
Robótica móvil

PID_00253879

Carles Soler Puig

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas



**Carles Soler Puig**

Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y MBA por ESADE Business School. Experto en robótica colaborativa, actualmente es director de Casiopea Robotics. Preside la Fundación educaBOT. Miembro de la Comisión Industria 4.0 de Enginyers de Catalunya.

Índice

Introducción.....	5
1. Tipología.....	7
1.1. AGV (<i>Autonomous Guided Vehicle</i>)	7
1.2. AIV (<i>Autonomous Intelligent Vehicle</i>)	8
1.3. Robot móvil	9
1.4. Brazos móviles	11
2. Características.....	13
2.1. Sistema de navegación	13
2.2. Sistema anticolisión	15
2.3. Transferencia de carga	15
2.4. Gestión del sistema	17
3. Aplicaciones.....	19
3.1. Proceso industrial	19
3.2. Almacén robotizado	21
3.3. Logística externa	23

Introducción

Un vehículo autoguiado (*Automated Guided Vehicle*, AGV) es un vehículo que se mueve sin conductor y que para su “navegación” sigue líneas marcadas o hilos metálicos instalados en el suelo, o bien usa visión o láseres. Desde los años 70 la industria ha incorporado vehículos autoguiados para automatizar procesos logísticos y productivos complejos. Dichos dispositivos, correctamente diseñados y dimensionados, permiten reducir tiempos de parada, disminuir el riesgo de accidentes laborables y monitorizar los procesos de producción.

1. Tipología

Una primera clasificación de vehículos autoguiados distingue entre los *Autonomous Guided Vehicles* (AGV), dispositivos que se desplazan por una ruta de navegación predefinida en un espacio controlado, y los *Autonomous Intelligent Vehicles* (AIV), dispositivos realmente autónomos capaces de navegar en un entorno no controlado. A su vez, estos reciben distintos nombres genéricos según se desplacen por tierra (*Autonomous Guided Vehicle*, AGV), aire (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV), bajo el agua (*Unmanned Underwater Vehicle*, UUV, o *Autonomous Underwater Vehicle*, AUV) o por su superficie (*Unmanned Surface Vehicle*, USV, o *Autonomous Surface Vehicle*, ASV).

Considerando la definición de robot de la ISO (norma ISO 8373:2012), que define un robot como un "mecanismo programable en dos o más ejes, con un cierto grado de autonomía, que se mueve dentro de su entorno para realizar las tareas previstas", los AGV no son robots (tienen un único grado de libertad) y los AIV sí. A nivel industrial suele utilizarse el término AGV para referirse a los AIV. A veces se denomina AGV/AIV a un vehículo que se desplaza en un entorno previamente conocido y robot a un dispositivo que puede desplazarse por un entorno no caracterizado antes de iniciar su movimiento.

1.1. AGV (*Autonomous Guided Vehicle*)

Tal como se ha dicho, un AGV es un dispositivo móvil que se desplaza por una ruta de navegación predefinida. Puede encontrarse en:

- Entornos industriales para mover piezas, cajas, palés o herramientas.
- En interiores de entornos no industriales, como oficinas u hospitales.
- En áreas al aire libre, como puertos, aeropuertos o centros logísticos.

El primer sistema AGV se construyó en 1953 (figura 1): se trató de un tractor modificado que seguía un cable, y se utilizó para arrastrar un remolque en un almacén de productos de alimentación. A mediados de la década de los 70 se introdujeron y popularizaron las plataformas de carga. La evolución tecnológica de los sistemas de guiado (ver apartado 2. Características) permitió incrementar su flexibilidad y precisión.

Figura 1. Primer AGV



Fuente: Barrett Electronics.

La configuración básica de un AGV es una plataforma (figura 2), pero también puede incluir un contenedor para almacenar objetos, un dispositivo de transferencia tipo horquillas (toro mecánico) (figura 3) o algún elemento con el que se pueda remolcar otros dispositivos móviles (carros...).

Figura 2. AGV tipo plataforma



Fuente: JBT Corporation.

Figura 3. AGV tipo toro



Fuente: Jungheinrich.

Dado que los AGV deben trabajar en entornos predefinidos, son poco flexibles e introducir modificaciones suele ser costoso; además, cualquier evento inesperado puede provocar un error en el comportamiento del sistema.

1.2. AIV (*Autonomous Intelligent Vehicle*)

Se consideran AIV los dispositivos móviles que pueden determinar autónomamente el mejor camino para completar una tarea asignada, evitando posibles obstáculos.

En el entorno industrial los AIV son utilizados principalmente para transportar materiales de un lugar a otro.

Existen algunos dispositivos (figura 4) que se acoplan a vehículos logísticos ya existentes (por ejemplo, toros mecánicos) y los transforman en AIV. Esta opción permite disponer de una flota de AIV aprovechando la inversión realizada previamente en vehículos.

Figura 4. Dispositivo que transforma un vehículo logístico en un AIV



Fuente: BaLyo.

1.3. Robot móvil

Un robot móvil es un robot que es capaz de desplazarse de manera autónoma en su entorno.

El primer dispositivo considerado propiamente un robot móvil autónomo fue Shakey (figura 5), desarrollado por el Artificial Intelligence Center del Stanford Research Institute a partir de 1966, el cual era capaz de percibir su entorno, planificar una ruta y desplazarse por su cuenta. Actualmente existe una gran variedad de robots móviles en todo tipo de entornos: agricultura, hospitales, mantenimiento de infraestructuras, centros logísticos, seguridad y defensa, ámbito doméstico...

Figura 5. Shakey



Fuente: Stanford Research Institute.

Los mecanismos que permiten el movimiento de un robot en el medio terrestre pueden ser variados: desde los más simples, basados en ruedas (figura 6) o cadenas (figura 7), hasta los más complejos, que buscan reproducir el sistema bípedo locomotor humano (figura 8).

Figura 6. Robot con ruedas



Fuente: Starship Technologies.

Figura 7. Robot con cadenas



Fuente: iRobot.

Figura 8. Robot con piernas



Fuente: Honda.

Dado que la mayoría de los robots móviles están diseñados para que puedan trabajar de forma segura en el mismo espacio que las personas, en general reciben la consideración de robots colaborativos.

Contenido complementario

Un vehículo autoguiado recibe la consideración de robot colaborativo.

1.4. Brazos móviles

Tal como se comentó en el capítulo correspondiente a la robótica colaborativa, los primeros brazos robóticos colaborativos se comercializaron a partir de 2009. En ese momento las plataformas móviles llevaban tiempo establecidas en el mercado. Así, fue relativamente rápido proponer el concepto de "brazo móvil" como un brazo robótico que puede desplazarse por el entorno al estar situado sobre una plataforma.

El concepto tenía poca aplicación antes de la aparición de la robótica colaborativa, ya que las medidas de seguridad necesarias para permitir operar un robot industrial clásico hacían que ya no tuviera sentido. Hasta ese momento, si un brazo robótico necesitaba desplazarse en una instalación lo hacía sobre un carril guía (figura 9) que le permitía un único grado de libertad adicional, en sentido longitudinal.

Figura 9. Brazo robótico sobre carril guía



Fuente: MABI Robotic.

La integración de plataformas con brazos robóticos tiene un gran futuro con numerosas aplicaciones, como veremos en el apartado 3. Aplicaciones, pero la complejidad técnica que aún hoy implican este tipo de proyectos hace que sean justificables económicamente en pocas ocasiones, por lo que están muy poco implantados.

Aun así, en el mercado van apareciendo cada vez más propuestas, no solamente de integración de brazos y plataformas ya existentes de manera individual (figura 10), sino de soluciones planteadas desde el inicio como brazos móviles (figura 11).

Figura 10. KMR = Mobile platform + LBR iiwa



Fuente: KUKA Robotics.

Figura 11. TIAGo



Fuente: Pal Robotics.

2. Características

Un vehículo autoguiado tiene las siguientes características:

- Sistema de navegación. Permite que el vehículo siga una ruta.
- Sistema anticolisión.
- Transferencia de carga. Método de recogida y entrega de la carga a transportar.
- Gestión del sistema. Método de control del sistema.

2.1. Sistema de navegación

Existen diversas tecnologías utilizadas por los vehículos autoguiados para guiar su movimiento. Las más básicas permiten desplazamientos únicamente por rutas predeterminadas (figura 12):

- Magnética, seguimiento de una banda magnética en el suelo.
- Óptica, seguimiento de un contraste creado por una línea en el suelo.
- Inductiva, detección de un campo magnético en el suelo, normalmente producido mediante un cable enterrado.

Para la navegación libre (figura 13) debe usarse algún tipo de sistema de posicionamiento, como por ejemplo:

- Triangulación láser usando objetivos reflectantes. Se sitúan diversos objetivos en la instalación, en coordenadas conocidas. El vehículo dispone de una fuente y receptor de luz láser. Procesando los reflejos del láser en diversos objetivos, el vehículo puede calcular su posición. Luego compara su posición con un mapa de coordenadas y determina las instrucciones de dirección a medida que avanza por la instalación.
- Navegación giroscópica o por puntos magnéticos. En este caso, en la instalación se sitúan imanes en el suelo. La ruta que se tiene que seguir es un conjunto de coordenadas almacenadas en memoria. Cada vehículo está equipado con un giroscopio que detecta su movimiento, el cual se compara con la ruta almacenada. Los marcadores magnéticos se utilizan como puntos de referencia, con los que se corrige cualquier error acumulado.
- GPS. Aplicable solo en instalaciones exteriores.

Figura 12. Guiado mediante línea en el suelo



Fuente: SSI Schaefer.

Figura 13. AIV de navegación libre

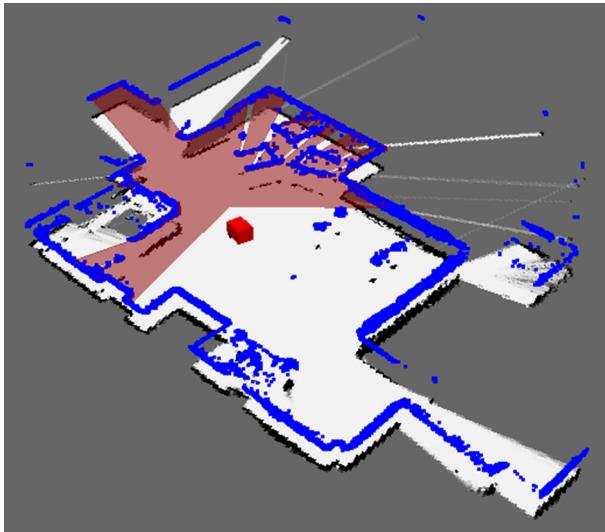


Fuente: Savant.

Un tercer grupo de tecnologías permiten el desplazamiento sin necesidad de conocer previamente el entorno.

- SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*): tecnología mediante la cual un dispositivo (en nuestro caso un robot móvil) construye un mapa de un entorno desconocido, al mismo tiempo que navega por ese entorno utilizando dicho mapa (figura 14). Actualmente el sensor más ampliamente utilizado para implementar SLAM es un escáner láser, pero también puede utilizarse visión natural.

Figura 14. Mapa generado mediante SLAM



Fuente: MAPIR.

2.2. Sistema anticolisión

En una instalación con vehículos autoguiados es básico poder evitar las colisiones, ya sea con los elementos del entorno como con otros vehículos.

Los AGV más básicos solo son capaces de detectar otros AGV del sistema. Para ello cuentan con un sistema de gestión de tráfico de control de zona, en el cual se segmenta la ruta en diversas zonas y se limita cada zona situando un único vehículo a la vez. Este control puede hacerse:

- Mediante el uso de un controlador central. Cuando un vehículo se aproxima a una entrada de zona, se comunica con el controlador central. El controlador determina si el vehículo puede entrar en la zona o debe esperar.
- Mediante el uso de los propios vehículos. Cada vehículo comunica por radiofrecuencia su posición a los otros sin necesidad de un controlador central. Cuando otro vehículo recibe la información, decide por sí mismo, según su ubicación, si puede entrar en una zona determinada.

Un segundo tipo de gestión, más evolucionado, es el control de detección de obstáculos. Un sensor (sónico, óptico...) a bordo del vehículo detecta la presencia de un obstáculo delante de él, ya sea otro AGV o un objeto inesperado en la trayectoria (por ejemplo, un operario).

2.3. Transferencia de carga

La transferencia de carga a un vehículo autoguiado y desde él puede lograrse mediante tres procedimientos básicos:

- Transferencia manual. Al llegar al destino, el vehículo se detiene y un operario realiza la acción de manera manual, ya sea situando o removiendo

una carga en la plataforma de carga o bien acoplando o desacoplando un remolque.

- Transferencia automática. Se diferencia el vehículo según si transporta una carga o arrastra un remolque.
- Carga. El vehículo autoguiado puede ir equipado con un sistema de rodillos motorizados para que la carga se pueda transferir automáticamente desde y hacia estaciones fijas, o con rodillos pasivos si el intercambio se realiza por gravedad o mediante un sistema que empuje la carga. En cualquier caso, los vehículos deben alinearse con precisión con la estación de transferencia y disponer de algún sistema de comprobación de la transferencia (figura 15).

Figura 15. Transferencia automática de carga



Fuente: KNAPP.

Si la ubicación de la carga y la plataforma de destino están a distinta altura, será necesario algún tipo de sistema de elevación, ya sea en el vehículo (figuras 16 y 17) o en la plataforma fija.

Figura 16. Vehículo con elevación de carga



Fuente: Seegrid.

Figura 17. Vehículo con elevación de carga



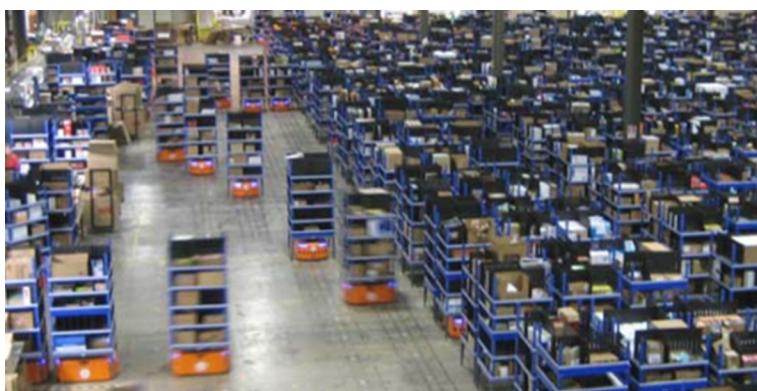
Fuente: InVia Robotics.

- Remolque. Desacoplar automáticamente los remolques de los que está tirando el vehículo es simple. Acoplar un nuevo remolque requiere que este esté en una posición precisa y que se controle que la operación se ha realizado correctamente.
- Brazo móvil. La transferencia la realiza un brazo integrado en el propio vehículo, tal como se ha presentado en el apartado 1.4 Brazos móviles.

2.4. Gestión del sistema

Las instalaciones con vehículos autoguiados requieren un sistema de gestión. Puede ser relativamente simple si solo debe controlar la actuación del propio vehículo, o llegar a ser muy complejo, si además de una flota de vehículos incorpora el seguimiento de la gestión de almacenes (figura 18).

Figura 18. Almacén robotizado



Fuente: Amazon.

Un sistema de gestión de almacenes (SGA o WMS, en inglés *Warehouse Management System*) es una aplicación informática destinada a gestionar la operatividad de un almacén: mantener de forma correcta el inventario de los artículos y sus ubicaciones en el almacén, así como la información de los movimientos

de los artículos dentro de él. Aunque pueden ser aplicaciones independientes, normalmente los SGA se enlazan con el resto de la gestión empresarial controlada por el ERP (*Enterprise Resource Planning*).

3. Aplicaciones

En entornos industriales los vehículos autoguiados se utilizan principalmente para tareas de transporte de materiales. Podemos distinguir entre aplicaciones de proceso industrial, de almacén robotizado y de logística externa.

3.1. Proceso industrial

Durante un proceso industrial existe un flujo de materiales que suele generar un movimiento repetitivo con una entrega regular de cargas estables.

- Trabajos en curso. Movimiento de materiales durante el proceso de fabricación, ya sea para mover materia prima del almacén a las líneas de producción o de un proceso a otro.
- Producto final. Movimiento de los productos terminados desde el punto final del proceso de fabricación hasta el almacenamiento o punto de envío. Suele requerir una manipulación del material más suave, por lo que es recomendable una aceleración y desaceleración controladas con precisión.

En el caso de que los dispositivos utilizados sean plataformas, las dimensiones de las piezas para desplazar provocan una gran variabilidad de tamaños: desde plataformas reducidas con modesta capacidad de carga (figura 19) hasta grandes plataformas capaces de desplazar decenas de toneladas (figura 20).

Figura 19. MiR100



Fuente: MiR Mobile Indus.

Figura 20. omniMove



Fuente: Kuka Robotics.

Un concepto asociado al transporte de materiales en un proceso industrial es el *milkrun*, metodología que permite establecer ciclos estándar de aprovisionamiento a líneas de producción y calcular los recursos necesarios para ello, con el objetivo de optimizar el aprovisionamiento en series cortas y variadas. En la práctica el *milkrun* es un trenecito (figura 21) que con un ciclo estandarizado reparte material directamente a los puestos de trabajo según su consumo a la vez que retira los contenedores vacíos y desperdicios generados.

El principal reto que supone introducir un *milkrun* con un vehículo autoguiado es decidir si la carga y descarga de material se realizará mediante un operario localizado en cada parada o mediante un sistema de transferencia automática (apartado 2.3 Transferencia de carga).

Figura 21. Milkrun



Fuente: Hyster.

3.2. Almacén robotizado

Los vehículos autoguiados permiten una gestión optimizada de almacenes, con diversos grados de automatización.

- Soporte al operario. La actividad diaria de un operario de almacén implica recorrer grandes distancias dentro de las instalaciones para llegar hasta el punto donde se ubican los productos que se tienen que recoger. Un vehículo autoguiado que acompañe al operario puede ir acumulando los productos y llevarlos autónomamente al punto donde deben ser manipulados, liberándolo de realizar recorridos que no aportan valor (figura 22).

Figura 22. Soporte al usuario



Fuente: 6 River Systems.

- *Picking* robotizado. Aunque actualmente la tecnología aún no está plenamente desarrollada, es posible plantear sustituir un operario de almacén por un brazo móvil para realizar las tareas del *picking* (figura 23). El brazo debe ir acompañado de una plataforma móvil donde ir situando los productos recogidos.

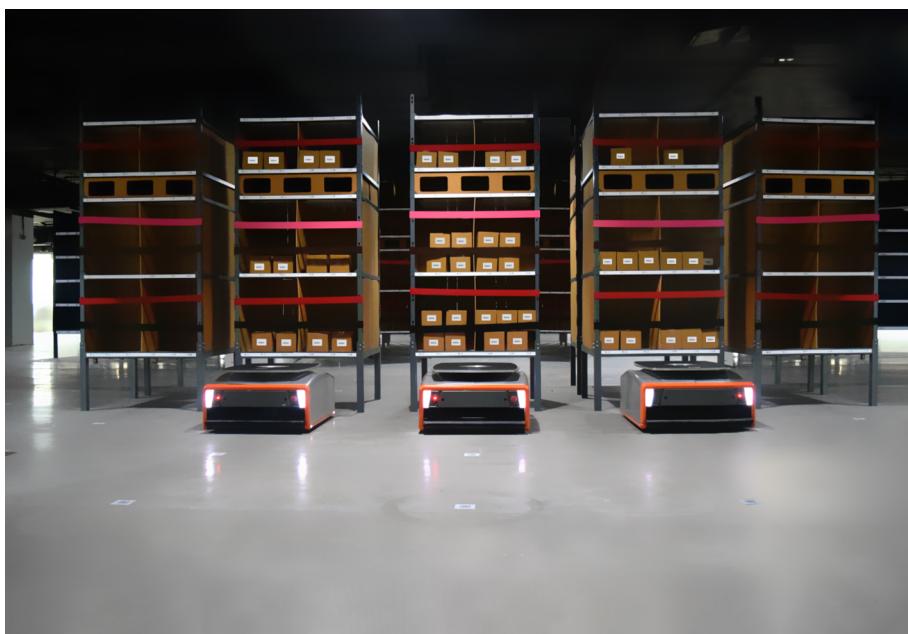
Figura 23. Picking robotizado



Fuente: Fetch Robotics.

- *Picking* en ubicación fija. Dado que en la operativa del almacén el *picking* es más complejo que el simple movimiento de productos y que aún hoy es más eficiente que lo realice un operario humano, existen sistemas en los que los operarios realizan *pickings* de manera intensiva desde una ubicación fija, y son los productos los que se desplazan hasta su posición gracias a una plataforma móvil que transporta una cubeta o toda la estantería (figura 24).

Figura 24. Plataformas móviles que desplazan estanterías hasta la ubicación donde deben realizar el picking



Fuente: GreyOrange.

Disponer de almacenes automáticos inteligentes con estructuras móviles favorece la flexibilidad de reacción ante posibles cambios, ya que se pueden adaptar fácilmente sin necesidad de realizar grandes inversiones.

3.3. Logística externa

Aunque el término "logística externa" puede ser utilizado con otro significado, consideramos que son aquellos procesos de movimiento de materiales que ocurren fuera del recinto cubierto de una empresa.

- Almacén exterior. Los objetos situados en almacenes exteriores suelen ser voluminosos (palés, contenedores...), por lo que las plataformas utilizadas son de grandes dimensiones (figura 25).

Figura 25. Plataformas autónomas en la terminal de contenedores del puerto de Hamburgo



Fuente: Puerto de Hamburgo.

- Transporte. A pesar de la gran y reciente popularización del concepto "coche autónomo", aún estamos lejos de encontrar estos vehículos plenamente operativos en carreteras públicas. En cualquier caso, los grandes esfuerzos que se están aplicando en el desarrollo de este concepto van orientados tanto al transporte de personas como de mercancías (figura 26).

Figura 26. Camión con conducción autónoma



Fuente: Mercedes Benz.

Un posible paso intermedio que permite aumentar la eficiencia en el transporte de mercancías a la espera de que los camiones autónomos estén plenamente operativos es el del "pelotón" (figura 27), en el que únicamente el primer vehículo es conducido por un ser humano, mientras que el resto de componentes se limitan a seguir el vehículo que tienen delante.

Figura 27. Pelotón de camiones



Fuente: Scania.

Dado el uso intensivo del medio marítimo en el transporte de mercancías también se ha empezado a desarrollar la idea de "barcos autónomos" (figura 28).

Figura 28. Buque mercante autónomo



Fuente: Rolls Royce.

- Última milla.

El uso de drones para la logística de última milla (figura 29) ha generado mucha repercusión mediática, pero dificultades tanto técnicas como legislativas pueden impedir que el sistema se generalice. Por el contrario, los dispositivos terrestres (figura 30) aparecen como una opción mucho más factible.

Contenido complementario

Se entiende por entrega de última milla el movimiento de mercancías desde un centro de transporte hasta el destino de entrega final, que normalmente es un domicilio.

Figura 29. Dron



Fuente: DHL.

Figura 30. Robot de entrega domiciliaria



Fuente: Domino's Pizza.

