



# **GRADO EN INGENIERÍA DE ROBÓTICA SOFTWARE**

Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

Diseño y desarrollo de un sistema automatizado de dispensación de medicación para entornos domésticos

(Implementación de un pastillero inteligente de bajo coste con interfaz táctil y aplicación móvil Android)

**Autor/a:** Ana Martínez Albendea

**Tutor/a:** Julio Vega Pérez

Curso académico 2025-2026



Este trabajo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional CC BY-SA International License (Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0). Usted es libre de (a) *compartir*: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato para cualquier propósito, incluso comercialmente; y (b) *adaptar*: remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente. La licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga 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 licenciatario.
- *Compartir igual.* Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.  
No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

# Agradecimientos

---

Unas bonitas palabras...

Quizás un segundo párrafo esté bien. No te olvides de nadie.

Un tercero tampoco viene mal para contar alguna anécdota...

¿Alguien más? Aunque sean *actores* secundarios.

Un quinto párrafo como colofón.

*A alguien especial;  
si no, tampoco pasa nada*

Madrid, xx de xxxxxx de 20xx

*Tu nombre*

# 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

---

**AERO** *Autonomous Exploration Rover*

**AI** *Artificial Intelligence*

**ANN** *Artificial Neural Network*

**API** *Application Programming Interface*

**EKF** *Extended Kalman Filter*

**FOA** *Focus of Attention*

**GA** *Genetic Algorithm*

**GPIO** *General Purpose Input/Output*

**GPS** *Global Positioning System*

**HCI** *Human-Computer Interaction*

**HRI** *Human-Robot Interaction*

# Índice general

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>                                     | <b>1</b>  |
| 1.1. La robótica . . . . .                                 | 1         |
| 1.2. Robótica de servicio y robótica doméstica . . . . .   | 3         |
| 1.3. Robótica aplicada a la asistencia sanitaria . . . . . | 4         |
| 1.4. Robótica de bajo coste . . . . .                      | 5         |
| <b>2. Objetivos</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1. Descripción del problema . . . . .                    | 8         |
| 2.2. Requisitos . . . . .                                  | 8         |
| 2.3. Competencias . . . . .                                | 8         |
| 2.4. Metodología . . . . .                                 | 9         |
| 2.5. Plan de trabajo . . . . .                             | 9         |
| <b>3. Plataforma de desarrollo</b>                         | <b>10</b> |
| <b>4. Diseño</b>   | <b>11</b> |
| 4.1. Snippets . . . . .                                    | 11        |
| 4.2. Verbatim . . . . .                                    | 11        |
| 4.3. Ecuaciones . . . . .                                  | 12        |
| 4.4. Tablas o cuadros . . . . .                            | 12        |
| <b>5. Conclusiones</b>                                     | <b>14</b> |
| 5.1. Conclusiones . . . . .                                | 14        |
| 5.2. Corrector ortográfico . . . . .                       | 15        |
| <b>Bibliografía</b>  | <b>16</b> |

# Índice de figuras

---

|  |   |
|--|---|
| 1.1. Evolución de la robótica industrial a través de sistemas desarrollados por KUKA. . . . .  | 2 |
| 1.2. Ejemplos de robots de servicio en la actualidad. . . . .  | 2 |
| 1.3. Robot aspirador Roomba de iRobot. . . . .   | 3 |
| 1.4. Robot asistencial para personas mayores. . . . .  | 4 |
| 1.5. Ejemplos de sistemas robóticos aplicados a la asistencia sanitaria: robot asistencial en farmacias y robot de rehabilitación. . . . . | 5 |
| 1.6. Robot de bajo coste para educación. . . . .   | 6 |

# Listado de códigos

---

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Función para buscar elementos 3D en la imagen . . . . . | 11 |
| 4.2. Cómo usar un Slider . . . . .                           | 12 |

# Listado de ecuaciones

---

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Ejemplo de ecuación con fracciones . . . . .                           | 12 |
| 4.2. Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales . . . . . | 12 |

# Índice de tablas

---

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Parámetros intrínsecos de la cámara . . . . . | 13 |
|--|----|

---

# Capítulo 1

## Introducción

---

*La tecnología solo es útil si se pone al servicio de las personas*

Tim Berners-Lee

Desde hace varias décadas, la forma en la que las personas interactúan con su entorno en el día a día, se ha visto transformada por los numerosos avances de la tecnología. Siguiendo esto, el campo de la robótica que estaba limitada en sus inicios al ámbito industrial, se está convirtiendo ahora en una herramienta muy presente en muchos aspectos de la vida cotidiana. La integración de sistemas automatizados fuera de la industria, ha dado pie a nuevas aplicaciones principalmente en el ámbito sanitario y del hogar, consiguiendo mejorar la calidad de vida, la eficiencia en tareas diarias o la autonomía personal.

### 1.1. La robótica

La robótica es una disciplina de la ingeniería que se dedica al estudio, diseño, construcción y programación de sistemas capaces de realizar tareas de manera autónoma o semiautónoma. De esta manera se puede decir que la robótica es un campo interdisciplinar, en el que intervienen áreas como la electrónica, la mecánica, la informática e incluso hoy en día, la inteligencia artificial.

En sus inicios, la robótica se conocía por estar presente en el ámbito industrial, donde los primeros robots se empleaban para automatizar procesos repetitivos, peligrosos o que requerían de una alta precisión. Esto es lo que se conoce como robótica industrial, sistemas que permiten mejorar la productividad y reducir errores, aumentando también la seguridad en procesos de fabricación. Son una herramienta clave en la industria moderna, liderada por empresas como KUKA o ABB como se muestra en la figura 1.1



a) Primer robot industrial con motor eléctrico diseñado por KUKA.



b) Brazo robótico industrial de KUKA en la actualidad.

Figura 1.1: Evolución de la robótica industrial a través de sistemas desarrollados por KUKA.

Debido a los avances de la tecnología y el desarrollo de nuevas herramientas ligadas a la robótica, como son los sensores, actuadores y sistemas de control, los ámbitos de aplicación de esta se han ampliado de manera progresiva. Es por ello, que han surgido nuevos diseños que operan en entornos no tan controlados como la industria y que permiten la interacción directa con las personas. Esta categoría de robots es conocida como robótica de servicio, un ámbito que se está desarrollando en gran cantidad en la actualidad con numerosos avances.

Actualmente, la robótica contemporánea se apoya cada vez más en técnicas avanzadas de percepción y procesamiento de información para mejorar el desarrollo de sistemas autónomos. Se incorporan técnicas como la inteligencia artificial, la visión artificial y los métodos de aprendizaje automático, lo que permite dar una mayor capacidad de interpretación del entorno, toma de decisiones y adaptación ante situaciones variables a los sistemas robóticos. Esto ha facilitado el desarrollo de sistemas cada vez más autónomos, flexibles y orientados a la interacción con las personas.<sup>1.2</sup>

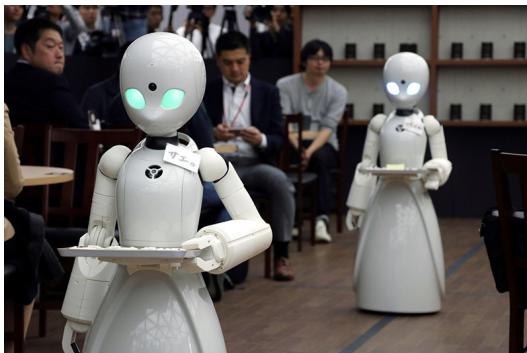


Figura 1.2: Ejemplos de robots de servicio en la actualidad.

## 1.2. Robótica de servicio y robótica doméstica

La robótica de servicio abarca a todos los sistemas robóticos que han sido diseñados para ser un servicio accesible para las personas, ya sea en entornos profesionales como en el ámbito personal, siempre fuera del contexto industrial. Lo que la diferencia de la robótica industrial es que, opera en entornos menos controlados y estructurados y además, tiene una interacción cercana con los usuarios.

Una característica fundamental de la robótica de servicios es que su interacción con las personas sea lo más natural posible y sobretodo segura. Se ha de tener en cuenta, que está destinada a personas sin conocimientos técnicos específicos, por lo que deben ser robots fiables, seguros y con facilidad de uso. Es por ello, que el diseño de las interfaces es de manera intuitiva y con una adaptación clave del comportamiento del propio sistema al usuario que lo usa.<sup>1.3</sup>



Figura 1.3: Robot aspirador Roomba de iRobot.

Dentro de la robótica de servicio, podemos discernir un área que representa la robótica doméstica, es decir, la robótica destinada a operar en el entorno del hogar. Son sistemas que buscan facilitar la realización de las tareas cotidianas, mejorando así la autonomía de las personas y aportando siempre confort y seguridad a los usuarios. El entorno doméstico por su naturaleza cambiante y poco estructurada, supone retos adicionales a la hora de desarrollar sistemas flexibles y adaptables a cualquier hogar.

En los últimos años, ha habido un notable crecimiento en el interés por la robótica de servicios y por ende, en la doméstica. El envejecimiento de la población, así como la necesidad de una asistencia personalizada y, el avance de tecnologías como la inteligencia artificial y los sistemas embedidos, ha impulsado considerablemente este crecimiento. Esta evolución ha permitido que se desarrollen soluciones mucho más accesibles y orientadas a resolver problemas del día a día, afianzando la robótica de servicio como área clave de la robótica moderna.<sup>1.4</sup>



Figura 1.4: Robot asistencial para personas mayores.

### 1.3. Robótica aplicada a la asistencia sanitaria

La aplicación de la robótica en el ámbito sanitario ha percibido un importante crecimiento en los últimos años, incentivado por la necesidad de una mejora en la eficiencia de sistemas de atención y calidad de vida de los pacientes. Además de las ya conocidas aplicaciones en hospitales y centros clínicos, la robótica ha comenzado a ser importante también en tareas de monitorización y asistencia, tanto para los profesionales sanitarios como para los pacientes.

Teniendo en cuenta esto, la robótica asistencial se focaliza en desarrollar aplicaciones que ayuden a las personas diariamente, complementando su cuidado y facilitando las tareas relacionadas con su salud y bienestar. Esto no pretende sustituir completamente al personal sanitario, sino ser un complemento a su trabajo que les ayude reduciendo errores, aumentando la seguridad y mejorando su autonomía.

Si llevamos esto al entorno doméstico, adquiere un gran papel sobretodo en el caso de personas mayores, pacientes crónicos o personas que necesiten un seguimiento regular de su salud. Implementar e incorporar soluciones robóticas con sistemas automatizados, permite tener una asistencia sanitaria más allá del ámbito hospitalario, favoreciendo así una atención personalizada y adaptada las necesidades desde el hogar.

Una de las tareas más susceptibles de ser apoyadas a través de la robótica y la automatización es la gestión de la medicación en los pacientes. Es un aspecto crítico que requiere de una correcta administración, tanto en términos de dosis como en los horarios de las tomas. Por ello, es esencial garantizar la eficacia de los tratamientos y así evitar riesgos para la salud de las personas. Como resultado, el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a facilitar y supervisar esta tarea se expone como un área de trabajo muy relevante en la robótica dirigida a la asistencia sanitaria.<sup>1.5</sup>



Figura 1.5: Ejemplos de sistemas robóticos aplicados a la asistencia sanitaria: robot asistencial en farmacias y robot de rehabilitación.

## 1.4. Robótica de bajo coste

La robótica de bajo coste se centra en el desarrollo de sistemas robóticos que emplean tecnologías y componentes económicos, manteniendo la funcionalidad principal del sistema. Esta perspectiva busca facilitar la accesibilidad a la robótica, lo que contribuye a su implementación en contextos educativos y también en aplicaciones reales dirigidas al usuario final. Aquí se puede ver un ejemplo en la figura 1.6

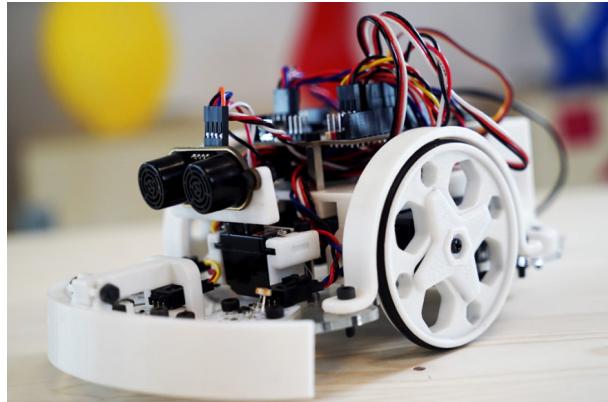


Figura 1.6: Robot de bajo coste para educación.

Una de las ventajas fundamentales de la robótica de bajo costo es su simplicidad y funcionalidad para automatizar procesos específicos. Es posible crear sistemas funcionales que se puedan replicar, modificar y escalar con relativa facilidad si se disminuye el costo de los componentes de hardware y se utilizan herramientas de software abiertas. Esto facilita su implementación en situaciones donde el presupuesto es un elemento restrictivo.

El progreso de los sistemas embebidos y el acceso a microcontroladores de alto rendimiento a precios bajos han sido elementos cruciales en la expansión de este tipo de robótica. La incorporación de módulos de comunicación, sensores y actuadores asequibles posibilita la creación de sistemas que tengan la capacidad de interactuar con su entorno y proporcionar funcionalidades sofisticadas, utilizando el software para compensar las restricciones de un hardware más barato.

El enfoque de bajo costo es particularmente significativo en el campo de la robótica asistencial, doméstica y de servicio, pues permite crear soluciones asequibles para una mayor cantidad de usuarios. Así, la robótica de bajo costo se muestra como una herramienta esencial para diseñar dispositivos que busquen optimizar el desempeño en tareas diarias, la autonomía individual y la calidad de vida, particularmente en ámbitos como el sanitario y el doméstico ya que mejoran la productividad y facilitan la personalización.

Teniendo en cuenta lo expuesto a lo largo de este capítulo, en este proyecto se le da gran relevancia a la robótica de servicio y a las soluciones de bajo coste orientadas al ámbito sanitario y doméstico. En este contexto, el proyecto se centra en el diseño y desarrollo de un sistema automatizado de dispensación de medicamentos para el entorno del hogar. El objetivo es facilitar la gestión correcta en la toma de tratamientos y mejorar así la autonomía y seguridad de los usuarios.

El sistema propuesto se basa en una plataforma que integra elementos de interacción con el usuario, así como mecanismos de control y supervisión que permite su uso de forma sencilla e intuitiva. Como añadido, se plantea su integración con una aplicación móvil que amplía las diferentes posibilidades en la configuración de las tomas y el seguimiento del usuario a través del sistema. En los siguientes capítulos se definirán los objetivos del trabajo, así como otras soluciones relacionadas con este y se mostrarán en detalle el diseño, implementación y evaluación del sistema desarrollado.

---

## **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. Competencias**

Enumera las competencias generales adquiridas y empleadas. Es decir, las que consideres que has adquirido durante la realización de tu TFG (las podrás encontrar en la guía docente de la asignatura TFG), así como las que creas que has adquirido en las distintas asignaturas del grado (descritas en sus respectivas guías docentes) y que has empleado para llevarlo a cabo.

## 2.4. Metodología

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

## 2.5. Plan de trabajo

Qué agenda has seguido. Si has ido manteniendo reuniones semanales, cumplimentando 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

---

```

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

`hypothesizeParallelograms()`. También se puede usar este entorno para varias líneas, como se ve a continuación:

```

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.

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

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<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, 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                          |

Tabla 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<sup>A</sup>T<sub>E</sub>Xa 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
```

# Bibliografía

---

- [Vega, 2008] Vega, J. (2008). Navegación y autolocalización de un robot guía de visitantes. Master thesis on computer science, Rey Juan Carlos University.
- [Vega, 2015] Vega, J. (2015). De la tiza al robot. Technical report.
- [Vega, 2018a] Vega, J. (2018a). *Educational framework using robots with vision for constructivist teaching Robotics to pre-university students*. Doctoral thesis on computer science and artificial intelligence, University of Alicante.
- [Vega, 2018b] Vega, J. (2018b). JdeRobot-Kids framework for teaching robotics and vision algorithms. In *II jornada de investigación doctoral*. University of Alicante.
- [Vega, 2019] Vega, J. (2019). El profesor Julio Vega, finalista del concurso 'Ciencia en Acción 2019'. URJC, on-line newspaper interview.
- [Vega and Cañas, 2019] Vega, J. and Cañas, J. (2019). PyBoKids: An innovative python-based educational framework using real and simulated Arduino robots. *Electronics*, 8:899–915.
- [Vega et al., 2012] Vega, J., Perdices, E., and Cañas, J. (2012). *Attentive visual memory for robot localization*, pages 408–438. IGI Global, USA. Text not available. This book is protected by copyright.