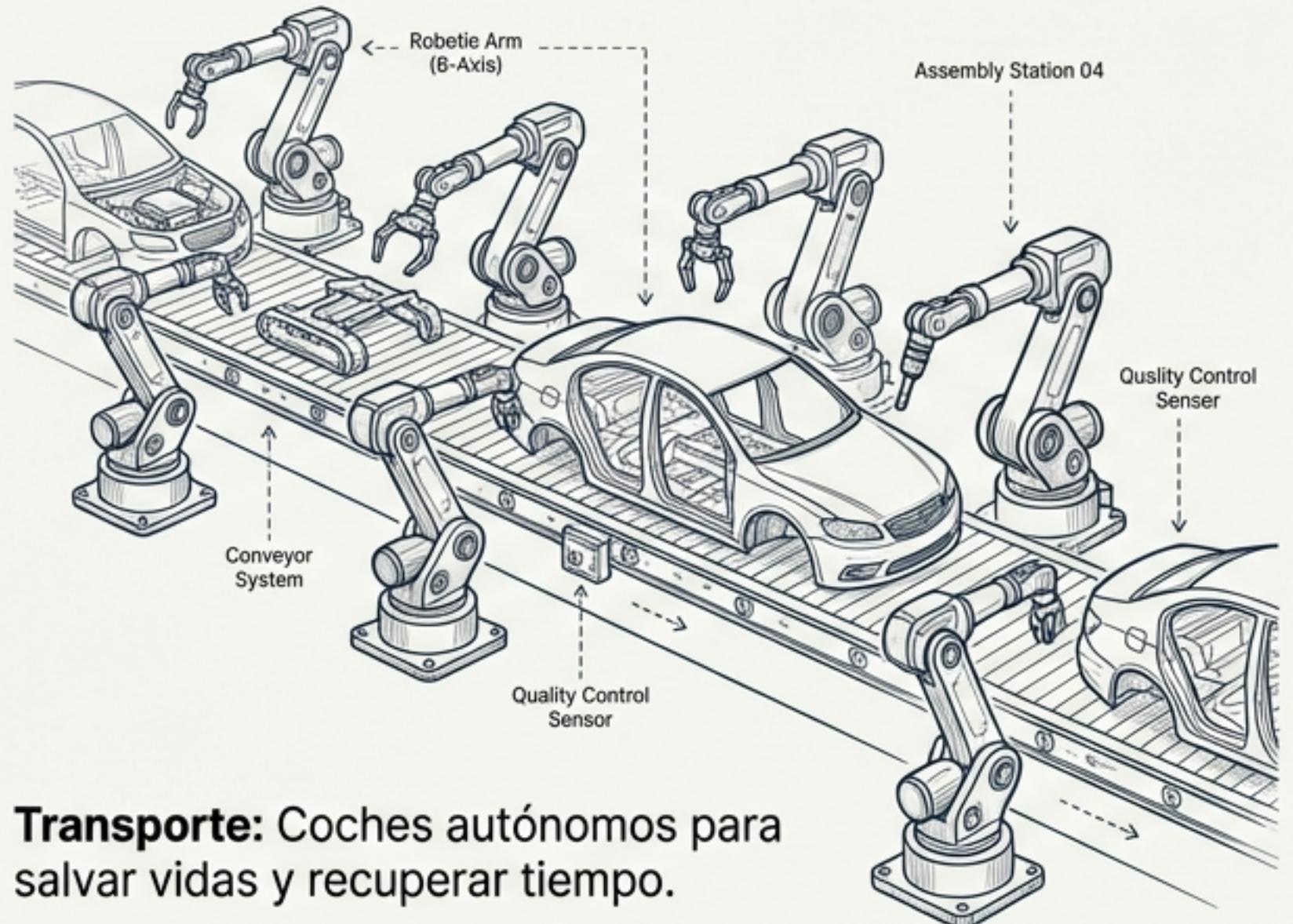
Cuidados: Exoesqueletos para rehabilitación y sillas autónomas (Kinova). Interfaces Cerebro-Máquina para cuadriplejía.



Hogar: La aspiradora autónoma resolvió la navegación, pero el entorno desordenado sigue siendo un reto para la manipulación.

Impacto II: Exploración, Industria y Transporte

INDUSTRIA Y TRANSPORTE

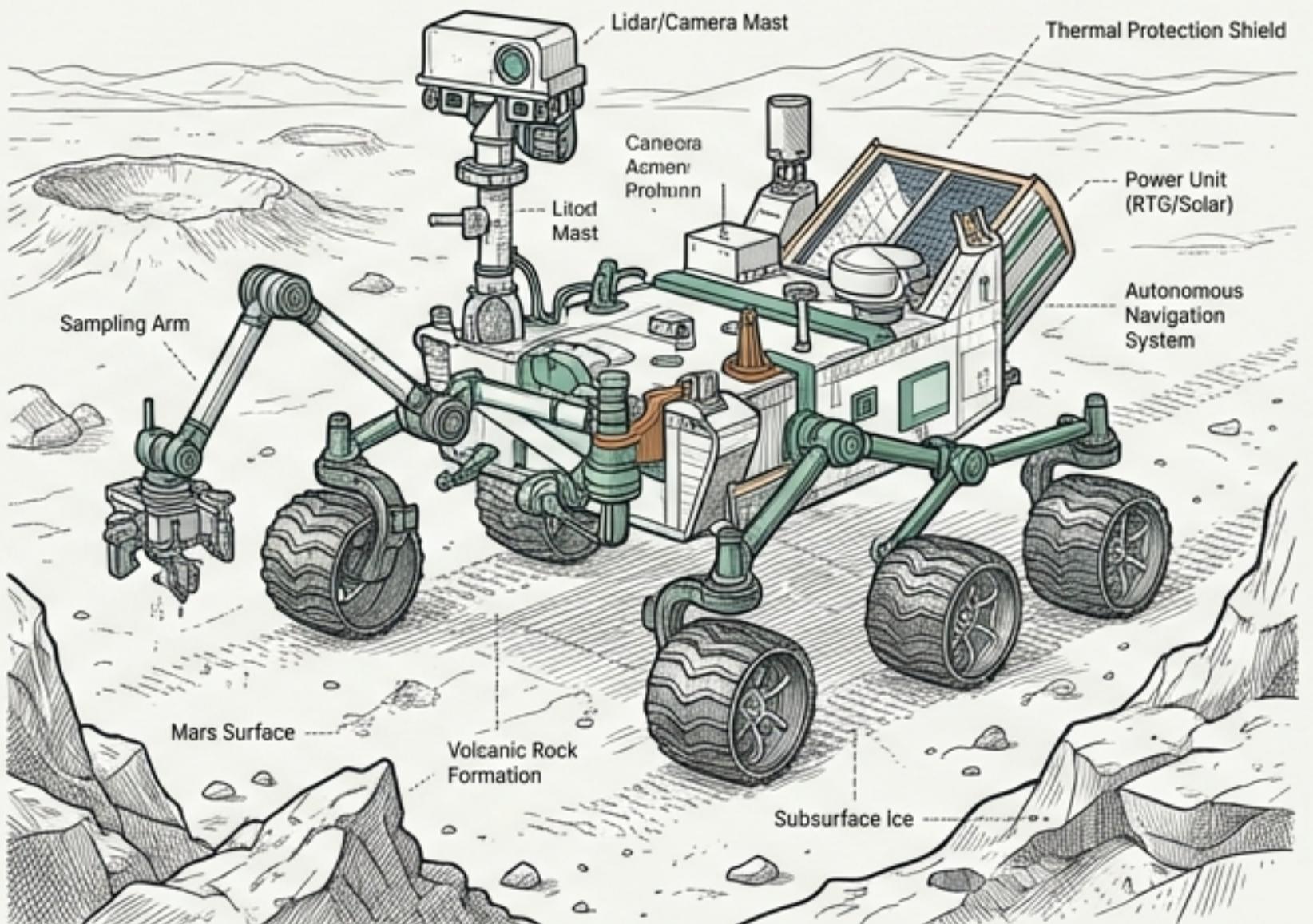


Transporte: Coches autónomos para salvar vidas y recuperar tiempo.

Industria: Automatización de las 3 D: Dull, Dirty, Dangerous (Aburrido, Sucio, Peligroso).

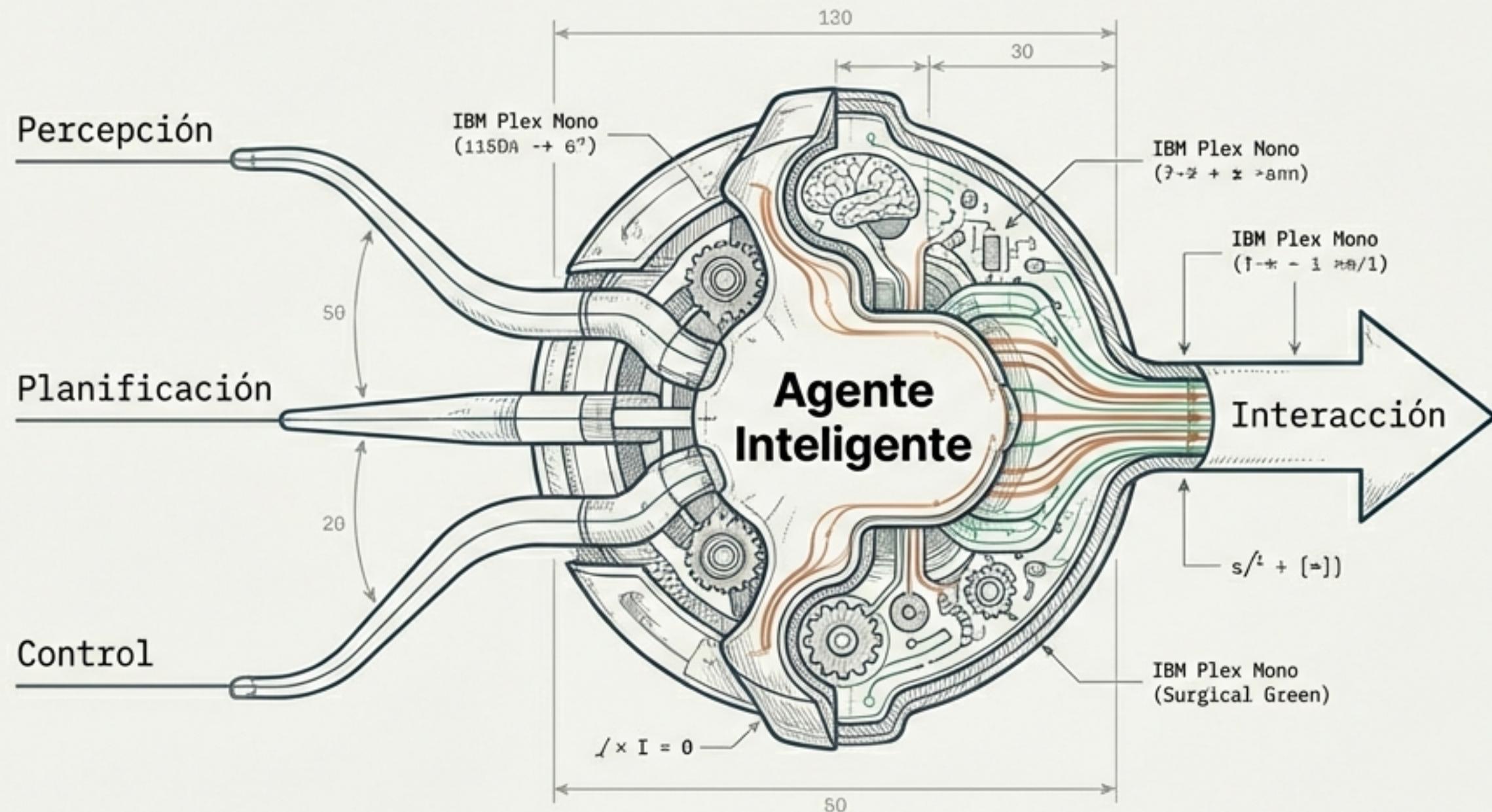
Reto Social: Eficiencia productiva vs. desplazamiento laboral.

EXPLORACIÓN Y ENTORNOS HOSTILES



Exploración: Entornos hostiles donde el humano no puede ir (Marte, Volcanes, Océano Profundo, Desastres Nucleares).
IBM Plex Mono

El Futuro: La Integración Total



- 1. End-to-End Learning:** De módulos separados a redes neuronales unificadas.
 - 2. Cobots:** De jaulas de seguridad a colaboración fluida.
 - 3. Generalización:** De entornos controlados a la anarquía del mundo real.

La robótica es el estudio de cómo agentes físicos pueden percibir, razonar y cambiar el mundo para mejorar la vida humana.