



GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

Curso académico 2023-2024

Trabajo Fin de Grado

Sistema de reconocimiento por visión de maduración de frutos
para su recolección

Tutor: Julio Vega Pérez

Autor: David Campoamor Medrano



Este trabajo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional CC BY-NC-SA International License (Creative Commons AttributionNonCommercial-ShareAlike 4.0). Usted es libre de *(a) compartir*: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato; y *(b) adaptar*: remezclar, transformar y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas libertades mientras cumpla con los términos de la licencia:

- *Atribución.* Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatante.
- *No comercial.* Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.
- *Compartir igual.* Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Documento de David Campoamor Medrano.

Agradecimientos

Nunca es tarea fácil agradecer a tantas personas el apoyo, la ayuda y los consejos que han contribuido en mi beneficio, tanto personal como académico, durante todos estos años.

En primer lugar, me gustaría dar las gracias tanto a la Universidad Rey Juan Carlos como a todos los profesores de los que he tenido el privilegio de ser alumno, por haber sido capaces de transmitir la dedicación, pasión, disciplina y el esfuerzo tan imprescindible como necesarios para la praxis de una profesión como lo es la de ingeniero, y más concretamente en mi caso, la de ingeniero industrial.

Quisiera expresar mi gratitud a mi tutor, Julio Vega, por guiarme, acompañarme y ayudarme durante estos meses de trabajo, para mí fue todo un honor saber que finalmente había aceptado dirigir este trabajo final de grado, y de este modo cerrar un bonito círculo que empezó con él como profesor mío de informática en el colegio, donde nos enseñó, entre otras muchas cosas, que más allá de los editores de texto convencionales, existen otros sistemas para la preparación de documentos, por esto, este trabajo también es en parte suyo, ya que tanto estas líneas como el resto del documento están basados en sus enseñanzas.

Asimismo, me gustaría agradecer a Robotplus, por cumplimentar mi formación académica y darme mi primera oportunidad laboral en el ámbito industrial, y más concretamente a mis compañeros del departamento de servicio técnico y a los del departamento de I+D+i, ya que gracias a ellos hoy por hoy he podido entender y experimentar más en profundidad muchos de los principios teóricos y de los problemas que únicamente conocía sobre el papel, pudiendo desarrollarme de una manera más completa como profesional.

Agradecer también a mis amigos y compañeros de clase, los *Hijos de la Ingeniería* y David, por no haber dejado que me rindiera incluso en los peores momentos y con todo en contra, y por haber sido un gran apoyo tanto dentro como fuera de la universidad.

A mis amigos del equipo de baloncesto en Alcorcón, en especial a Rober y a Adri, por haber confiado siempre en que este momento llegaría, antes o después, y haber formado parte de este proceso del que desde antes de empezar la universidad ya formaban parte, al igual que mis amigos de Móstoles del colegio, el *Cártel de La Manga*. Y sobre todo, gracias a Sandra, por ser para mí el claro ejemplo de que la dedicación y el trabajo duro merecen la pena, pero más allá de todo esto, por estar a mi lado día a día y ser mi compañera de vida, sin ella no habría podido soñar con finalmente llegar hasta aquí.

No querría concluir los agradecimientos sin hacer partícipe a toda mi familia, y en especial a mis padres y mi hermano, la paciencia que han tenido todo este tiempo conmigo, sobre todo en época de entregas y de exámenes, pero sobre todo y más importante, la confianza depositada en mí, que mediante palabras y gestos de apoyo incondicional han demostrado. Ha sido gracias a este amor y apoyo que solo la familia sabe darte cuando más lo necesitas, por lo que sido más fácil poder alcanzar esta meta. Gracias a mis tíos y a mis primos mayores, por hacer que me interesase en el mundo de las ciencias, y más concretamente en la ingeniería y la construcción, faceta en la que ya desde pequeño había fijado mi atención jugando con aquellos bloques fabricados en plástico ABS y de colorines, ya que sin duda, fue gracias a ellos por lo que terminé de decidir embarcarme, ya desde el colegio, en las materias que guardaban mayor similitud con estos aspectos antes que en otras, puesto que veía en ellos una referencia a seguir. Pero sobre todo, gracias a mis abuelos, que como suele decirse, deberían ser eternos. Si antes hablaba de referencias, sin duda ellos han sido el máximo exponente en esto, puesto que sin sus enseñanzas y consejos, y no solo en aspectos académicos, no podría haber llegado hasta aquí. Todos ellos siempre formarán parte de mi y estarán presentes en cada una de las tomas de decisiones importantes que tenga que llevar a cabo, en las desilusiones y en los malos ratos, pero también en la consecución de mis éxitos y logros, como es el caso, aunque algunos de ellos ya no se encuentren entre nosotros o no puedan recordarlo. Espero haber podido aprender y retener algo de la sabiduría que me habéis mostrado y trasmitido.

A todas aquellas personas que, con trabajo y esfuerzo, terminan consiguiendo todo aquello que se proponen.

Madrid, xx de xxxxxxx de 20xx

David Campoamor Medrano

Resumen

Escribe aquí el resumen del trabajo. Un primer párrafo para dar contexto sobre la temática que rodea al trabajo.

Un segundo párrafo concretando el contexto del problema abordado.

En el tercer párrafo, comenta cómo has resuelto la problemática descrita en el anterior párrafo.

Por último, en este cuarto párrafo, describe cómo han ido los experimentos.

Acrónimos

ABB *Asea Brown Boveri*

AER *Asociación Española de Robótica*

AERO *Autonomous Exploration Rover*

AGV *Automated Guided Vehicle*

AI *Artificial Intelligence*

AMR *Autonomous Mobile Robot*

ANN *Artificial Neural Network*

API *Application Programming Interface*

CMI *Cirugía Mínimamente Invasiva*

DLR *Centro Aeroespacial Alemán (Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt e. V.)*

EKF *Extended Kalman Filter*

EPFL *Escuela Politécnica Federal de Lausana*

FDA *Administración de Alimentos y Medicamentos de EE.UU. (Food and Drug Administration)*

FOA *Focus of Attention*

GA *Genetic Algorithm*

GPIO *General Purpose Input/Output*

GPS *Global Positioning System*

HCI *Human-Computer Interaction*

HRI *Human-Robot Interaction*

IA *Inteligencia Artificial*

IBM *International Business Machines*

IFR *International Federation of Robots*

ISO *Internacional Organization for Standardization*

LWR *Lightweight Robot*

OSRF *Open Source Robotics Foundation*

PUMA *Programmable Universal Machine for Assembly*

ROS *Robot Operating System*

ROS-I *Robot Operating System-Industrial*

SAIL *Stanford Artificial Intelligence Laboratory*

SCARA *Selective Compliance Assembly Robot Arm*

SRI *Stanford Research Institute*

TC *Technical Committee*

UR *Universal Robots*

VA *Visión Artificial*

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Robots y robótica	2
1.1.1. Robot Industrial	3
1.1.2. Robot de Servicio	13
1.1.3. Robot Médico	18
1.2. Inteligencia Artificial	20
1.3. Visión Artificial	21
1.4. Segunda sección	22
1.4.1. Números	22
1.4.2. Listas	22
2. Objetivos	24
2.1. Descripción del problema	24
2.2. Requisitos	24
2.3. Metodología	24
2.4. Plan de trabajo	24
3. Plataforma de desarrollo	25
4. Diseño	26
4.1. Snippets	26
4.2. Verbatim	26
4.3. Ecuaciones	27
4.4. Tablas o cuadros	27
5. Conclusiones	29
5.1. Conclusiones	29
5.2. Corrector ortográfico	30

Índice de figuras

1.1.	Primer robot industrial.	4
1.2.	Standford Arm.	5
1.3.	Diagrama mecatrónico de construcción de máquinas inteligentes.	5
1.4.	Robot Cincinnati Milacron T3.	6
1.5.	Uno de los primeros prototipos de robot SCARA.	7
1.6.	Robot ABB IRB 360 Flexpicker.	7
1.7.	Robot Motoman DA-20.	9
1.8.	LWR3	9
1.9.	Robots utilizados para el desarrollo de ROS.	10
1.10.	Logo de ROS.	10
1.11.	UR5 con su controladora.	11
1.12.	Universal Robots e-Series	12
1.13.	Robot Shakey.	13
1.14.	Robots de servicio	14
1.15.	Robot aspirador Roomba de iRobot.	15
1.16.	Robots de inspección y mantenimiento.	15
1.17.	Robots de educación.	16
1.18.	Robots de logística.	17
1.19.	Robots de entretenimiento	17
1.20.	Robot Da Vinci.	18
1.21.	Robots médicos	19
1.22.	Modelos de inteligencia.	21

Listado de códigos

4.1. Función para buscar elementos 3D en la imagen	26
4.2. Cómo usar un Slider	27

Listado de ecuaciones

4.1. Ejemplo de ecuación con fracciones	27
4.2. Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales	27

Índice de cuadros

1.1. Las tres leyes de la robótica según Asimov.	3
4.1. Parámetros intrínsecos de la cámara	28

Capítulo 1

Introducción

Desde sus inicios, la robótica ha proporcionado un sinfín de posibilidades y alternativas ante problemas que anteriormente carecían de las soluciones adecuadas, pero, ¿qué es realmente la robótica?

Se podría definir robótica como el proceso mediante el cual una máquina intercambia energía e información con su entorno, con el propósito de alcanzar una serie de objetivos específicos. Este campo tecnológico en expansión es el resultado de décadas de colaboración continua entre biólogos, informáticos e ingenieros [?].

Dada esta multidisciplina, la robótica abarca una amplia gama de aplicaciones, desde la industria hasta la medicina, pasando por la exploración espacial, la domótica o la conducción autónoma, entre otras. Es un campo en constante evolución, impulsado por la búsqueda de soluciones innovadoras para mejorar la calidad de vida y permitir superar desafíos de manera más eficiente y segura.

La industria agrícola no es una excepción, ya que ha contemplado históricamente tareas que requieren una dedicación laboral considerable. No obstante, gracias a la robótica y a los sistemas de visión artificial, surge la oportunidad de transformar una serie de procesos, como puede ser la recolección de cultivos, a través de la detección automatizada para su posterior recolección.

En las siguientes secciones describiremos brevemente algunas de las aplicaciones más importantes de la robótica en la sociedad actual, así como los distintos conceptos en los cuales se basa la investigación y el desarrollo llevado a cabo.

1.1. Robots y robótica

Según la Federación Internacional de Robots (IFR) se define robot según el vocabulario establecido por la International Organization for Standardization (ISO), y esto es como *”mecanismo accionado programado con cierto grado de autonomía para realizar tareas de locomoción, manipulación o posicionamiento”* [?].

El término “robot” fue utilizado por primera vez por Karel Capek (en su obra de teatro “Rossum’s Universal Robots” publicada en 1920. Esta palabra viene del vocablo checo *“robota”* que significa “trabajo”, en el sentido de la obligatoriedad, entendido como servidumbre, trabajo forzado o esclavitud [?].

Aunque esta definición es un punto de partida, es cierto que es posible diferir en aspectos como si un robot debe controlarse automáticamente o podría ser autónomo o si un robot debe ser reprogramable. A un nivel más amplio, cualquier máquina que pueda utilizarse para llevar a cabo acciones o tareas complejas de forma automática puede considerarse un robot [?].

Históricamente, las civilizaciones antiguas, como la egipcia y la griega, dieron los primeros pasos en lo que se puede denominar robótica clásica, construyendo autómatas y mecanismos diseñados para imitar acciones humanas, con características mecánicas rudimentarias. Con el paso del tiempo, la ciencia y la ingeniería avanzaron, y los conceptos de la robótica comenzaron a tomar forma más definida hasta que, en el siglo XX, con el desarrollo de la ingeniería en sus diferentes ramas (mecánica, electrónica, informática, telecomunicaciones), Isaac Asimov (1920-1992) utilizó por primera vez el término “robótica” y postuló las tres leyes de la robótica en su libro *I Robot* publicado en 1950, coincidiendo con el apogeo de la robótica moderna. Asimov consideró necesario añadir una cuarta ley, antepuesta a las demás, la número cero, que afirma que un robot no debe actuar simplemente para satisfacer intereses individuales, sino que sus acciones deben preservar el beneficio común de toda la humanidad [?].

-
1. Un robot no debe dañar a un ser humano ni, por su pasividad, dejar que un ser humano sufra daño.
 2. Un robot no debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto cuando estas órdenes están en oposición con la primera Ley.
 3. Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no esté en conflicto con la primera o segunda Ley.
-

Cuadro 1.1: Las tres leyes de la robótica según Asimov.

Es también en 1950, cuando Alan Mathison Turing publica “*Computing Machinery and Intelligence*” y propone una prueba (test o máquina de Touring), en forma de entidad matemática abstracta, que demuestra la existencia de problemas computacionales irresolubles que ninguna máquina es capaz de solventar. Se puede afirmar que un programa de ordenador no llegará nunca a ser tan inteligente como un ser humano y que un robot no podrá suplir al ser humano de forma completa, [?] preocupación sobre el potencial de sustitución de la mano de obra, que históricamente, ha atenuado el entusiasmo en torno a las nuevas tecnologías [?].

Partiendo de todos estos avances y del interés por automatizar las tareas de producción, la robótica va adquiriendo un gran desarrollo [?]. Es debido a este desarrollo, que atendiendo al propósito y al contexto en el que se utilicen estos robots, se fueron creando varios grupos en función de los que clasificarlos. Estos tres grandes grupos en función de una serie de criterios generales fueron: robots industriales, robots de servicio y robots médicos.

1.1.1. Robot Industrial

Se define robot industrial como un ”manipulador polivalente, reprogramable y controlado automáticamente, programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial”[?].

El inicio de la robótica industrial, puede datarse en la década de 1950, aunque algunos tipos de automatización en el entorno industrial empezaron a aparecer desde los tiempos de la Revolución Industrial. La evolución de los robots industriales puede subdividirse en cuatro categorías: las tres primeras abarcan el período comprendido entre los años cincuenta y finales de los noventa, mientras que la cuarta generación abarca desde 2000 hasta nuestros días [?].

La primera generación o primeros manipuladores (1950-1967) eran básicamente máquinas programables que no tenían comunicación con el entorno externo y con algoritmos de control sencillos (punto a punto). En cuanto al hardware, contaban con equipos de baja tecnología, sin servocontroladores. Sin embargo, en 1954, George Devol y Joseph Engelberger formaron la empresa Unimation, empresa que desarrollaría Unimate, considerado el primer robot industrial de la historia, fabricado en 1961 [?].



(a) Joseph Engelberger y George Devol



(b) Robot Unimate

Figura 1.1: Primer robot industrial.

Empresas como Ford y General Motors empezaron a plantearse la automatización de sus plantas productivas, por lo que, en 1962, la empresa AMF Corporation fabricó un nuevo robot llamado Versatan, un robot cilíndrico que Ford encargó para sus fábricas. Este robot, fue también el primero que se instaló en un centro productivo en Japón [?].

La segunda generación o robots sensorizados (1968-1977) eran máquinas programables básicas con posibilidades limitadas de comportamiento autoadaptativo y capacidades elementales para reconocer el entorno externo, poseían sistemas sensoriales avanzados y eran robots de gran volumen que se utilizaban principalmente en automoción [?].

En 1968, en el Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL) se confecciona el WAVE, el primer lenguaje de programación para robots. En 1969, Unimation concordó a Kawasaki Heavy Industries Ltd. la licencia para producir robots para el mercado japonés y asiático, conduciendo al desarrollo del Kawasaki-Unimate 2000, el primer robot industrial construido en Japón. Es también en este año cuando Víctor Scheinman, un estudiante de ingeniería mecánica de la Universidad de Standford, diseñó y cons-

truyó el primer prototipo de brazo robótico, cuya cinemática inversa podía resolverse de manera analíticamente cerrada, permitiendo una rápida ejecución de la trayectoria [?].

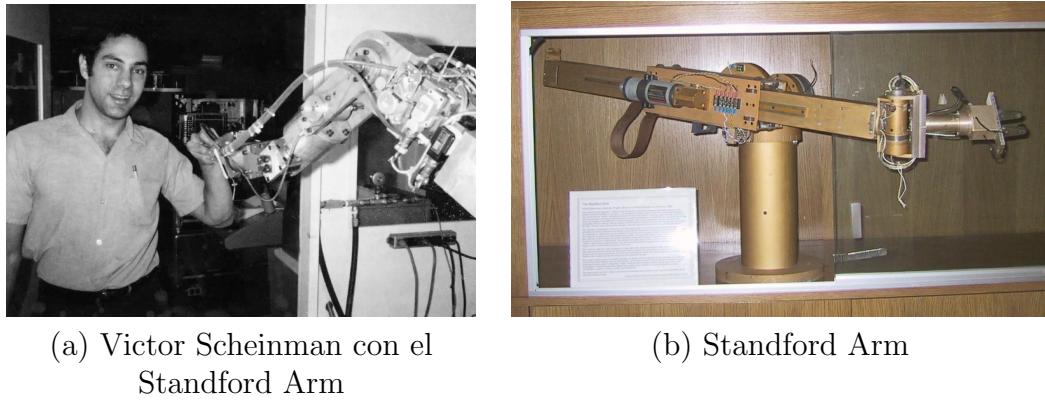


Figura 1.2: Standford Arm.

El ingeniero de la compañía Yaskawa, T Mori, en 1969 acuña el término mecatrónica que integra el conjunto de mecanismos de control automático imprescindibles para el desarrollo de cualquier máquina inteligente [?].

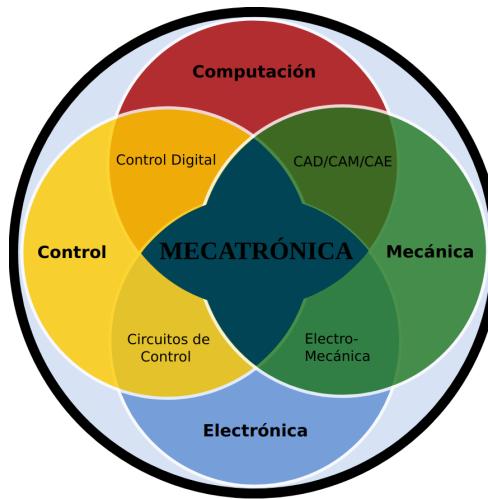


Figura 1.3: Diagrama mecatrónico de construcción de máquinas inteligentes.

En 1973, KUKA construyó el primer robot industrial con 6 ejes electromecánicos llamado Famulus. Un año más tarde, Cincinnati Milacron introdujo en el mercado el robot T3. Cincinnati Milacron (adquirida por ABB en 1990). El robot T3 fue el primer robot comercial controlado por un microordenador [?].



Figura 1.4: Robot Cincinnati Milacron T3.

La tercera generación o robots industriales (1978-1999) disponían de controladores específicos (ordenadores), siendo un punto clave en la caracterización de este generación, además del surgimiento de nuevos lenguajes de programación para el control de los robots, la posibilidad de reprogramarlos y la inclusión parcial de la visión artificial [?]. Entre finales de los años setenta y principios de los ochenta, otros avances científicos y técnicos contribuyeron a la difusión de los robots [?], que junto a que las empresas de todo el mundo invirtieron miles de millones de dólares en del mundo para automatizar tareas básicas en sus cadenas de montaje, supusieron que los robots poblaran muchos sectores industriales para automatizar una amplia variedad de actividades [?].

Unimation diseñó y fabricó en 1978 el robot PUMA. El PUMA (acrónimo de Programmable Universal Machine for Assembly) fue considerado durante muchas décadas el arquetipo de los robots antropomórficos [?]. En 1978, el científico japonés Hiroshi Makino, de la Universidad de Yamanashi, propuso una nueva estructura cinemática. El robot con esta estructura se denominó SCARA (acrónimo de "Selective Compliance Assembly Robot Arm"), ya que su conformidad en la dirección horizontal resultó menor que la conformidad en la dirección vertical. Por esta razón, así como por la ligereza de la cadena cinemática (que permitía un controlador más sencillo y rápido), este robot era adecuado para ser empleado en tareas como el ensamblaje de objetos pequeños [?].



Figura 1.5: Uno de los primeros prototipos de robot SCARA.

Más tarde, en 1981 en la Universidad Carnegie-Mellon se desarrolló un robot de impulsión directa que utiliza motores eléctricos en las articulaciones, evitando la distorsión de las transmisiones mecánicas convencionales. En 1982, IBM introduce el robot de montaje industrial RS-1 que utiliza un brazo constituido por 3 dispositivos de deslizamiento [?]. De la idea de emplear cadenas cinemáticas paralelas en lugar de las clásicas cadenas cinemáticas en serie, junto con la de crear un robot ligero capaz de moverse a gran velocidad, surgió el arquetipo del robot Delta (que apareció en 1992), concebido por el científico suizo Reymond Clavel en la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) [?]. En comparación con los robots en serie, los robots paralelos tienen un espacio de trabajo más pequeño, pero pueden funcionar a una velocidad mucho mayor, siendo la arquitectura cinemática ideal para los robots dedicados a operaciones de pick-and-place de alta velocidad. Basado en este tipo de estructura, unos años después, en 1998, ABB desarrolló el Flex-Picker, el robot de picking más rápido del mundo [?].



Figura 1.6: Robot ABB IRB 360 Flexpicker.

A partir de los años 2000, aparece la cuarta generación o robots inteligentes (2000-Actualidad), que se caracteriza por la inclusión de capacidades informáticas avanzadas, ya que los ordenadores no sólo trabajan con datos, si no también pueden realizar razonamientos lógicos y aprender, puesto que la Inteligencia Artificial comienza a ser incluida parcial y experimentalmente en estos robots. Los sensores son más sofisticados, y envían información al controlador y la analizan mediante estrategias de control complejas para que el robot pueda basar sus acciones en información sólida y fiable. Es en esta generación cuando se introducen los robots colaborativos [?].

Los requisitos de velocidad y peso de un robot han dado lugar a novedosos diseños cinemáticos y de transmisión. Desde el principio, la reducción de la masa y la inercia de las estructuras robóticas ha sido un objetivo primordial en el desarrollo de la robótica. El brazo humano, con una relación peso-carga de 1:1, se consideraba la referencia definitiva [?]. Con este objetivo, se desarrollaron gracias a la colaboración entre la empresa alemana KUKA y el Instituto de Robótica y Mecatrónica del Centro Aeroespacial Alemán (DLR), tres generaciones de robots ligeros, permitiendo a investigadores e ingenieros desarrollar nuevas aplicaciones de robótica industrial y de servicios con un rendimiento sin precedentes. En el año 2004, con motivo de Automática, la mayor exposición de robots del mundo, se presentó por primera vez la combinación entre el robot ligero del DLR y la controladora KUKA, denominado RoboAssistant, donde se permitió a los visitantes mover y programar manualmente el robot, haciendo la visión de un robot que asiste a un trabajador durante los procesos de producción evidente para los visitantes [?].

Es en estos procesos de producción, donde la manipulación a dos manos puede ser crítica para tareas de ensamblaje complejas, manipulación simultánea y procesamiento de piezas de trabajo o para la manipulación de objetos de gran tamaño, por lo que en 2005, MOTOMAN presenta el primer robot comercial para la manipulación sincronizada a dos manos [?].



Figura 1.7: Robot Motoman DA-20.

Sin embargo, fue en el año 2006 cuando, tras haber estado trabajando en la búsqueda de vías para el desarrollo en serie del robot LWR3 del DLR, y tras una intensa cooperación entre KUKA y el DLR para transmitir a los desarrolladores de KUKA los conocimientos necesarios para para el desarrollo de brazos ligeros, componentes y electrónica integrada, cuando se toma la decisión de producir una primera pequeña serie del robot ligero del KUKA LWR3 [?].

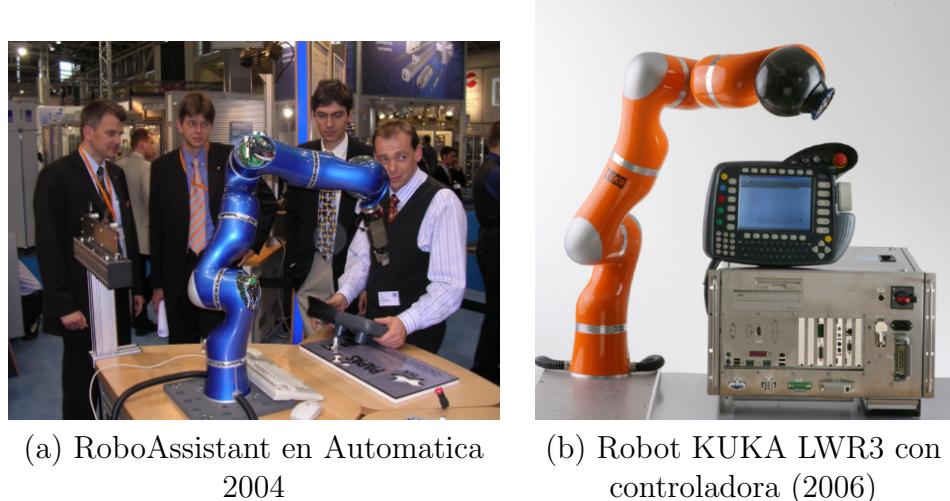


Figura 1.8: LWR3

A principios de 2007, dos estudiantes de doctorado de la Universidad de Standford, Keenan Wyrobek y Eric Bergerlas, pusieron las primeras piezas de lo que eventualmente se convertiría en el Robot Operating System (ROS). Uno de los preceptos principales que se tuvo en cuenta para la creación de este Sistema Operativo para Robots fue el de crear un sistema que permitiese al máximo posible la reutilización de código, dando

soporte a distintos tipos de robots y de aplicaciones. Esto resultó en la incorporación de ROS en una sorprendentemente amplia variedad de robots, extendiéndose incluso a dominios más allá de la comunidad académica de investigación a la que se dirigió inicialmente. Los años siguientes superaron todas las expectativas debido a que los avances en el ámbito de la robótica se compartieron de manera reproducible en ROS, y la Open Source Robotics Foundation (OSRF), Fundación de Robótica de Código Abierto en inglés, se convirtió en el administrador principal de ROS en 2014. Con el objetivo de atender de manera más efectiva las demandas de una comunidad ROS más extensa y abordar sus nuevos escenarios de aplicación, la OSRF se dedicó a desarrollar ROS2 como un conjunto de paquetes paralelos que pudieran ser instalados junto a ROS1 (la versión original de ROS que nació en el año 2010) y ser compatibles entre sí. Además, la popularidad de ROS ha seguido creciendo en la industria con el apoyo de proyectos como ROS-Industrial (ROS-I), una iniciativa de código abierto que extiende las capacidades avanzadas de ROS a hardware y aplicaciones industriales relevantes. [?].

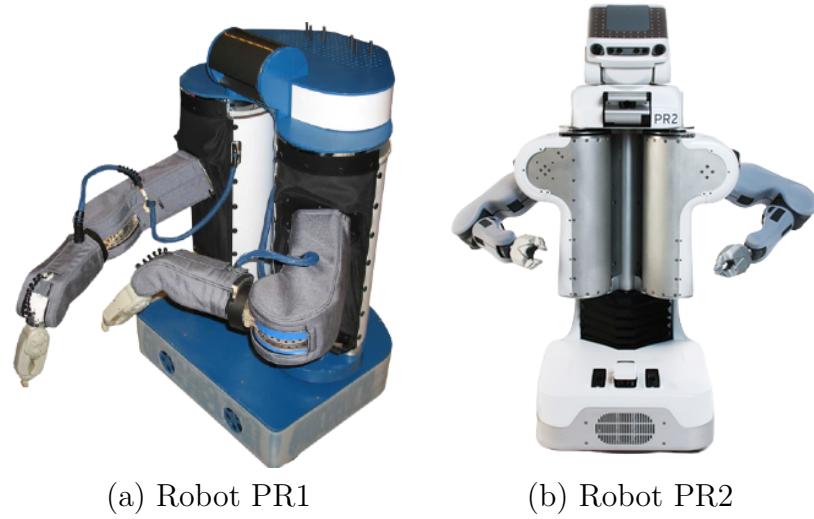


Figura 1.9: Robots utilizados para el desarrollo de ROS.



Figura 1.10: Logo de ROS.

En el año 2008 se entrega el primer robot colaborativo o cobot, el UR5 de Universal Robots, considerado como uno de los logros tecnológicos más significativos de la década en la comunidad robótica. El brazo robótico es pionero en la programación 3D fácil de usar pero sofisticada, con una interfaz de usuario intuitiva que permite a cualquier persona configurarlo y utilizarlo de forma rápida. Esta empresa, fundada en el año 2005 por Esben Østergaard, Kasper Støy y Kristian Kassow tras conocerse en la Universidad de Dinamarca, surgió con el objetivo de hacer que la robótica sea accesible para las pequeñas y medianas empresas ¹.

Esben H. Østergaard, Director de Tecnología y cofundador de Universal Robots, tomó el trabajo original de Peskhin y Colgate, dos investigadores de la empresa automovilística Ford de los años 90, que decidieron crear un nuevo robot industrial, más pequeño y ágil que los tradicionales, que saliera de su jaula para colaborar estrechamente con el ser humano en las tareas de calidad y personalización de los productos, sin embargo, no fueron capaces, puesto que el problema estaba en la relación entre seguridad y rendimiento, ya que el aumento de la primera reducía el de la segunda. Østergaard consiguió diseñar un sistema de seguridad y control para el cobot que lo bloquea en caso de colisión con el operario. Como recuerda el propio Østergaard, la seguridad era la clave con la que la robótica colaborativa podía entrar en el escenario industrial. Así se creó un robot capaz de operar en espacios confinados, en estrecho contacto con humanos, y sin instalar costosas barreras de seguridad [?].

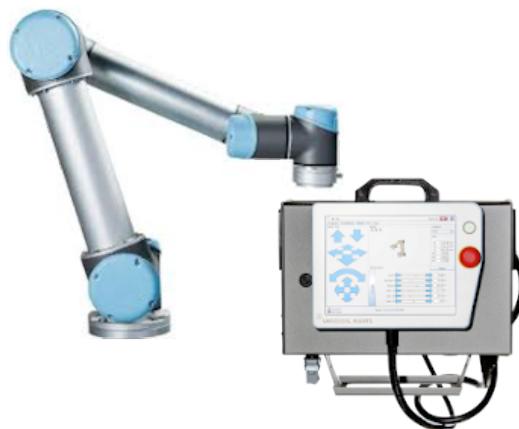


Figura 1.11: UR5 con su controladora.

¹<https://www.universal-robots.com/es/acerca-de-universal-robots/nuestra-historia/>

Más tarde, en 2018, Universal Robots presenta los robots colaborativos e-Series, que incluían avances tecnológicos que permitían un desarrollo más rápido para una mayor variedad de aplicaciones, ofrecía una programación más sencilla y seguía las normas de seguridad ISO más actuales y recientes ².



(a) UR presenta los nuevos e-Series en Automatica 2018



(b) UR e-Series

Figura 1.12: Universal Robots e-Series

Esta cuarta generación de robótica industrial ha establecido un sólido punto de partida para una continua revolución en el campo de la automatización. Es esencial destacar que varios de los modelos de robots mencionados previamente han seguido evolucionando y mejorando con el tiempo, siendo fruto de estas mejoras, la comercialización de nuevos modelos y series. Debido a que la tecnología se encuentra en constante desarrollo y a la colaboración cada vez más estrecha entre humanos y robots, el futuro de la robótica industrial promete seguir transformando radicalmente nuestros métodos de trabajo y producción, abriendo así nuevas oportunidades y desafiando constantemente los límites de lo que podemos lograr en la automatización industrial, así como en los otros dos grandes grupos de la robótica, com la robótica de servicio y la robótica médica.

²<https://www.universal-robots.com/es/acerca-de-universal-robots/nuestra-historia/>

1.1.2. Robot de Servicio

Se define robot de servicio como un robot que realiza tareas útiles para las personas o los equipos, incluyendo en esta la manipulación o el servicio de artículos, el transporte, el apoyo físico, la orientación o información, el aseo personal, la cocina y la manipulación de alimentos y la limpieza en el ámbito personal, y la inspección, vigilancia, manipulación de objetos, transporte de personas, orientación o información, cocina y manipulación de alimentos y limpieza en el ámbito profesional [?].

Su historia se remonta a la década de 1960, cuando surgieron los primeros intentos de crear robots para ayudar en tareas domésticas y de atención al cliente. Uno de los precursores de estos robots de servicio en 1968 fue el robot Shakey, desarrollado por el Laboratorio de Investigación de Inteligencia Artificial de Stanford o Stanford Research Institute (SRI). Shakey, provisto e múltiples sensores y medios para desplazarse por el suelo, además de control remoto por radio [?] podía realizar tareas de planificación, búsqueda de rutas y reordenación de objetos sencillos, siendo el primer robot móvil con capacidad para percibir y razonar sobre su entorno ³.



Figura 1.13: Robot Shakey.

³<https://www.sri.com/hoi/shakey-the-robot/>

Sin embargo, fue a mediados de los años 80 cuando en los laboratorios y centros de investigación dedicados a la robótica se trató de revitalizar la importancia de los robots en nuestra sociedad, planteando las ventajas que el uso del robot podía traer en tareas en las que el ser humano asumía riesgos o en las que las capacidades de aquel estaban limitadas por factores como la fuerza o la precisión necesaria. Fue precisamente al entenderse que estas nuevas aplicaciones de la robótica no tenían un uso industrial con el objetivo de fabricar bienes, sino que se trataba de un empleo para desarrollar tareas para las personas, cuando se catalogaron como aplicaciones en el sector servicios [?].

En la práctica, las actuales y potenciales aplicaciones no industriales de los robots son tan variadas y diferentes que se dificulta su catalogación [?], sin embargo, existen ciertas características especiales en estos robots de servicio que los hacen diferentes de los robots industriales [?], y los caracterizan para llevar a cabo estas tareas para las personas, siendo las principales características estos tres atributos de diseño: representación, antropomorfismo y orientación a la tarea, es decir, los robots de servicio pueden tener una representación física (por ejemplo, Pepper) o tener una representación únicamente virtual (por ejemplo, Alexa, ya que el software de IA virtual que funciona de forma autónoma y aprende con el tiempo también puede clasificarse como robot de servicio), diseñarse como humanoides (es decir, antropomorfos) simulando una apariencia humana o como no humanoides (por ejemplo, el robot de limpieza Roomba), y pueden realizar tareas cognitivo-analíticas gracias a la potencia informática subyacente o tareas emocionales-sociales (por ejemplo, robots de recepción) [?].

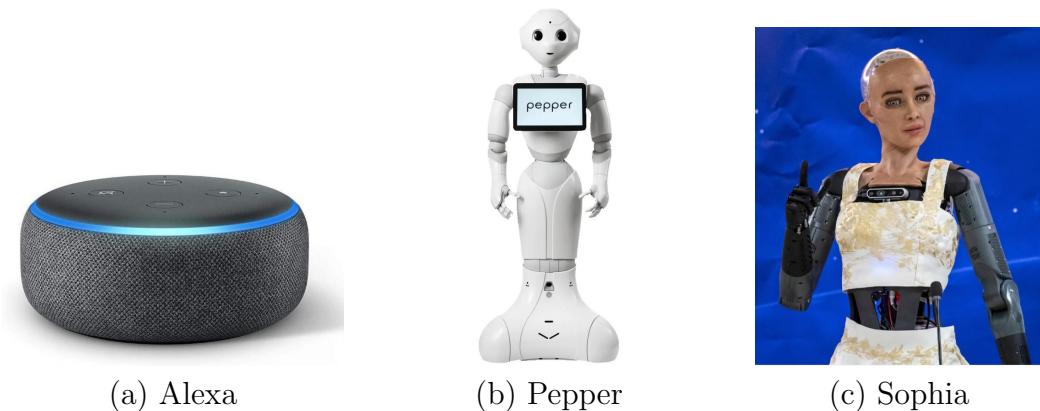


Figura 1.14: Robots de servicio

Tratando de establecer una división de los robots de servicio, la norma ISO 8373:2012, así como la Federación Internacional de Robótica o IFR, propuso clasificarlos en diferentes categorías según su función y aplicación en robots para uso doméstico y personal y robots de servicio destinados a un uso profesional [?], siendo las aplicaciones más importantes las siguientes:

- *Limpieza*: Suelen estar equipados con sensores y tecnología de navegación que les permite moverse de manera autónoma por el espacio, detectar obstáculos y llevar a cabo actividades de limpieza de manera eficiente.



Figura 1.15: Robot aspirador Roomba de iRobot.

- *Inspección y mantenimiento*: Son máquinas diseñadas para llevar a cabo tareas de supervisión, evaluación y mantenimiento en entornos de infraestructura o áreas de difícil acceso. Estos robots suele ser máquinas autónomas o teleoperadas equipadas con sensores, cámaras y herramientas especializadas que les permiten evaluar, reparar y mantener equipos, estructuras y sistemas en entornos desafiantes o peligrosos.



(a) Spot de Boston Dynamics

(b) ROBTET, robot para el mantenimiento de líneas de alta tensión

Figura 1.16: Robots de inspección y mantenimiento.

- *Educación:* Aquellos robots utilizados en educación son robots diseñados para facilitar el aprendizaje y la enseñanza en los diferentes niveles educativos. Estos robots pueden ser utilizados en aulas, bibliotecas y entornos de aprendizaje para ayudar a los estudiantes a adquirir habilidades, fomentar la creatividad y brindar experiencias educativas interactivas.



(a) Robot NAO

(b) Turtlebot 4

Figura 1.17: Robots de educación.

- *Logística:* Los robots de servicio utilizados en logística son robots diseñados para llevar a cabo tareas relacionadas con la gestión y el movimiento de mercancías y productos en entornos de almacenamiento, distribución y transporte. Estos robots desempeñan un papel fundamental en la optimización de la cadena de suministro, mejorando la eficiencia y la precisión en la manipulación de productos. Dentro de los robots de logística empleados para el movimiento de mercancías, se pueden distinguir dos grandes grupos: Vehículos Guiados Automáticos (AGV) y Robots Móviles Autónomos (AMR). La principal diferencia entre los AMR y los AGV radica en la capacidad de adaptación y autonomía, ya que los AMR son altamente flexibles, autónomos y versátiles, con capacidades autónomas avanzadas que les permiten ajustarse rápidamente a cambios en los entornos de trabajo, mientras que los AGV siguen rutas predefinidas y son adecuados para tareas de transporte predecibles en entornos más controlados.



(a) AGV Robots Kiva de Amazon

(b) AMRs de MiR

Figura 1.18: Robots de logística.

- *Entretenimiento:* Son robots diseñados específicamente para proporcionar experiencias lúdicas y de entretenimiento a las personas. Estos robots se utilizan en una variedad de contextos, siendo máquinas robóticas diseñadas para interactuar con el público.



(a) SONY Aibo



(b) Dron DJI Spark

Figura 1.19: Robots de entretenimiento

La robótica de servicio representa una revolución en la asistencia y el apoyo a diversas industrias, desde la logística hasta la atención al cliente en el comercio minorista. Sin embargo, su impacto va más allá, extendiéndose hasta la atención médica. En este contexto, la robótica médica emerge como una vanguardia tecnológica que fusiona la innovación robótica con la medicina moderna para ofrecer soluciones innovadoras en diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, demostrando su potencial para revolucionar la forma en que brindamos y recibimos atención médica.

1.1.3. Robot Médico

Se define *robot médico* como aquellos dispositivos electromecánicos que desempeñan parcial o totalmente algunas funciones de los seres humanos o de sus órganos al resolver problemas médicos, ayudando a mejorar la asistencia al paciente y los resultados, a la vez que aumenta la eficiencia operativa [?].

Los robots médicos se desarrollaron por primera vez hace poco más de tres décadas para permitir a los cirujanos operar a sus pacientes a distancia o con mayor precisión. A finales de los años noventa, había 2 tipos de telemanipuladores quirúrgicos aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA): el Zeus y el da Vinci, introducido en 1998-1999, que permitía aumentar la precisión de las cirugías mínimamente invasivas (CMI) [?].



Figura 1.20: Robot Da Vinci.

Las primeras aplicaciones fueron en los campos de neurocirugía y cirugía ortopédica, siendo la cirugía donde mayor impacto han tenido los robots médicos. A medida que se ha hecho patente la aceptación de los robots quirúrgicos por nuestros sistemas sanitarios, los investigadores en robótica han ido centrando cada vez más su atención en cómo podría ser la próxima generación de robots médicos. Su atención no se limita a los robots quirúrgicos, y también se están investigando otras áreas de la medicina, como los robots para realizar rehabilitación física con pacientes con discapacidades motores, como el exoesqueleto Ekso Bionics, robots de telepresencia para la interacción del paciente con el personal sanitario externo, como el robot RP-VITA, automatización de farmacias, robots para desinfectar clínicas, etc. [?]

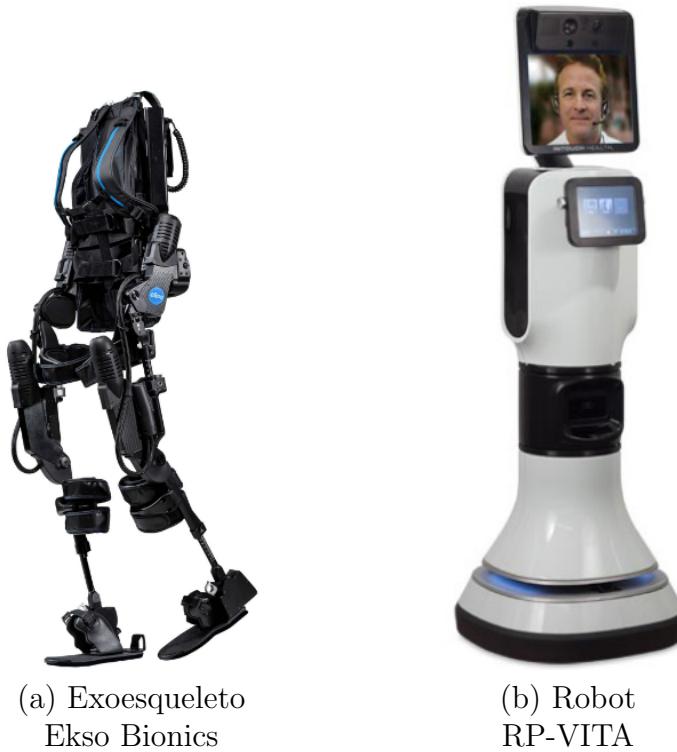


Figura 1.21: Robots médicos

El rápido crecimiento de la robótica médica se debe a una combinación de mejoras tecnológicas (motores, materiales y teoría de control), los avances en imagen médica (mayor resolución, resonancia magnética y ecografía 3D) y una mayor aceptación por cirujanos y pacientes de los procedimientos laparoscópicos y la asistencia robótica [?], convirtiéndose en un campo interdisciplinario que abarca desde cirugía asistida por robots hasta sistemas de diagnóstico de vanguardia. Gran parte de su éxito radica en la integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia y la visión artificial. Estas disciplinas están redefiniendo la forma en que los robots médicos pueden interactuar con el entorno, interpretar datos y, en última instancia, mejorar los resultados en la atención médica. A continuación, explicaremos el impacto que la inteligencia y la visión artificial están teniendo en la robótica, y las capacidades y oportunidades que estas presentan en una inmensa variedad de aplicaciones.

1.2. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es un área de la ciencia de gran interés por ser un área multidisciplinaria donde se realizan sistemas que tratan de hacer tareas y resolver problemas como lo hace un humano, así mismo, trata de simular de manera artificial, las formas de pensamiento y de trabajar del cerebro para la toma de decisiones [?].

El origen del concepto y de los criterios de desarrollo de la IA se remontan al año 1936, con el matemático inglés Alan Turing, quien definió una máquina abstracta, la "Máquina de Turing", un modelo matemático que consiste en un autómata capaz de implementar cualquier problema matemático expresado por medio de un algoritmo, que sirvió de base de la noción de algoritmo y la definición de clase de problemas deducibles [?], y quien intuyó la importancia que jugaría el aprendizaje automático en el desarrollo de la IA al afirmar que, en lugar de intentar emular mediante una máquina la mente de un adulto, quizás sería más factible intentar emular la mente de un niño y luego someter a la máquina a un proceso de aprendizaje que diera lugar a un desarrollo cognitivo de dicha mente hasta alcanzar el equivalente de una mente adulta, lo que actualmente se conoce como robótica de desarrollo [?], mientras que el apelativo Inteligencia Artificial se debe a John McCarthy, quien organizó una conferencia en el Dartmouth College (Estados Unidos) en agosto de 1956, para discutir sobre la posibilidad de construir máquinas "inteligentes". Como resultado de esta reunión, se establecieron las primeras bases sobre la inteligencia de los computadores [?].

La historia de la IA ha sido testigo de ciclos caracterizados por la introducción de nuevos y creativos enfoques y de un sistemático perfeccionamiento de los mejores. Estos ciclos de avance y desafío continúan moldeando su evolución y prometen un futuro emocionante y lleno de posibilidades.

Dentro de las diversas formas de clasificar la IA, existe una clasificación de los modelos de Inteligencia Artificial que se basa en el objetivo y la forma en que trabaja el sistema: sistemas que piensan como humanos, sistemas que actúan como humanos, sistemas que piensan racionalmente y sistemas actuantes racionales. Esta clasificación de manera inicial se veía como clases independientes, sin embargo, en la actualidad los sistemas mezclan características de ellas. [?]

La clasificación de los modelos de IA tiene un impacto significativo en las aplicacio-



Figura 1.22: Modelos de inteligencia.

nes de la IA, ya que determina cómo se desarrollan y aplican los sistemas de inteligencia artificial en una amplia gama de campos, contribuyendo así a la mejora de la eficiencia y la innovación en muchas industrias donde se han ido desarrollando diferentes herramientas propias y aplicaciones, dando lugar a multitud de ramas que parten de la IA. Una de las ramas más fascinantes y prometedoras de la inteligencia artificial es la visión artificial, que busca dotar a las máquinas de la capacidad de interpretar y comprender el mundo visual que les rodea. Este capítulo de introducción se centra en la importancia de la IA y su intersección con la visión artificial, explorando cómo estas disciplinas se fusionan para mejorar la percepción y la comprensión de imágenes y videos, abriendo oportunidades para aplicaciones en diferentes campos.

1.3. Visión Artificial

En los textos puedes poner palabras en *cursiva*, para aquellas expresiones en sentido *figurado*, palabras como *robo*, que está fuera del diccionario castellano, o bien para resaltar palabras de una colección: (a) es la primera letra del abecedario, (b) es la segunda, etc.

Al poner las dos líneas del anterior párrafo, este aparecerá separado del anterior. Si no las pongo, los párrafos aparecerán pegados. Sigue el criterio que consideres más oportuno.

1.4. Segunda sección

No olvides incluir imágenes y referenciarlas, como la Figura 1.15.

Ni tampoco olvides de poner las URLs como notas al pie. Por ejemplo, si hablo de la Robocup⁴.

1.4.1. Números

En lugar de tener secciones interminables, como la Sección ??, divídelas en subsecciones.

Para hablar de números, mételos en el entorno *math* de L^AT_EX, por ejemplo, $1,5Kg$. También puedes usar el símbolo del Euro como aquí: 1.500€ .

1.4.2. Listas

Cuando describas una colección, usa `itemize` para ítems o `enumerate` para enumerados. Por ejemplo:

- *Entorno de simulación.* Hemos usado dos entornos de simulación: uno en 3D y otro en 2D.
 - *Entornos reales.* Dentro del campus, hemos realizado experimentos en Biblioteca y en el edificio de Gestión.
1. Primer elemento de la colección.
 2. Segundo elemento de la colección.

Referencias bibliográficas Las referencias, con todo su contenido, están recogidas en el fichero `bibliografia.bib`. El contenido de estas referencias está en formato BibTex. Este formato se puede obtener en muchas ocasiones directamente, desde plataformas como Google Scholar u otros repositorios de recursos científicos.

Existen numerosos estilos para reflejar una referencia bibliográfica. El estilo establecido por defecto en este documento es APA, que es uno de los estilos más comunes, pero lo puedes modificar en el archivo `memoria.tex`; concretamente, cambiando el campo `apalike` a otro en la instrucción `\bibliographystyle{apalike}`.

⁴<http://www.robocup.org>

Y, para terminar este capítulo, resume brevemente qué vas a contar en los siguientes.

Capítulo 2

Objetivos

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, Título

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo lo ideal es explicar cuáles han sido los objetivos que te has fijado conseguir con tu trabajo, qué requisitos ha de respetar el resultado final, y cómo lo has llevado a cabo; esto es, cuál ha sido tu plan de trabajo.

2.1. Descripción del problema

Cuenta aquí el objetivo u objetivos generales y, a continuación, concrétalos mediante objetivos específicos.

2.2. Requisitos

Describe los requisitos que ha de cumplir tu trabajo.

2.3. Metodología

Qué paradigma de desarrollo software has seguido para alcanzar tus objetivos.

2.4. Plan de trabajo

Qué agenda has seguido. Si has ido manteniendo reuniones semanales, cumpliendo objetivos parciales, si has ido afinando poco a poco un producto final completo, etc.

Capítulo 3

Plataforma de desarrollo

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, Título

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo, explica qué has usado a nivel hardware y software para poder desarrollar tu trabajo: librerías, sistemas operativos, plataformas, entornos de desarrollo, etc.

Capítulo 4

Diseño

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, Título

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo (y quizás alguno más) es donde, por fin, describes detalladamente qué has hecho y qué experimentos has llevado a cabo para validar tus desarrollos.

4.1. Snippets

Puede resultar interesante, para clarificar la descripción, mostrar fragmentos de código (o *snippets*) ilustrativos. En el Código 4.1 vemos un ejemplo escrito en C++.

```
void Memory::hypothesizeParallelograms () {
    for(it1 = this->controller->segmentMemory.begin(); it1++) {
        squareFound = false; it2 = it1; it2++;
        while ((it2 != this->controller->segmentMemory.end()) && (!squareFound))
            {
                if (geometry::haveACommonVertex((*it1), (*it2), &square)) {
                    dist1 = geometry::distanceBetweenPoints3D ((*it1).start, (*it1).end);
                    dist2 = geometry::distanceBetweenPoints3D ((*it2).start, (*it2).end);
                }
            // [...]
```

Código 4.1: Función para buscar elementos 3D en la imagen

En el Código 4.2 vemos un ejemplo escrito en Python.

4.2. Verbatim

Para mencionar identificadores usados en el código —como nombres de funciones o variables— en el texto, usa el entorno literal o verbatim `hypothesizeParallelograms()`. También se puede usar este entorno para varias líneas, como se ve a continuación:

```

def mostrarValores():
    print (w1.get(), w2.get())

master = Tk()
w1 = Scale(master, from_=0, to=42)
w1.pack()
w2 = Scale(master, from_=0, to=200, orient=HORIZONTAL)
w2.pack()
Button(master, text='Show', command=mostrarValores).pack()

mainloop()

```

Código 4.2: Cómo usar un Slider

```

void Memory::hypothesizeParallelograms () {
    // add your code here
}

```

4.3. Ecuaciones

Si necesitas insertar alguna ecuación, puedes hacerlo. Al igual que las figuras, no te olvides de referenciarlas. A continuación se exponen algunas ecuaciones de ejemplo: Ecuación 4.1 y Ecuación 4.2.

$$H = 1 - \frac{\sum_{i=0}^N \frac{(\frac{d_{js} + d_{je}}{2})}{N}}{M} \quad (4.1)$$

Ecuación 4.1: Ejemplo de ecuación con fracciones

$$v(\text{entrada}) = \begin{cases} 0 & \text{if } \epsilon_t < 0,1 \\ K_p \cdot (T_t - T) & \text{if } 0,1 \leq \epsilon_t < M_t \\ K_p \cdot M_t & \text{if } M_t < \epsilon_t \end{cases} \quad (4.2)$$

Ecuación 4.2: Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales

4.4. Tablas o cuadros

Si necesitas insertar una tabla, hazlo dignamente usando las propias tablas de L^AT_EX, no usando pantallazos e insertándolas como figuras... En el Cuadro 4.1 vemos un ejemplo.

Parámetros	Valores
Tipo de sensor	Sony IMX219PQ[7] CMOS 8-Mpx
Tamaño del sensor	3.674 x 2.760 mm (1/4"format)
Número de pixels	3280 x 2464 (active pixels)
Tamaño de pixel	1.12 x 1.12 um
Lente	f=3.04 mm, f/2.0
Ángulo de visión	62.2 x 48.8 degrees
Lente SLR equivalente	29 mm

Cuadro 4.1: Parámetros intrínsecos de la cámara

Capítulo 5

Conclusiones

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, Título

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo, que básicamente será una recapitulación de los problemas que has abordado, las soluciones que has prouesto, así como los experimentos llevados a cabo para validarlos. Y con esto, cierras la memoria.

5.1. Conclusiones

Enumera los objetivos y cómo los has cumplido.

Enumera también los requisitos implícitos en la consecución de esos objetivos, y cómo se han satisfecho.

No olvides dedicar un par de párrafos para hacer un balance global de qué has conseguido, y por qué es un avance respecto a lo que tenías inicialmente. Haz mención expresa de alguna limitación o peculiaridad de tu sistema y por qué es así. Y también, qué has aprendido desarrollando este trabajo.

Por último, añade otro par de párrafos de líneas futuras; esto es, cómo se puede continuar tu trabajo para abarcar una solución más amplia, o qué otras ramas de la investigación podrían seguirse partiendo de este trabajo, o cómo se podría mejorar para conseguir una aplicación real de este desarrollo (si es que no se ha llegado a conseguir).

5.2. Corrector ortográfico

Una vez tengas todo, no olvides pasar el corrector ortográfico de L^AT_EXa todos tus ficheros *.tex*. En Windows, el propio editor TeXworks incluye el corrector. En Linux, usa aspell ejecutando el siguiente comando en tu terminal:

```
aspell --lang=es --mode=tex check capitulo1.tex
```