

RESUMEN TEORÍA ROBÓTICA DE SERVICIO:

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

TEMA 1: INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA DE SERVICIO

- 1.1 ROBOT**
- 1.2 ROBOTS INDUSTRIALES**
- 1.3 ROBOTS DE SERVICIO**
- 1.4 APLICACIONES DE LOS ROBOTS DE SERVICIO**
- 1.5 INTELIGENCIA DE UN ROBOT DE SERVICIO**
- 1.6 INTEGRACIÓN**
- 1.7 ALGORITMOS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO**
- 1.8 ARQUITECTURAS SOFTWARE**

TEMA 2: ROBOTS DE LIMPIEZA

- 2.1 INTRODUCCIÓN**
- 2.2 ASPIRADORAS**
- 2.3 FRIEGASUELOS**
- 2.4 LIMPIEZA DE VENTANAS**
- 2.5 CORTACÉSPEDOS**
- 2.6 ALGORITMOS DE COBERTURA**

TEMA 3: ROBOTS DE ENTRETENIMIENTO

- 3.1 INTRODUCCIÓN**
- 3.2 ROBOTS EDUCATIVOS**
- 3.3 JUGUETES Y MASCOTAS**
- 3.4 DEMOSTRADORES TECNOLÓGICOS**
- 3.5 LOCOMOCIÓN CON PATAS**
- 3.6 LOCOMOCIÓN CON RUEDAS**
- 3.7 ESPECTÁCULOS**

TEMA 4: ROBOTS EN SALUD

- 4.1 TELEPRESENCIA Y ASISTENTES**
- 4.2 CIRUGÍA**
- 4.3 DESINFECCIÓN Y ESTERILIZACIÓN**
- 4.4 TRANSPORTE INTERNO**
- 4.5 REHABILITACIÓN**
- 4.6 ROBÓTICA SOCIAL**

TEMA 5: ROBÓTICA DE CAMPO

- 5.1 INTRODUCCIÓN**
- 5.2 AGRICULTURA**
- 5.3 MINERÍA**
- 5.4 DESASTRES, BÚSQUEDA, RESCATE Y LIMPIEZA DE AGUAS**
- 5.5 ROBOTS EN EL ESPACIO, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y USOS MILITARES**

TEMA 6: CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

- 6.1 INTRODUCCIÓN**
- 6.2 COCHE AUTÓNOMO**
- 6.3 NIVELES DE AUTONOMÍA**
- 6.4 SISTEMAS DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN**
- 6.5 ROBUSTEZ Y PERCEPCIÓN**
- 6.6 MAPAS HD (HIGH DEFINITION MAPPING)**
- 6.7 INTERFAZ DE USUARIO, SIMULADORES Y DATOS**
- 6.8 PRUEBAS REALES**

TEMA 7: APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN ROBÓTICA DE SERVICIO

- 7.1 APRENDIZAJE NEURONAL Y PROFUNDO**
- 7.2 REDES NEURONALES PARA PERCEPCIÓN DE ROBOTS DE SERVICIO**
- 7.3 REDES NEURONALES EXTREMO A EXTREMO EN ROBOTS DE SERVICIO**
- 7.4 BALANCE GENERAL**
- 7.5 APRENDIZAJE POR REFUERZO**

TEMA 8: ROBÓTICA EN LOGÍSTICA

- 8.1 INTRODUCCIÓN**
- 8.2 AGV VS AMR**
- 8.3 CADENAS DE MONTAJE**
- 8.4 ALMACENES**
- 8.5 ROBOTS DE REPARTO**

TEMA 9: INTERACCIÓN HUMANO-ROBOT

- 9.1 INTRODUCCIÓN**
- 9.2 INTERFACES POR DOMINIO DE APLICACIÓN**
- 9.3 INTERACCIÓN VISUAL**
- 9.4 INTERACCIÓN VERBAL Y ESPACIAL**

ANEXO 1: CHARLA CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

- A1.1 ¿QUÉ ES UN VEHÍCULO AUTÓNOMO?**
- A1.2 ¿POR QUÉ USAR VEHÍCULOS AUTÓNOMOS?**
- A1.3 ¿POR QUÉ ESTE CAMPO HA CRECIDO TANTO RECIENTEMENTE?**
- A1.4 ¿CÓMO FUNCIONA REALMENTE?**
- A1.5 ¿QUÉ SE HACE REALMENTE?**

ANEXO 2: EL LENGUAJE COMO UI

- A2.1 INTRODUCCIÓN**
- A2.2 SISTEMAS CLÁSICOS DE ANÁLISIS DE LENGUAJE**
- A2.3 PRIMER ADVENIMIENTO DE REDES NEURONALES**
- A2.4 TRANSFER LEARNING**
- A2.5 ARQUITECTURA TRANSFORMER**
- A2.6 PRIMEROS GRANDES MODELOS (LLM)**
- A2.7 FEW-SHOT CON GPT-3**
- A2.8 MODELOS ABIERTOS**

TEMAS 1: INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA DE SERVICIO

1.1 ROBOT

Robot (RAE): Máquina o ingenio electrónico programable capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones.

Robot (Académico): Sistema informático con sensores, actuadores y computadores programado para conseguir sus objetivos siendo sensible a la situación de su entorno, cuya inteligencia reside en su software.

Las cuatro D's de la Robótica: **Dull** (aburrido), **Dirty** (sucio), **Dangerous** (peligroso) y **Delicate** (delicado).

Características: Son utilizados para conseguir un aumento en cuanto a productividad y seguridad, disminuyen costes, y deben ser ágiles, robustos, y económicos en cuanto a precio.

1.2 ROBOTS INDUSTRIALES

Características: No deambulan, poseen al menos 3 grados de libertad, siempre se encuentran en entornos controlados (factorías), son usados en muchas aplicaciones (pick & place, soldadura, ensamblado de piezas, pintado y manipulación) e industrias (automoción, electrónica y química), sus efectores siempre dependen de su aplicación (pinza, ventosa o soldador), poseen muchos proveedores asentados (KUKA, ABB, FANUC y Festo), y se usan para controles en posición, planificar trayectorias, y en cinemática directa e inversa.

1.3 ROBOTS DE SERVICIO

Características: No son industriales, no poseen más de 3 grados de libertad, se encuentran en entornos menos controlados por lo que necesitan una mayor reactividad, se usan en aplicaciones muy heterogéneas, tanto su hardware como su morfología son muy variados lo que hace que su percepción y robustez sean más difíciles de adaptar, su inteligencia se basa en cumplir objetivos y realizar actividades de forma razonable, poseen un mercado inmaduro y en crecimiento con más start-ups que proveedores asentados, y son más difíciles de programar que los robots industriales.

1.4 APLICACIONES DE LOS ROBOTS DE SERVICIO

Domésticas: Limpieza y entretenimiento (juguetes y robótica educativa).

Medicina y asistencia social: Cirugía, telepresencia, exoesqueletos, reparto de material médico y humanoides.

Conducción autónoma: Niveles de autonomía de ayuda y control total (control de crucero y auto parking).

Robótica de campo: Robots autónomos equipados con sensores de calor, reconocimiento facial y escáneres.

Logísticas: Almacenes (mover estanterías), cadenas de montaje (mover piezas) y entregas (última milla).

1.5 INTELIGENCIA DE UN ROBOT DE SERVICIO

Hardware: Compuesto por computadores, sensores y actuadores específicos para una tarea concreta en una arquitectura Von Neumann (microcontroladores, CPUs, GPUs y FPGAs).

Software: Recoge la percepción y la toma de decisiones en el contexto de una aplicación robótica concreta con distintos niveles de abstracción y frecuencias, cuya robustez y agilidad son vitales.

Estructura BBS: **B** (Brain), **B** (Body), **S** (Scenarió).

Capacidades básicas: Reactividad abordada por técnicas de control, razonamiento simbólico mediante planificación y deliberación, diversas gestiones de la ejecución (HFSM y BT), y son capaces de percibir, entender una escena, fusionar sensores y detectar objetos mediante visión artificial 2D/3D.

Usos: Navegación autónoma (mapas, localización y navegación local/global), interacción humano-robot (visual, auditiva, botones, pantallas y lenguajes de procesamiento natural) y seguridad.

1.6 INTEGRACIÓN

Middleware robóticos: Herramientas, drivers y bloques reutilizables de funcionalidad resuelta como bibliotecas, nodos y stacks (ROS2 Navigation Stack en navegación autónoma, PX4 y MAVROS para drones, ArduPilot y MoveIt para brazos), cuya reutilización disminuye los tiempos de desarrollo y aumenta la calidad.

Integración: Requiere conocer el software existente para que pueda ser reutilizado y que los algoritmos que haya dentro sean adaptados si es necesario. Es decir, se empieza a crear desde cero, se diseña un algoritmo y se programa.

} 1.7 ALGORITMOS Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Algoritmos: Utilizado en software que haya sido programado explícitamente.

Aprendizaje automático: Utilizado en sistemas de control y en redes neuronales extremo-extremo (no sólo en percepción), cuyo software se fundamenta en datos (deep learning) y ensayos (aprendizaje por refuerzo).

} 1.8 ARQUITECTURAS SOFTWARE

Secuencial iterativa: Su parte inicial sólo se ejecuta una vez, mientras que su parte iterativa se ejecuta como un bucle infinito cuya frecuencia es muy importante. Se utiliza principalmente en microcontroladores y en sistemas reactivos, donde cada iteración conlleva una percepción y una toma de decisiones.

Autómatas y BTs: Los más utilizados son los **HFSM** (compuestos por estados, transiciones, niveles y precondiciones) y los **BTs** (compuestos por conectores secuenciales/paralelos, tareas con resultado 0/1 y con condiciones reutilizables). Se encargan de controlar la ejecución de cada parte e integrar comportamientos variados, algo que no es posible con reactivos puros, como por ejemplo, la inteligencia de los jugadores automáticos de los videojuegos.

Orquesta de nodos: Poseen una arquitectura distribuida, cuyos nodos intercambian información mediante el uso de ROS-topics y ROS-services.

Híbrida de 3 niveles: **Nivel deliberativo** (razonamiento simbólico y planificación), **intermedio** (gestión de la ejecución y activación/desactivación de unidades reactivas) y **reactivo** (controladores y frecuencia alta).

Redes neuronales (DL): El modelo engloba topologías y pesos, poseen grandes colecciones de datos mediante aprendizaje supervisado, aporta robustez, y en el caso de los robots de servicio se puede encontrar en sus sistemas de percepción y control.

Aprendizaje por refuerzo (RL): Basado en el método de prueba y error en el que el agente se encuentra en un ambiente en el que lleva a cabo acciones y estados para obtener recompensas (Q-Learning y DQN), y en el caso de los robots de servicio, se puede encontrar en sus sistemas de control.

Computación Reconfigurable (RC): Compuesta por bloques de entrada y salida que intercambian información por cable, es distribuida y paralela, y dos ejemplos de esta arquitectura son las FPGAs (ejecución muy rápida) y VisualCircuit, donde cada bloque equivale a un proceso en Python.

TEMAS 2: ROBOTS DE LIMPIEZA

2.1 INTRODUCCIÓN

Características: Populares tanto en el mercado doméstico como en el mercado profesional, aunque los más utilizados son los que limpian suelos (aspiradoras y fregasuelos), ventanas, baños (Giddel de Altan Robotech) y aquellos que actúan como desinfectantes limpiando tuberías y tanques.

2.2 ASPIRADORAS

Características: Asentadas en el mercado mundial, donde el 15% de las aspiradoras vendidas son robóticas, de las cuales, el 28% son de marcas pioneras (iRobot y Roomba). Actualmente, existen muchísimos fabricantes como Dyson, Ecovacs, Neato, Xiaomi, Roborock y Eufy. Sin embargo, les cuesta más limpiar suelos duros o alfombras, algo que puede servir para medir su rendimiento (tiempo de barrido de objetos).

Modelo económico: Su precio es inferior a los 300\$, están compuestas por sensores de contacto, odometría y actuadores específicos de aspiración, pueden navegar pseudoaleatoriamente, y son capaces de detectar escaleras y crear paredes virtuales con emisores físicos.

Modelo de gama alta: Son capaces de construir mapas, utilizar autolocalización visual, realizar barridos sistemáticos, regresar a la estación de recarga y centrarse en ella, además de tener un sensor de suciedad, donde la interacción humano-robot se realiza a través de una aplicación móvil.

Dyson 360 Heurist (360 Eye): Crea zonas prohibidas por posición e ilumina la escena de noche.

Ecovacs Deebot OZMO N8 PRO+: Posee un sensor láser LIDAR, sistemas de detección, esquivación, autovaciado automático y autorecarga, utiliza sistemas de autolocalización con mapas (SLAM), donde la interacción humano-robot se realiza mediante la integración de asistentes de voz.

Roomba J7 (última generación): Utiliza navegación visual mediante el uso de una cámara frontal, la cual genera dudas en temas de privacidad, posee un sistema de detección de objetos y uno de autovaciado automático, donde la interacción humano-robot se realiza a través de una interfaz de voz.

2.3 FRIEGASUELOS

Características: Compuestos por diversidad de sensores como láseres para esquivar obstáculos y evitar choques o caídas, además de ser capaces de esparcir agua con detergente para limpiar mejor, donde la interacción humano-robot se realiza a través del teléfono móvil (Legée 688 de Hobot y el Braava de iRobot).

2.4 LIMPIEZA DE VENTANAS

Características: Compuestos por un cable de alimentación con una batería mejorada, sensores de contacto y una cuerda de seguridad que realiza barridos sistemáticos cuyo movimiento es similar al de las orugas (WinBot 950, X de Ecovacs, 388 y 298 de Hobot).

2.5 CORTACÉSPEDOS

Características: Poseen una batería duradera, su propia estación de recarga, un sistema antirrobo y un firmware actualizado, son silenciosos, pueden adaptarse al mal tiempo y desplazarse por pasillos estrechos realizando espirales, se controlan desde un teléfono móvil con Alexa o Google Home y aquellos que son de gama alta incluyen un sistema de navegación guiada por GPS (Husqvarna 310 de 1700€ y 415X de 2800€).

2.6 ALGORITMOS DE COBERTURA

Características: Recorren una zona completa mediante el uso de barridos sistemáticos, se dividen en celdas y guardan la planificación/ ejecución del plan (agricultura y topografía con drones).

Algoritmo BSA (Backtracking Spiral Algorithm): Se dilata el mapa del escenario y se le inserta una cuadrícula de celdillas de navegación, en las cuales se ven reflejados obstáculos reales/virtuales y zonas libres/visitadas. Cada celdilla tiene cuatro vecinos (avanza hacia el Norte, si encuentra un obstáculo gira Este-Sur, avanza hacia el Sur y si encuentra un obstáculo realiza un giro Este-Norte).

Características: Marca las zonas ya visitadas, actualiza los **puntos de retorno** (vecinos libres) aunque puede aparecer algún **punto crítico** (rodeado de obstáculos reales/virtuales), y regresa al punto de retorno más cercano y traza un camino directo si es posible, lo que permite realizar un recorrido sistemático completo.

TEMAS 3: ROBOTS DE ENTRETENIMIENTO

3.1 INTRODUCCIÓN

Características: Son heterogéneos, están asentados en el mercado educativo, existen muchos prototipos pioneros sin usos comerciales claros y son difíciles de sostener (NEC Papero y Boston Dynamics Spot).

3.2 ROBOTS EDUCATIVOS

Enseñanza pre-universitaria e infantil: Forma divertida de introducción a la robótica, poseen disciplinas **STEM** (Science, Technology, Engineering, Math), son programables, facilitan el trabajo en equipo, y permiten realizar proyectos, gamificar y aprender de errores docentes (LEGO League, Robocup Jr, VEX y RoboCampeones).

LEGO Education: Son fácilmente adquiribles (350€), robustos y estables, compuestos por un microcontrolador, piezas mecánicas, sensores (IR, US y contacto), motores (ruedas y pinzas) y controles en posición y velocidad (Mindstorms EV3 y Spike), se programan en LEGO EV3 Home Edition descargado en el robot físico, es muy intuitivo y está compuesto por almacenes de bloques visuales de sensores y actuadores.

Makeblock: Fácilmente adquirible y robusto, se programa en Arduino y mBlock y está compuesto por sensores infrarrojos y ultrasonidos y por varios motores (mBot y mBot2).

Robot GoPiGo3: Abiertos y construibles, están compuestos por una cámara PiCam, una RaspberryPi, sensores ultrasonidos e infrarrojos y motores con encoders (robots comerciales de Dexter Industries).

Drone Tello: Fácilmente adquiribles, baratos, robustos y estables y están compuestos por una cámara y por controles en posición y velocidad (robot comercial DJI+Intel).

Microcontrolador Arduino: Programado en lenguaje Arduino mediante bloques setup y loop, y son capaces de programar diversidad de sensores, motores, pulsadores, pantallas y elementos electrónicos.

Plataformas educativas infantiles: Permiten programar robots de forma sencilla y estimulante donde cada fabricante ofrece su diseño con su respectivo lenguaje gráfico o de texto propio (LEGO, VEX, Arduino web-IDE, mBlock IDE, Scratch y OpenRoberta Lab).

Scratch: Abierto, gratuito y muy intuitivo, y la interacción con su interfaz se realiza a través de bloques visuales y de control de flujo en la que se abordan conceptos básicos del pensamiento computacional.

OpenRoberta Lab: Iniciativa educativa alemana abierta y gratuita promovida por el Fraunhofer IAIS que consiste en un simulador 2D capaz de soportar varios robots a través del lenguaje visual NEPO.

Turtlebot2 (Yujin): Posee motores, base y odometría del Kobuki además de una cámara RGBD, es ampliable, puede llevar un ordenador portátil encima y se programa en ROS serie.

Turtlebot3 (Yujin): Compuesto por un LIDAR y se programa en ROS serie (burger, waffle y waffle Pi).

NAO (SoftBank Robotics): Humanoide de 58 cm compuesto por dos cámaras sin estéreo, micrófonos, altavoces, articulaciones y odometría, es capaz de realizar movimientos fijos reutilizables, posee diversos modos de caminar, se puede programar en NaoQi, Choregraphe y Webots, y ha sido utilizado en la Robocup SPL como robot de investigación.

3.3 JUGUETES Y MASCOTAS

Ejemplos: Robosapien (movimientos predefinidos), foca Paro (robot social utilizado en terapias de demencia).

Perrito Aibo (Sony): Programable y utilizado como mascota-robot de compañía compuesto por una cámara, micrófono, sensores de contacto, un procesador quadcore de 64 bits y diversos modos de caminar, se programaba en entornos como Amperios, OPEN-R, SDK y C++ y ahora se programa visualmente.

} 3.4 DEMOSTRADORES TECNOLÓGICOS

Características: Utilizados como imagen de marca en exhibiciones para atraer a la gente a través de la vanguardia tecnológica (movilidad versátil, interacción fluida con personas y autonomía) y han conseguido un progreso real entre la purpurina y el descontento, aunque siguen explorando nuevos mercados.

Spot (Boston Dynamics): Posee autonomía, movilidad versátil y la capacidad de comprender el entorno, está compuesto por sensores específicos y un brazo añadible, se programa en SDK Python y actualmente se encuentra en búsqueda de aplicaciones en la inspección ambulante y la construcción.

Atlas (Boston Dynamics): Precursor del BigDog militar, está compuesto por actuadores hidráulicos, plantillas de movimiento, sensores de percepción 3D y RGBD, posee un control predictivo, es capaz de moverse a 2.5 m/s, mide 1.5 m y se utiliza en ingeniería.

Pepper (SoftBank): Compuesto por ruedas en vez de patas, se halla en búsqueda de aplicaciones de educación, exhibiciones, recepción y guía de supermercados (Naoqi y Choregraphe).

Sophia (Hanson Robotics): Posee una expresión facial y una apariencia realista, son capaces de interactuar con las personas mediante conversaciones por audio, detecciones faciales y seguimientos, está compuesto por una base con ruedas y se programa en SDK.

ASIMO (Advanced Step in Innovative MObility, Honda): Humanoide de referencia capaz de alcanzar los 6 km/h tanto andando como corriendo, sube escaleras, empuja carritos, chuta balones y sirve bebidas, todo ello a través de una coordinación visomotora, aunque fue abandonado en 2018.

QRIO (Quest for cuRIOSity, Sony): Humanoide de 60 cm creado entre el 2004 y el 2006 capaz de correr y bailar compuesto por cámaras y sistemas de reconocimiento facial y de audio.

Humanoides: Poseen sistemas de locomoción con patas (ASIMO y NAO) más difíciles de programar que los que poseen ruedas (Pepper y Sophia), los bípedos son más difíciles de programar que los cuadrúpedos, les es difícil mantener una conversación fluida con personas debido a la complejidad de la conversación, el lenguaje natural y el contexto de la misma, por lo que se utilizan redes neuronales, bots telefónicos y asistentes de voz como Siri o Alexa.

} 3.5 LOCOMOCIÓN CON PATAS

Equilibrio estático: No se cae si se para, el centro de gravedad cae dentro del polígono de apoyo, si una pata se mueve el polígono cambia, posee muchos modos de caminar, y si se tienen muchas patas es más fácil y seguro pero más lento e ineficiente.

Equilibrio dinámico: Mantiene estabilidad en movimiento, requiere más control, permite una mayor velocidad, los modos de movimiento se crean con un CPG (Central Pattern Generator) a través de un movimiento coordinado de todas las articulaciones y las extremidades que lo componen, algo que se repite cíclicamente y surge de una inspiración tanto biológica como neuronal.

} 3.6 LOCOMOCIÓN CON RUEDAS

Características: Más eficientes que las piernas y estáticamente estables cuyas ruedas pueden ser muy sofisticadas y poseen un mecanismo diferencial tipo tanque y ruedas directrices tipo coche.

} 3.7 ESPECTÁCULOS

Enjambres de drones: Controlados en posición y poseen un sistema de luces, pero no una cámara.

Animatrónica: No son interactivos y realizan movimientos automáticos (Innova).

TEMAS 4: ROBOTS EN SALUD

4.1 TELEPRESENCIA Y ASISTENTES

Características: Los doctores están presentes mediante robots de telepresencia lo que ahorra desplazamientos y permite al doctor atender a más pacientes, son capaces de establecer conexiones con dispositivos médicos mediante navegación autónoma, aunque no está muy asentado (RP-VITA, iRobot e InTouch Health 2013 FDA, compuesto por 3 ruedas, una pantalla y una tableta).

Transferencia de un paciente: Mueven a una persona de la cama para incorporarla y llevarla al baño, por lo que se necesita mucha fuerza y suavidad, y se utilizan en quirófanos, hospitales, laboratorios, residencias y hogares (PTRobot de Blue Ocean Robotics y el prototipo PTAssist de Toyota).

4.2 CIRUGÍA

Características: Existen muchos tipos de procedimientos y operaciones que van creciendo día a día asentados en el mercado mundial, ya que el 2-5% de las operaciones se hacen con robots, actúan como asistentes a los cirujanos y necesitan entrenamiento y formación para poder ser manejados.

Ventajas: Precisos, no tienen temblores, realizan giros en espacios reducidos, poseen límites virtuales de seguridad, una mejor visión y modelos 3D que conllevan una buena ergonomía y hace que el cirujano esté más cómodo sentado, lo que hace que el robot sea menos invasivo y su recuperación sea mejor.

Robot Da Vinci (Intuitive Surgical): Realiza cirugías mínimamente invasivas (cáncer de próstata, colon, recto, riñón, pulmón, ovario y endometrio), compuesto por una mesa de operaciones, 2 carros de visión, 4 brazos con instrumental médico, una cámara con 2 lentes (una para visión 3D y otra para zoom), láser y pinzas.

Extirpación de la próstata: Utilizado en el 66% de las realizadas en España, obteniendo como resultado menos sangrado, una no incontinencia de la orina y una mejor recuperación sexual.

Robot Mako (Stryker): Realiza cirugías ortopédicas de artritis, posee un modelo anatómico 3D, una tomografía personalizada, más precisión y control y proporciona mucha información al cirujano que puede hacer que el daño a los tejidos sanos y la pérdida de sangre sean menores.

Operaciones de cadera: Proporcionan un plan de la operación, realizan un registro del modelo 3D, analizan posibles dislocaciones y sensaciones permanentes y poseen comparativas con el método tradicional.

Operaciones de rodilla: Su funcionalidad puede ser parcial o total, proporcionan un plan de la operación, realizan un registro del modelo 3D, establecen límites al corte y tienen más cuidado con los ligamentos.

ROSA Brain (Zimmer Biomet): Especializado en neurocirugía (tumores en zonas difíciles, epilepsia, endoscopia y estimulación profunda) de forma mínimamente invasiva, sus movimientos están restringidos a 6 grados de libertad, realizan un registro del modelo 3D mediante "brain GPS" y actúan con rapidez.

4.3 DESINFECCIÓN Y ESTERILIZACIÓN

Características: Realizan limpiezas de patógenos y bacterias, navegan de forma autónoma y utilizan rayos UV-C, sprays y peróxidos eficaces al 99.99% (Robots de BlueOcean Robotics y Canonical Robots).

4.4 TRANSPORTE INTERNO

Características: Utilizados en medicinas, lavandería y comida, poseen navegación autónoma con un sensor láser SLAM y AMR, y sus proveedores son pequeños (Evocart de Oppent, MiR100 y Photoneo).

4.5 REHABILITACIÓN

Características: Utilizados en operaciones y en tratamientos de recuperación post-accidentes lo que hace que la rehabilitación sea más rápida, se utilizan prótesis robóticas, conexiones con señales cerebrales y diversos modos de caminar y marcha (Atlas y Mak de Marsi-Bionics).

Hocoma: Equilibrio en marcha (LokomatPro y Andago) de brazos y manos (ArmeoPower y ArmeoSpring).

Cyberdyne: Actúa como una extremidad asistida híbrida que controla señales nerviosas, multiplica la fuerza x10, trata daños en la espina dorsal y enfermedades neuromusculares, y actúa como un exoesqueleto lumbar.

4.6 ROBÓTICA SOCIAL

Características: Abarca muchos prototipos y horas de investigación que ayudan a la estimulación cognitiva y afectiva, sirven para recordar la hora de tomarse las medicinas e interaccionan mucho con el ser humano (Nao, Pepper y Paro, que trata la demencia).

TEMAS 5: ROBÓTICA DE CAMPO

5.1 INTRODUCCIÓN

Robot de campo: Compuesto por **hardware** (sensores, actuadores, procesadores, un cuerpo mecánico y los actuadores específicos de la aplicación), **software** (percepción, actuación, procesamiento de la información y toma de decisiones) y **otras capacidades** (navegación autónoma e interfaz humano-robot).

Características: Utilizados principalmente en entornos exteriores y no estructurados peligrosos y duros en el que los robots han realizado un mayor desarrollo con el paso del tiempo y abarcan muchos sectores como agricultura, minería, rescate, espacio, submarinos, inspección, mantenimiento, conducción autónoma y militar.

5.2 AGRICULTURA

Características: Sector altamente mecanizado que espera quintuplicar su crecimiento respecto al último lustro, utilizados tanto en **exteriores** (cultivos extensivos y huertas) como **interiores** (invernaderos), se encuentran dentro de la llamada agricultura de precisión con la que se pretende reducir costes y aumentar la productividad y la sostenibilidad, mientras no se vean afectados por los virus de las plantas (Monarch).

Tareas: Aran, cosechan y siembran cereales y frutas, monitorizan cultivos y malas hierbas y clasifican.

Cultivos extensivos: Aran trigo y soja, utilizan flotas de tractores eléctricos sin emisiones que trabajan 24/7 aprovechando cuando hace buen tiempo, poseen un sistema de navegación GPS y otro de visión (Cognitive Agro Pilot), diversos algoritmos de cobertura y una mayor adopción (John Deere y CNH Industrial).

Cosechas: Recogen fresas, manzanas, tomates y limones, se requiere una mayor delicadeza para no dañar las piezas, poseen cámaras RGBD basadas en DL compuestas por pinzas de succión de vacío que les permite moverse entre hileras de cepas, matas o enredaderas y saber el punto de madurez elegible de cada fruta, aunque es muy caro (robots de FFRobotics y Abundant Robotics, Virgo de Root AI, TX Robotic Strawberry Harvester de Advanced Farm Technologies y los cultivos de champiñones de Mycionics).

Viticultura: Eliminan la raspa de forma mecánica, separan uvas sanas de desperfectos (raspas, hojas e insectos), compuestos por cámaras rápidas de detección visual basadas en DL (ALIEN de CITF), sopladores neumáticos y una cinta transportadora veloz (Selective Vision de Pellenc, Scharfenberger Maschinenbau, RayTec y las Bodegas de Rioja como la Luis Cañas que producen un vino de mayor calidad).

Fumigación selectiva: Ahorra químicos y produce una contaminación menor, donde el 90% de las fumigaciones en Japón se realizan con helicópteros radiocontrol (See & Spray de John Deere AI y Volo Drone Sprayer de 9.2 m, compuesto por 18 rotores y capaz de volar 30 minutos).

Eliminación mecánica: Dino para las verduras y Ted para los viñedos (Naio Technologies), y el Stout AgTech.

Sembrado y trasplante: Utilizado en siembras exteriores no muy extensas, realizan una perforación previa, compuestos por dispensadores regulares de semillas en movimiento que permiten acelerar la reforestación.

AirSeed: Siembra 40000 semillas al día supervisado por 2 personas. En interiores, su uso está más automatizado en plántones y tiestos de horticultura (sembradora y multi-plantadora de Visser).

Monitorización de cultivos: Usan tecnología barata (cámaras hiperespectrales y térmicas), pueden generar un mapa NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) de la salud de los cultivos que proporciona información acerca de las zonas que necesitan fertilizantes, un mayor riego y la densidad real de todas las áreas del terreno (DroneDeploy y el Pix4DFields de Pix4D).

5.3 MINERÍA

Taladros automáticos: Utilizan barrenos y explosivos que permiten un mayor aumento de seguridad (centro de control) y precisión/alineamiento (Goldcorp y Rio Tinto en exteriores, y el Penguinasi en interiores).

Transporte de minerales: Utilizan camiones autónomos gigantes que se desplazan desde el frente de la mina a la zona de descarga, siempre en zonas aisladas, compuestos por un GPS, cámaras, radares e IAs, lo que permite reducir accidentes, coste en conductores, combustibles, neumáticos, contaminación y aumentar la productividad (Volvo truck, Vale, Brucutu, Carajas, Rio Tinto y el Komatsu Autonomous Haulage System).

Exploración: Realizan mapeos 3D, operan en zonas subterráneas con LiDARs, IMUs, cámaras térmicas, drones y robots con patas, y en minas acuáticas (DARPA Subterranean Challenge).

5.4 DESASTRES, BÚSQUEDA, RESCATE Y LIMPIEZA DE AGUAS

Características: Utilizados en catástrofes como inundaciones, terremotos, accidentes y entornos difíciles y peligrosos para las personas, su mercado es escaso ya que solo se tienen prototipos (muchos drones asentados pero pocos robots), existen empresas especializadas y son fundamentalmente teleoperados.

Ventajas: Aportan información a los equipos de rescate, no se cansan, son fungibles y llegan a sitios difíciles.

Ayuda: PackBot de iRobot (compuesto por orugas, pinzas, cámaras y sensores de radiactividad, utilizado en la central nuclear de Fukushima en el 2011, en el volcán La Palma de 2021), AF447 (utilizado para encontrar cajas negras de aviones en el fondo del mar y realizar labores de exploración por los desastres del Prestige y del Titanic), y Nautile de Ifremer (compuesto por dos brazos, una cámara y luces).

Incendios: Colossus de SharkRobotics (incendio de Notre Dame de 2019) y el Thermite de Textron.

Terremotos: Robots-serpiente (terremoto de México de 2017).

Valoración de daños: Terremoto de Italia de 2016 e inundaciones de Alemania de 2021.

Localización de personas (operaciones SAR): Utilizados en Islandia para rescatar al alpinista Karakorum en 2018, son baratos, rápidos, cubren mucha área de búsqueda y pueden acceder sin infraestructuras.

DARPA Robotics Challenge: Utilizados en tareas de rescate y mantenimiento, son capaces de realizar diversas tareas complejas como conducir un vehículo, avanzar por terrenos irregulares, abrir puertas, apretar válvulas, conectar mangueras, subir escaleras, despejar el terreno y perforar paredes (KAIST Hubo Robot).

RoboCup Rescue: Consiste en realizar retos tanto en entornos simulados como reales.

Limpieza de aguas: Limpian 500 Kg/día de plásticos en el agua antes de llegar al océano, pueden operar de forma teleoperada (radiocontrol) o autónoma (puntos de paso), son eléctricos y compactos, están compuestos por un GPS y un LIDAR anticollisiones (WasteShark de RanMarine y Jellyfishbot de IADIS).

5.5 ROBOTS EN EL ESPACIO, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y USOS MILITARES

Características: Capaces de detectar zonas de alta radiación, poseen un amplio rango de medida de temperaturas, son carísimos ya que están desarrollados a medida y están compuestos por muchos sensores y patas y ruedas robustos (Perseverance Rover y el Ingenuity Drone de la NASA).

Aplicaciones: Cartografía 3D, elevaciones, inspección de infraestructuras, agricultura, aseguradoras, Kespry (tejidos y aparcamientos), drones, robots con patas teleoperados con tendencia a la autonomía y están compuestos por una fase de recogida de datos y otra de procesamiento.

Aportaciones: Rápidos, baratos, seguros (no ponen a personas en riesgo), precisos y eficientes.

Cartografía: Miden volúmenes mediante SLAM, utilizados en fotogrametría, levantamientos topográficos y seguimientos de obras civiles (Conyca, Pix4D Mapper y DroneDeploy 3D Mapping).

Inspección de infraestructuras: Utilizados en plantas petrolíferas y de gas (Halo Robotics, Petrobot y Tank Farm Inspection), calderas, chimeneas industriales, tanques, torres eléctricas (MMC UAV), aerogeneradores (Siemens-Gamesa y Helvetis) y gasoductos (GRAID robot), reducen costes al no utilizar andamios, son más seguros al no implicar a una o varias personas, utilizan cámaras y un LIDAR para procesar imágenes con DL, un sonar sofisticado y puntos de inspección térmica, visual y auditiva para una mayor repetibilidad (Spot de Boston Dynamics en estaciones eléctricas y minas y el Animal de Anybotics en trenes y plantas químicas).

Dron: Robot con motores eléctricos de hélice, sensores (GPS, IMU, cámaras y LIDAR), carga de pago, ala fija, VTOL y helicópteros multirrotores procedentes del mundo aeronáutico (Mavic y el Phantom de DJI).

Mecanismo de vuelo multirrotores: Compuestos por yaw, pitch y roll, además de diversas velocidades, pasos de hélices, fuerzas y pares de sustentación y movimiento, poca duración de baterías y alta maniobrabilidad.

Software para drones: Compuesto por un mando de teleoperaciones, estación de tierra (GCS y estaciones de tierra como QGroundControl y MissionPlanner que abordan misiones mediante el uso de sensores), aeronave (ecosistemas ArduPilot y PX4, controlador de vuelo y autopiloto), conexión por radio o wifi y un protocolo de mensajes MAVlink que comprende diversos modos de vuelo (auto, RTL, landing, loiter y offboard), armado y desarmado, marcos de coordenadas, MAVROS y simuladores (Software In The Loop SITL, Gazebo y AirSim).

Controlador de vuelo: Permiten una mayor estabilización de vuelo en un control a bajo nivel, navegación mediante control en posición por GPS o mediante control reactivo en velocidad basado en visión mediante un algoritmo sigue-personas RGBD capaz de evitar obstáculos (Tello Drone con estabilización óptica).

Usos militares: Drones de reconocimiento (cámara, teleoperados y localizan blancos), barcos-bomba (fungibles y muy precisos), combate (Bayraktar utilizado en Turquía) y el Packbot 525 de Teledyne FLIR

Defense iRobot (cámara, teleoperado y utilizado labores de vigilancia como la desactivación de explosivos improvisados en Irak o en las cuevas de Afganistán).

TEMAS 6: CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

6.1 INTRODUCCIÓN

Características: Conllevan menos siniestralidades y más seguridad que en la conducción manual (1.35 millones de muertes al año, el 94% de ellas causadas por errores humanos), permite aumentar la movilidad de personas mayores o ciegas, lo que mejora la eficiencia y reduce el coste de los conductores.

Aplicaciones: Transporte de **personas** (robotaxis y autobuses) y **mercancías** (logística y última milla).

Investigación: **Años 80-90** (NavLab y Mercedes-Benz), espaldarazo de las competiciones internacionales en los **años 2000** (DARPA Grand Challenge en 2004-2005 y DARPA Urban Challenge en 2007) gracias al uso de tecnología robótica a la que se puede acceder técnicamente, aunque sigue siendo un problema complejo.

6.2 COCHE AUTÓNOMO

Coche autónomo: Compuesto por **hardware** de sensores (GPS, IMU, odometría, LIDAR, cámaras, radar, ultrasonidos y micrófonos), actuadores (acelerador, freno, volante y señalización) y procesadores (CPU y GPU), además del **software** de percepción (fusión sensorial de la escena y localización), planificación de la ruta global/local, control, actuación, procesamiento de información y toma de decisiones, al igual que los robots, poseen un cuerpo mecánico (coches, autobuses y camiones), son capaces de navegar autónomamente mediante el uso de una interfaz humano-robot con el usuario, su programación pasa de ser manual a controlada por una IA clásica (características y clasificación) donde el DL coge mucha importancia, y utiliza sistemas extremo a extremo para un mejor control visual (CNN, RNN y DRL).

Desarrollo: Actualmente se sigue madurando y extendiendo el uso de esta tecnología capaz de dar un nivel de seguridad que reduzca el número de accidentes y aumente el número de personas salvadas. Sin embargo, cualquier fallo o hackeo (Jeep 2015) puede conllevar consecuencias fatales (2016 y 2020).

Productos: Waymo de Google (calcula trayectorias espaciales, utilizado en entornos locales para realizar predicciones y servicios de taxi en Phoenix en 2017 y en San Francisco en 2021), AutoX de Alibaba, Aptiv de Motional, Uber de Aurora, Tesla (coche autónomo y eléctrico) y Navya (autobuses y carros de equipaje).

6.3 NIVELES DE AUTONOMÍA

Nivel 0 (Solo Conductor): El conductor ejerce continuamente control longitudinal y lateral.

Nivel 1 (Asistido): El conductor y el sistema ejercen continuamente control longitudinal o lateral.

Nivel 2 (Automatización Parcial): El conductor monitorea el sistema en todo momento, el cual tiene control longitudinal y lateral en casos específicos.

Nivel 3 (Automatización Condicional): El conductor no monitorea el sistema en todo momento, siempre debe estar en condiciones de retomar el control el cual tiene control longitudinal y lateral en casos específicos, reconoce los límites de rendimiento y solicita al conductor retomar el control dentro de un margen de tiempo.

Nivel 4 (Alta Automatización): No se requiere controlador durante el caso de uso definido, donde el sistema puede hacer frente a todas las situaciones automáticamente en un caso de uso definido.

Nivel 5 (Automatización Total): El sistema puede hacer frente a todas las situaciones automáticamente durante todo el viaje (no se requiere conductor).

6.4 SISTEMAS DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN

Sistemas de ayuda a la conducción (ADAS): Pasivos (ABS, ESC, cámaras y sonar), activos, control de crucero (velocidad de referencia), control de crucero adaptativo ACC (distancia al de delante), mantenimiento de carril LKS, aviso de salida de carril LDWS, frenada de emergencia AEB y autoaparcamiento.

6.5 ROBUSTEZ Y PERCEPCIÓN

Robustez: Problema complejo en situaciones heterogéneas ya que pueden tenerse escenarios (autopistas, autoaparcamiento, atascos, recintos cerrados y entornos urbanos) y condiciones climatológicas muy variadas.

Percepción: Ágil y robusta, capaz de entender la escena (carretera, peatones, vehículos, señales y carriles), detectar y seguir objetos en 3D, fusiona el LIDAR con las cámaras (carencia de razonamiento espacial), utiliza DL en su mayoría, pasa de la detección basada en modelos (detectores por separado) a la segmentación semántica, donde cada píxel se clasifica y las instancias se segmentan (nVidia), y puede predecir el comportamiento de los objetos de la escena.

} 6.6 MAPAS HD (HIGH DEFINITION MAPPING)

Mapas HD (High Definition Mapping): Proporciona un inventario detallado de características de la carretera y objetos al lado (carriles, señales de tráfico, curvaturas, pendientes, restricciones de velocidad y obras), además de una precisión métrica y una actualización continua, es capaz de extender la información (360° y condiciones meteorológicas difíciles), se combina con la percepción a bordo, están organizados por capas (SDK), se usan en navegadores actuales (ADAS) y en conducción autónoma, poseen un amplio mercado de proveedores (TomTom, HERE y nVidia) y su estandarización para interoperar apenas es incipiente (Navigation Data Standards association).

} 6.7 INTERFAZ DE USUARIO, SIMULADORES Y DATOS

Interfaz de usuario: Utiliza un entorno gráfico local (mapa global con ruta y variables internas), de audio y voz.

Simuladores: Cruciales para madurar el software (entrenan modelos, validan software, trabajan en entornos difíciles/raros y proporcionan una respuesta en choques reales) y son realistas/fotorrealistas (Carcraft y SimulationCity de Waymo, Carla y Udacity Car Simulator).

Datos: Cruciales para madurar el software en una gran variedad de situaciones reales, entrenan las partes de IA con etiquetas y cada vez son más los datos reales acumulados (nuScenes Dataset, KITTI Vision Benchmark Suite y la fundación Autoware de Github).

} 6.8 PRUEBAS REALES

Pruebas reales: Realizadas gracias a permisos especiales de los reguladores en ciudades, proporcionan información sobre los kilómetros recorridos entre desactivaciones, disminuyen el número de accidentes, y resuelven problemas éticos como decidir de quién es la responsabilidad en caso de posibles fallos.

TEMAS 7: APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN ROBÓTICA DE SERVICIO

7.1 APRENDIZAJE NEURONAL Y PROFUNDO

Introducción: Existen muchas maneras indirectas de programar robots de servicio las cuales no son explícitas (aprendizaje automático, neuronal y por refuerzo), y su entrenamiento no implica la inferencia de las mismas donde el sistema entrenado se conecta a los sensores y a los actuadores.

Aprendizaje neuronal y profundo: Modelo de cómputo que se puede ajustar con datos, está compuesto por una neurona con una función de activación de sumatorio ponderado, una red de neuronas conectadas según una topología (modelo, capas y fully connected) y pesos concretos.

Características: Su entrenamiento equivale al ajuste de pesos con muchos datos supervisados, utiliza el algoritmo de aprendizaje “backpropagation”, middlewares neuronales como TensorFlow (Google) y PyTorch (Meta), y su formato es standard ONNX basado en topología y pesos.

Usos: Clasificación, detección, regresión, predicción y actuación como aproximadores universales de funciones desde valores puntuales, se utilizan en percepción (detección de objetos) y en control (actuadores).

7.2 REDES NEURONALES PARA PERCEPCIÓN DE ROBOTS DE SERVICIO

Características: Detectan objetos en imágenes, proporcionan un mayor entendimiento de la escena del robot de servicio, existen muchas redes preentrenadas y listas para usar (Darknet-ROS) y diversos modelos (SSD, YOLO, Faster R-CNN y Mask R-CNN).

Ejemplos: Etiquetado de imágenes (Datasets COCO e ImageNet), conjuntos de training, validation y testing, y métricas de calidad (precision y recall), cuyo rendimiento depende del dataset de test.

Monitorización visual de tráfico: Detecta y clasifica mejor que la Visión Artificial Clásica ya que diferencia mejor los fondos, realiza un tracking de puntos de interés gracias a un clasificador SVM, el uso del DL proporciona una mayor robustez frente a climatología adversa en comparación con cámaras malas, cuyo dataset incluye ejemplos de imágenes difíciles.

Detección 3D de personas (HRI): Posee una cámara RGBD, no utiliza marcadores IR, pero sí un modelo de personas en 2D con DL (OpenPose) y en 3D.

Robot móvil sigue personas: Compuesto por una cámara (sensor principal) y redes capaces de detectar personas, caras e individuos, cuya optimización se realiza con TensorFlow, poseen una memoria de corto plazo, realizan seguimientos robustos y se utilizan en control (VFF y casos).

Dron sigue personas: Compuesto por una cámara (sensor principal), una red neuronal capaz de detectar personas, 3 controles PID simultáneos (avance, giro horizontal y elevación), y realizan seguimientos robustos.

7.3 REDES NEURONALES EXTREMO A EXTREMO EN ROBOTS DE SERVICIO

Características: Percepción, decisiones, modelos y datos, se utilizan en conducción autónoma (PilotNet de nVidia), un solo fallo en el control puede ser dramático y una frecuencia alta mejora la calidad del comportamiento generado.

Coche autónomo sigue línea: Posee una cámara en la entrada de la red y los motores en la salida, un dataset generado con un piloto programado de forma explícita o manual, aprende a controlar de forma reactiva/visual desde ejemplos supervisados, los casos difíciles aportan mucho al entrenamiento (aumento artificial y dataset balanceado) aunque son poco frecuentes, su red de clasificación se basa en la discretización de V y W, no le distraen las imágenes recortadas y están compuestas por una red de regresión con salidas lineales.

Coche autónomo real sigue línea: Reentrena una red preentrenada, funciona con distintos circuitos e iluminaciones, su función de pérdida evoluciona, posee un tiempo de inferencia crítico, unas redes son más rápidas que otras (JetBot, compuesto por una cámara y varios motores).

Transfer learning: Reentrena redes preentrenadas adaptándolas a problemas concretos, donde el reentrenamiento parte de pesos razonables y reutiliza cálculos de los descriptores/features más interesantes.

7.4 BALANCE GENERAL

Características: Aportan robustez, son imprescindibles en el mundo real, generalizan razonablemente bien con límites, son lentos debido a su coste computacional aunque se pueden optimizar (CPU, GPU y chips de AI), tienen poca explicabilidad y existen diversos modelos (redes convoluciones CNN, recurrentes y LSTM).

Dataset supervisado: Generados por simuladores o etiquetando a mano (LabelMe), funciona mejor con grandes volúmenes de datos, por lo que cuanto más variados sean, mejor (Data Augmentation).

7.5 APRENDIZAJE POR REFUERZO

Características: Utiliza el método de ensayo y error por lo que muchos intentos se apoyan en simulación, está compuesto por un agente y un ambiente en el que se llevan a cabo acciones, estados y recompensas, utilizan algoritmos de aprendizaje como Q-Learning y DQN, asignan créditos, llevan el control de los robots de servicio (Multi-Agent Hide and Seek de OpenAI).

Videojuegos de Atari: Empresa DeepMind con entradas puramente visuales, posee puntos tal y como son en el juego Breakout el cual se puede jugar automáticamente y utiliza el algoritmo Deep Q Learning (Agent 57 de 2018).

Autoparking: Posee un control para aparcar automáticamente desde distintas posiciones de inicio y final, su principal objetivo es llegar y ajustar el coche sin chocarse con nada, y puede aparcar tanto en batería como en línea.

Seguimiento de una línea basado en visión: Utiliza un coche de Fórmula 1 con cámara, los puntos de inicio son aleatorios y tiene como objetivo tener centrada la línea roja en la imagen.

TEMAS: 8.1 INTRODUCCIÓN

8.1 INTRODUCCIÓN

Características: Existen modelos AGV y AMR encargados de transportar materiales en fábricas o almacenes, tienen un creciente comercio en línea con muchas flotas de robots, y las fábricas poseen cadenas de montaje, mientras que los almacenes poseen robots de entrega final.

8.2 AGV VS AMR

AGV (Automated Guided Vehicles): Caminos preestablecidos, son filoguiados, baratos y poseen marcadores.

Características: **Navegación** (se guían mediante tiras magnéticas o cables instalados sobre o debajo del suelo), **despliegue** (requieren la instalación de guías de navegación, lo que puede requerir una renovación sustancial de las instalaciones), **flexibilidad** (cambiar los patrones operativos o el flujo de trabajo del AGV requiere repetir el proceso de implementación), **sensibilidad** (no son capaces de adaptarse a cambios del entorno ni a obstáculos que se encuentran en su camino), **costo** (requieren cambios de infraestructura en las instalaciones, lo que cuesta tiempo, dinero y pérdida de productividad) y **accesibilidad** (normalmente requieren expertos para configurar o reconfigurar el sistema).

AMR (Autonomous Mobile Robotics): No necesita marcadores, son más flexibles, fáciles de desplegar, evitan obstáculos y poseen más sensores.

Características: **Navegación** (crea y guarda un mapa de instalación en el que calcula dinámicamente la mejor ruta A → B en un momento dado), **despliegue** (requiere cambios mínimos en las instalaciones o ninguno en el caso de los AMR Waypoint que se pueden desembalar e implementar en 15 minutos), **flexibilidad** (planifican dinámicamente el camino más corto A → B, y si el trabajo cambia a A → C, los patrones operativos pueden cambiar con un clic del mouse), **sensibilidad** (detectan y evitan automáticamente obstáculos y caminos bloqueados para encontrar la mejor ruta hacia su próximo objetivo), **costo** (no requieren cambios en las instalaciones, tiempo de inactividad y costos de implementación adicionales) y **accesibilidad** (pueden ser configurados y reconfigurados por la fuerza laboral en el trabajo actual que mueve materiales).

DTA: Llevan cargas pesadas (nucleares, siderurgia y aeronáutica) con muchas posibilidades de guiado.

ASTI: Modelo de Mobile Robotics comprado por ABB.

8.3 CADENAS DE MONTAJE

Cadenas de montaje: Utilizan logística interna, llevan materiales pesados y piezas, conocen las zonas de carga y descarga y poseen un mapa del entorno (BMW de Smart Transport).

8.4 ALMACENES

Almacenes: Compuestos por zonas de paletizado/despaletizado y de reabastecimiento, donde preparan pedidos aprovechando mejor el espacio y la densidad del entorno, son flexibles, escalables y fiables, su tiempo de entrega es eficiente, reducen el stock y los costes, su nivel de rotación puede ser bajo, medio o alto, y algunos de ellos han pasado de ser AMR a sistemas integrales.

Locus (DHL) y Seegrid: Poseen sensores láser y de visión, son capaces de seguir a una persona, navegan autónomamente, no necesitan infraestructuras y utilizan una tableta táctil para la interacción humano-robot.

Cofares: Utilizado en logística farmacéutica y en pedidos de farmacias, consiste en cubetas viajeras que se van llenando clasificadas por códigos de barras (85% robotizado, 15% control manual).

Amazon: Despaletizan, mueven estanterías y paquetes, las personas trabajan para las cargas y descargas finas, la productividad pasa de 100 ítems/hora a 350 ítems/hora, existen más de 200000 robots de este tipo (Kiva Systems, 5 km/h y 500 kg).

AutoStore: Cajas estandarizadas que trabajan con altas densidades en 3D (XXL y PUMA).

Exotec (Skypod): Robots verticales que trabajan con altas densidades.

8.5 ROBOTS DE REPARTO

Robots de reparto (última milla): Trabajan en exteriores, existen prototipos en entornos reales, utilizan tecnología de conducción autónoma, y su riesgo es menor debido a su pequeño tamaño y su baja velocidad (prototipo prime Air de Amazon y Starship, capaces de superar bordillos en entornos suaves).

Nuro: Comenzó a operar en Estados Unidos en Febrero de 2020 (R2).

TEMAS 9: INTERACCIÓN HUMANO-ROBOT

9.1 INTRODUCCIÓN

Características: Posee una interfaz de usuario para detectar personas cerca por dominio de aplicación o por modalidad sensorial, y se utiliza como una herramienta que realiza tareas cuya interacción debe ser fácil, práctica y agradable. Muchos de estos robots no tienen pantalla ni depuran en su uso, pero sí suelen estar compuestos por LEDs de colores, sonidos, botones y una pantalla táctil.

Hipótesis del valle inquietante (Masahiro Mori): Cuando la apariencia del robot es más humana, la respuesta emocional del observador humano al robot es más positiva y empática hasta convertirse en rechazo. Si sigue aumentando, la respuesta emocional se vuelve positiva y se aproxima a niveles de empatía humana.

9.2 INTERFACES POR DOMINIO DE APLICACIÓN

Usos: Robots sociales, conducción autónoma, drones y cobots.

Conducción autónoma: Posee un entorno local, un mapa global con ruta, variables internas, audio y voz.

Agricultura/Minería: Posee un gabinete y una pantalla de ordenador en telepresencia.

Inspección: Posee teleoperación, una pantalla para visualizar la cámara, drones con su respectiva estación de tierra y mando radiocontrol.

Cobots (robots industriales colaborativos): Utiliza aprendizaje por demostración para ir a cada posición.

Robots sociales: Pueden ser antropomórficos y/o zoomórficos, y su cuerpo suele ser de tamaño reducido y de forma suave y redondeada.

9.3 INTERACCIÓN VISUAL

Características: Expresan emociones como si tuviesen músculos faciales a través de una minipantalla, reconocen caras, emociones, gestos, posturas y articulaciones, y son capaces de seguir la mirada.

9.4 INTERACCIÓN VERBAL Y ESPACIAL

Interacción verbal: Convierten audio en texto mediante ASR (Automated Speech Recognition), entienden, conversan, utilizan una síntesis de voz TTS (Text-To-Speech), tecnología NLP (Natural Language Processing) y redes neuronales (Alexa, Siri y Cortana).

Interacción espacial: Utiliza zonas proxémicas y reglas de cortesía.

ANEXO 1: CHARLA CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

A1.1 ¿QUÉ ES UN VEHÍCULO AUTÓNOMO?

Vehículo autónomo: Robot móvil que realiza tareas de conducción autónoma sin intervención humana.

Características: Ubicación y mapeo, percepción, planificación, toma de decisiones y control.

Niveles de Autonomía: **Nivel 0** (sin automatización), **Nivel 1** (una tarea automática a la vez), **Nivel 2** (dos tareas automáticas a la vez), **Nivel 3** (el vehículo controla la mayoría de las tareas de conducción), **Nivel 4** (el vehículo controla todas las tareas de conducción bajo ciertas condiciones), **Nivel 5** (el vehículo controla todas las tareas de conducción en todas las condiciones).

Historia y presente: Navlab 1 (1986), ALVINN (1989), Tesla, Wayve, Comma AI, servicio de taxi autónomo de Cruise y Waymo, DARPA Grand Challenge (2004), Urban Challenge (2007) y sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS).

Rango de aplicación: Diversa gama de entornos y condiciones climáticas, escenarios urbanos como carreteras y autopistas, uso de mapas, amplia gama de vehículos, donde la robustez es clave en el movimiento a alta velocidad de los pasajeros.

A1.2 ¿POR QUÉ USAR VEHÍCULOS AUTÓNOMOS?

Usos: Salud y seguridad públicas (el 94% de los accidentes son causados por errores humanos), reducción del estrés del conductor, mejora de la productividad y la movilidad de personas que no conducen, coste y propiedad menores, operativos y compartidos, los cuales producen menos contaminación y congestión en aparcamientos.

Realidad: Salud y seguridad públicas (nuevos peligros como fallos de software, piratería informática y reducción del uso del cinturón por falsa sensación de seguridad), nuevos factores estresantes (el vehículo no llega a determinadas zonas de lluvia y está falto de mapas, coste y propiedad, ahora mismo son más caros los sensores y las actualizaciones de software, posee muchos problemas de propiedad compartida (similar a un autobús) y sus costes externos podrían aumentar.

A1.3 ¿POR QUÉ ESTE CAMPO HA CRECIDO TANTO RECIENTEMENTE?

Crecimiento: Aprendizaje profundo, GPUs (unidad de procesamiento gráfico con una alta capacidad de procesamiento paralelo para cálculos matriciales y operaciones vectoriales), sensores (cámaras monoculares, omnidireccionales y de eventos, LIDAR, radares y sensores propioceptivos de velocidad, aceleración y GPS), conjuntos de datos disponibles para realizar diversas tareas como el seguimiento de carriles (CommaAI y Udacity), percepción (nuScenes y BDD100K), planificación (nuPlan) y simulación (CARLA, Gazebo y SUMO).

Generalización: Diferentes vehículos, ciudades (o entornos no urbanos), condiciones climáticas y situaciones nunca vistas en los datos.

A1.4 ¿CÓMO FUNCIONA REALMENTE?

Paradigmas: **Conducción modular** (solución de cada tarea por separado) y **aprendizaje de extremo a extremo** (todo se resuelve en un solo pase hacia adelante).

Conducción modular: Varios componentes se comunican, cada componente resuelve una tarea, la tarea compleja se divide en minitareas, los errores se propagan y hay demasiada complejidad.

Aprendizaje de un extremo a otro (aprendizaje por imitación): Se genera un conjunto de datos a partir de la orientación de expertos, se guardan los pares de salidas control-sensor, está entrenado por un conjunto de datos que aprende de los datos sin procesar, existen diferencias entre las evaluaciones de un circuito abierto (conjunto de datos) y circuito cerrado (Carla Leaderboard, Behavior Metrics).

Problemas: Pueden necesitar datos de forma urgente, donde éstos pueden estar desequilibrados.

Aprendizaje de un extremo a otro (aprendizaje por refuerzo): Aprendizaje por prueba y error en el que primero se debe aprender la política en simulación por razones de seguridad, ya que consume demasiados datos, y esto puede provocar una paralelización del entrenamiento.

A1.5 ¿QUÉ SE HACE REALMENTE?

Behavior Metrics: Herramienta de software de código abierto desarrollada para ayudar a la investigación en el campo de la conducción autónoma.

Características: Explora y compara varios enfoques para mejorar la capacidad de un sistema E2E para AD basado en el aprendizaje por imitación agregando memoria visual y entrada de datos cinemáticos, además de explorar y comparar una variedad de alternativas para el modelo optimizado en el contexto del aprendizaje por imitación E2E basado en conducción autónoma en escenarios de tráfico.

Usos: Desarrollo de un sistema de gestión del tráfico (TFM), un sistema de navegación mediante comandos (GSoC) y un sistema de navegación basado en LLMs (GSoC).

Estado del arte y problemas abiertos: Existen soluciones muy potentes en ambientes controlados (industria e investigación), además de una gran falta de generalización y un acercamiento hacia las soluciones propuestas por E2E, y se sugiere que se tendrán coches autónomos entre 2020 y 2060.

ANEXO 2: EL LENGUAJE COMO UI

A2.1 INTRODUCCIÓN

2001 Una Odisea en el Espacio (Stanley Kubrick, 1968): Realiza predicciones sobre los ordenadores del 2001 (capacidad de mostrar gráficos a color, jugar al ajedrez a nivel competitivo y mantener conversaciones abiertas con los humanos).

Ejemplos: Toy Story (1993), The Lord of the Rings (2001) y Kasparov vs Deep Blue (1997).

A2.2 SISTEMAS CLÁSICOS DE ANÁLISIS DE LENGUAJE

Características: Basados en reglas, poseen stop words (palabras que se ignoran porque se cree que no aportan información), lematización, radicalización y técnicas estadísticas y probabilísticas basadas en la teoría de la información (conjuntos de palabras o n-grams cuya información extraída comparada con la distribución de términos de uno o todos los documentos).

A2.3 PRIMER ADVENIMIENTO DE REDES NEURONALES

Redes Neuronales: Redes sencillas que transforman las palabras del lenguaje en un espacio vectorial multidimensional.

Características: Cada palabra se transforma en un vector multidimensional, el significado de dos palabras es próximo si sus vectores también lo están en el espacio multidimensional, y las palabras relacionadas pueden interpretarse como operaciones vectoriales sobre las palabras de origen.

Ejemplos: word2vec de Google (2013) y GloVe de Stanford (2014).

Aplicaciones: Clasificación y extracción de información.

Redes Neuronales Recurrentes (RNN): Permiten introducir memoria en las capas de la red mediante la adquisición de contexto sobre fragmentos anteriores, como el caso de Alexa (LSTM y GRU).

A2.4 TRANSFER LEARNING

Transfer Learning: Representa la segunda revolución del uso de redes neuronales para el procesamiento del lenguaje tras el uso de vectores y redes recurrentes, permite reutilizar grandes modelos entrenados con anterioridad para la resolución de nuevas tareas o su aplicación a datos diferentes, y su entrenamiento se produce en las fases de pre-training y fine-tuning (ajuste fino).

Fase 1 (Pre-training): Se entrena un modelo de lenguaje con una cantidad masiva de datos, capaz de extraer información sobre cómo funciona el idioma a base de examinar millones de ejemplos de textos escritos en ese idioma, aunque la temática no importa demasiado.

Fase 2 (Fine-tuning): Se adapta el modelo a un nuevo conjunto de datos con características particulares o para resolver un nuevo problema.

Modelo de Lenguaje: Se muestra al modelo un montón de secuencias de texto, se entrena para predecir la siguiente palabra o elemento, se enseña al modelo una frase incompleta, se le pide que adivine la siguiente palabra y se compara con la que se sabe que viene realmente a continuación, lo que permite mejorar el aprendizaje. No se necesita intervención humana para etiquetar los datos, como ocurre en otros campos, tan sólo se necesita recopilar cantidades ingentes de texto (el modelo aprende cómo funciona el lenguaje en términos estadísticos).

A2.5 ARQUITECTURA TRANSFORMER

Arquitectura Transformer: Versión mejorada de las capas recurrentes con memoria desarrolladas con anterioridad (LSTM), utiliza un mecanismo de atención para fijarse en elementos que figuran en otras posiciones del mensaje y estimar cuál es su importancia para el significado de la frase, consiguiendo inmediatamente resultados espectaculares para tareas muy complicadas como la traducción automática, además de ser más fáciles y rápidos de entrenar y utilizar.

} A2.6 PRIMEROS GRANDES MODELOS (LLM)

LLM: Combinación de Fine-tuning y la arquitectura Transformers que permite entrenar modelos cada vez más grandes y costosos de entrenar.

Aplicaciones: Traducción, respuesta a preguntas sobre el texto, elaboración de resúmenes, extracción de información y generación de texto.

Características: Entrenados con texto extraído de internet ya que la enorme cantidad de datos hace a estos modelos muy robustos y les dota de gran capacidad de generalización, además de ser capaces de aprender nuevas tareas con muy pocos ejemplos (o incluso con ninguno).

Inconvenientes: Introduce sesgos procedentes de los datos entrenados, genera texto sin contrastar y le es complicado incorporar mecanismos de control.

Open Source: Algunas empresas liberan sus modelos en código abierto como Meta, donde se puede acceder al código fuente del modelo, pesos/parámetros entrenados, información parcial sobre datasets entrenados, y una mayor flexibilidad para moldear el modelo para que adopte la personalidad deseada en la aplicación con guardrails más o menos severos según la necesidad.

} A2.7 FEW-SHOT CON GPT-3

GPT-3: Sistema generativo entrenado para producir textos al cual se le dan ejemplos de lo que se quiere, siendo capaz de extrapolar para continuar de forma verosímil.

GPT-4: Dada una secuencia de texto, predice qué es lo más probable que puede venir a continuación, donde la generación se repite token a token.

ChatGPT: Fine-tune de GPT-4 entrenado con secuencias de conversaciones utilizado en aprendizaje por refuerzo para incorporar las preferencias de usuarios reales (RLHF). Además, este producto incorpora acceso a páginas web para consulta, está integrado a sistemas de generación de imágenes, e incluye una biblioteca de plugins desarrollados por terceros y Guardrails para evitar contenido violento, racista, obsceno o violento.

Características: Accesible como producto y vía API para programadores, las cuales tienen muchas limitaciones (no pueden acceder a detalles del modelo para ver cómo funciona, no pueden hacer fine-tuning o construir un modelo mejor basado en GPT-4, no sabe nada sobre los datos utilizados, le es muy difícil evaluar el modelo para analizar sesgos, privacidad de datos y la probabilidad de generar respuestas falsas, y no se pueden evaluar ni evitar los mecanismos de control que controlan la generación).

} A2.8 MODELOS ABIERTOS

Hugging Face: Ecosistema con más de 600000 modelos de lenguaje de cualquier tipo y más de 200000 datasets públicos (Open source y comerciales), su software es open source para que se pueda utilizar como librerías transformers o diffusers. Además, se realiza hosting de aplicaciones web basadas en modelos que pueden programarse con unas pocas líneas de Python (existen más de 300000 actualmente).

Hugging Chat: Interfaz chat que permite el acceso a varios modelos abiertos a elección del usuario.

Genealogía de modelos Open Source: Gráfico interactivo que muestra los modelos basados en el modelo abierto Mistral 7B, desarrollado por Llama 2 7B, que demuestra la potencia de la comunidad colaborando para construir sobre código y modelos abiertos.