



GRADO EN INGENIERÍA DE ROBÓTICA SOFTWARE

Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada

Curso académico 2024-2025

Trabajo Fin de Grado

Automatización de línea de producción robotizada
para simulación didáctica

Tutor: Julio Salvador Lora Millán

Autor: Álvaro Alonso Alosete



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 licenciente 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 licenciente.
- *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

1. Introducción	1
1.1. La robótica	1
1.1.1. Robótica de Servicio	3
1.1.2. Robótica Industrial	4
1.2. Evolución e historia de la robótica industrial	5
1.3. Conceptos fundamentales de la robótica industrial	7
1.4. Beneficios de la automatización con robots industriales	7
1.5. Motivación del trabajo	7
1.5.1. Números	7
1.5.2. Listas	7
2. Objetivos	9
2.1. Descripción del problema	9
2.2. Requisitos	9
2.3. Competencias	9
2.4. Metodología	10
2.5. Plan de trabajo	10
3. Plataforma de desarrollo	11
4. Diseño	12
4.1. Snippets	12
4.2. Verbatim	12
4.3. Ecuaciones	13
4.4. Tablas o cuadros	13
5. Conclusiones	15
5.1. Conclusiones	15
5.2. Corrector ortográfico	16

Bibliografía

17

Índice de figuras

1.1. RB-WATCHER de Robotink.	2
1.2. Pudu bellabot.	3
1.3. Partes de un brazo robótico industrial.	4
1.4. Primeros robots industriales.	5
1.5. Primeros robots industriales.	6

Listado de códigos

4.1. Función para buscar elementos 3D en la imagen	12
4.2. Cómo usar un Slider	13

Listado de ecuaciones

4.1. Ejemplo de ecuación con fracciones	13
4.2. Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales	13

Índice de cuadros

4.1. Parámetros intrínsecos de la cámara	14
--	----

Capítulo 1

Introducción

La automatización no es el enemigo del trabajador, sino la clave para su evolución

La automatización ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de la industria moderna, permitiendo mejoras significativas en eficiencia, calidad y seguridad. Desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, la evolución de las tecnologías ha dado paso a sistemas cada vez más sofisticados, donde la integración de robots ha transformado los entornos de producción, ofreciendo resultados de mayor calidad y reduciendo costes y tiempos de producción. En particular, la robótica industrial ha desempeñado un papel clave en sectores como la automoción, la electrónica y la manufactura, ofreciendo soluciones flexibles y altamente eficientes para la producción en serie.

En este capítulo se presentará el contexto en el que se desarrolla este trabajo, proporcionando una visión general de la automatización en la industria y su evolución hasta la actualidad. Posteriormente, se acotará el enfoque hacia la robótica industrial, destacando su impacto en la optimización de procesos productivos. Finalmente, se delimitará el ámbito específico de este estudio, centrado en la automatización de una línea de producción robotizada, analizando sus beneficios, retos y las tecnologías empleadas.

1.1. La robótica

La robótica es la disciplina científica que integra conocimientos de electrónica, mecánica e informática para desarrollar sistemas automatizados capaces de realizar tareas de manera autónoma o semiautónoma. Los componentes que conforman un robot son esenciales para su funcionamiento, desde la estructura mecánica (brazos, ruedas, actuadores, etc.), que debe garantizar un movimiento preciso y estabilidad, hasta los

sistemas electrónicos que deben ser totalmente compatibles y funcionales para permitir la correcta operación. Además, los algoritmos que se implementan deben ser robustos, seguros y capaces de adaptarse a diversas situaciones y condiciones del entorno.

En el ámbito de la robótica, los sensores juegan un papel crucial, ya que proporcionan al robot la información necesaria sobre su entorno. Estos sensores, de diversos tipos, miden una amplia gama de magnitudes físicas, como la luz, posición, velocidad, fuerza, temperatura..., funcionando de manera análoga a los órganos sensoriales en los seres humanos.

Una vez que los sensores recogen los datos del entorno, el software del robot procesa esta información, proporcionando la inteligencia necesaria para tomar decisiones. Utilizando algoritmos avanzados o inteligencia artificial, el robot es capaz de generar respuestas adecuadas a las entradas, lo que resulta en la ejecución de una acción específica, como un movimiento o la interacción con su entorno.

Finalmente, los actuadores son los encargados de ejecutar las acciones determinadas por el sistema de control, permitiendo que el robot lleve a cabo tareas como moverse o manipular objetos. Los actuadores son fundamentales para la efectividad del robot, ya que son los elementos que materializan las decisiones procesadas en acciones físicas tangibles.



Figura 1.1: RB-WATCHER de Robotink.

1.1.1. Robótica de Servicio

La robótica de servicio engloba los robots diseñados para interactuar con personas o realizar tareas útiles en un entorno no industrial. Estos robots se emplean para proporcionar servicios en lugar de realizar trabajos repetitivos de manufactura, y están diseñados para facilitar tareas cotidianas, mejorar la calidad de vida o asistir a los seres humanos en áreas específicas.

La robótica de servicio abarca una amplia gama de aplicaciones en sectores tan diversos como la agricultura, minería, rescate, logística y conducción autónoma. Estos robots suelen ser principalmente móviles, ya que requieren desplazarse por su entorno para realizar sus tareas. Además, deben ser reactivos a las condiciones del medio y lo suficientemente robustos para garantizar el éxito de su misión, incluso en entornos impredecibles. Generalmente, estos robots tienen menos de tres grados de libertad debido a la naturaleza de las tareas que realizan, las cuales no requieren movimientos extremadamente complejos. Actúan en entornos no controlados, lo que implica que su programación y control deben ser altamente adaptativos, provocando que la programación sea especialmente compleja en ciertos escenarios ¹.



Figura 1.2: Pudu bellabot.

¹Deiscar, B. ¿Qué es la robótica de servicio? UDIT Universidad; UDIT - Universidad de Diseño y Tecnología. <https://udit.es/actualidad/que-es-la-robotica-de-servicio/>

1.1.2. Robótica Industrial

La robótica industrial es una disciplina de la ingeniería robótica dedicada al diseño, desarrollo y fabricación de robots industriales con el propósito de automatizar tareas repetitivas tradicionalmente realizadas por seres humanos. Estos sistemas robóticos se caracterizan por seguir una secuencia de instrucciones predefinidas, ejecutando ciclos de trabajo continuos en líneas de producción de diversos sectores industriales. Su uso es particularmente frecuente en la industria manufacturera, donde contribuyen significativamente a mejorar la eficiencia, la velocidad y la calidad de los procesos productivos ².

A diferencia de los robots de servicio, los robots industriales operan en entornos altamente controlados, lo que simplifica su programación y control. Debido a estas condiciones estables, estos robots suelen tener más de tres grados de libertad, permitiéndoles realizar movimientos complejos con gran precisión. Aunque su aplicación principal ha sido históricamente en entornos industriales, su uso se ha expandido hacia sectores como la minería, la agricultura, el comercio y la salud, demostrando su versatilidad y adaptabilidad.

Desde la aparición de los primeros prototipos de robots industriales, ha surgido un debate sobre su impacto en el empleo humano, con preocupaciones respecto a una posible sustitución de la mano de obra. Sin embargo, numerosos estudios sostienen que, lejos de desplazar a los trabajadores, estos sistemas robóticos buscan mejorar las condiciones laborales, eliminando tareas monótonas o peligrosas ³.

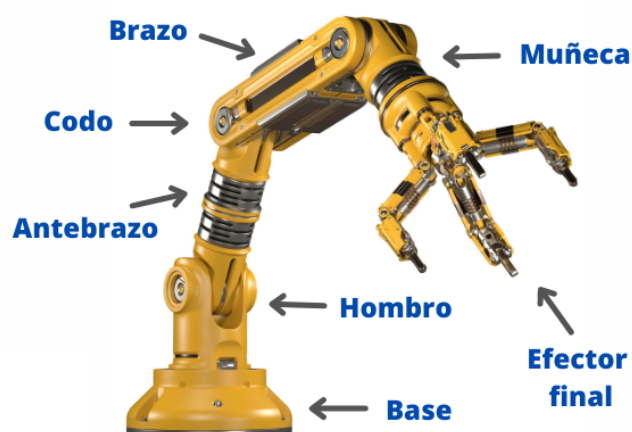


Figura 1.3: Partes de un brazo robótico industrial.

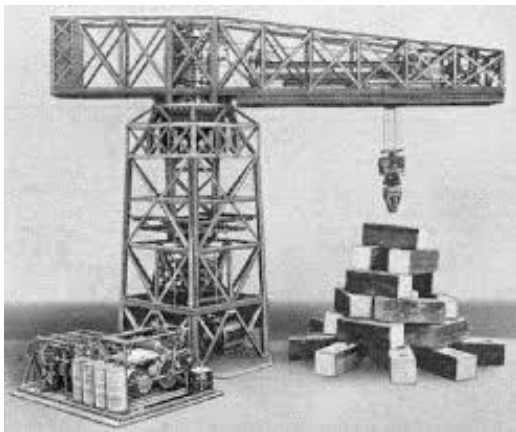
²(N.d.). Unir.net. Retrieved February 24, 2025, from <https://www.unir.net/revista/ingenieria/robotica-industrial/>

³Robótica industrial: Qué es, usos y aplicaciones. (2023, June 14). Computing. <https://www.computing.es/informes/robotica-industrial-que-es-usos-aplicaciones/>

1.2. Evolución e historia de la robótica industrial

La robótica industrial aparece por primera vez a mediados del siglo XX en Europa a manos del británico Bill Taylor, estudiante que sobre 1937 creó el robot Gargantua, un robot en forma de grua cuya principal función era la colocación de objetos, dando lugar al primer modelo de pick & place ⁴.

Por otro lado, George Devol fue el encargado de crear la primera empresa de robótica de la historia llamada *Unimation* y en el año 1954 se crea el que se considera el primer robot industrial. Este robot consistía en un brazo hidráulico cuya finalidad era elevar cargas pesadas para facilitar su transporte, y en los años siguientes se fueron sacando versiones más avanzadas de este modelo. Además, esta empresa participó en el desarrollo del primer robot de transferencia programable en 1961 ⁵.



Gargantua.



George Devol.

Figura 1.4: Primeros robots industriales.

En los años 60 y 70 ya empezaron a aparecer modelos de brazos robóticos más elaborados y de mayor tamaño con elementos como sensores o cámaras incorporados en ellos. En 1973 la empresa alemana KUKA crea Famulus, el primer robot industrial con motores eléctricos y en 1974 Victor Scheinman desarrolla el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), el cual se convierá en un estándar en la industria ⁶.

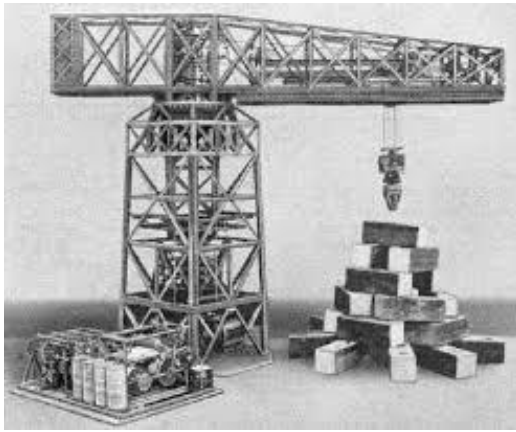
⁴Marketing. (2021, February 2). Historia y Evolución de la Robótica Industrial. EDS Robotics. <https://www.edsrobotics.com/blog/evolucion-robotica-industrial/>

⁵Robotnik, P. (2021, November 2). Historia & Origen de los Robots y de la Robótica. Robotnik. <https://robotnik.eu/es/historia-de-los-robots-y-la-robotica/>

⁶Sutori. (n.d.). Sutori.com. Retrieved February 24, 2025, from <https://www.sutori.com/es/historia/linea-de-tiempo-evolucion-de-la-robotica-industrial--6w6pytow1tj3grr5scVKU1Ns>

En los años 80 la robótica industrial alcanzó su máximo desarrollo debido a que la fabricación y venta de esta aumentó un 80 % y, aunque EEUU fue el impulsor de esta industria, también empezó a desarrollarse en Asia y Europa. Destaca el robot Motoman L10 de Yaskawa desarrollado en 1981, el cual introduce el uso de retroalimentación por visión, lo que permite a los robots la identificación de objetos y su entorno o el PUMA 560, primer prototipo de robot quirúrgico.

A partir de la década de 1990, la robótica industrial experimentó un crecimiento significativo, impulsado por la globalización y la creciente demanda de bienes de consumo. Este período marcó la transición hacia la robótica inteligente, estableciendo estándares internacionales por la (ISO) y utilizando sensores avanzados dando lugar a mejores resultados.



Gargantua.



George Devol.

Figura 1.5: Primeros robots industriales.

Entrando al siglo XXI se crean los primeros robots colaborativos, conocidos como cobots, concebidos para cooperar de manera directa con las personas. Estos dispositivos se caracterizan por su seguridad, adaptabilidad y facilidad de programación, convirtiéndose en una solución ideal para entornos industriales donde es necesario combinar tareas manuales y automatizadas.

En los años 2010, la Industria 4.0 emergió como una nueva fase en la manufactura, caracterizada por la digitalización y la interconexión de sistemas de producción. Los robots industriales se convirtieron en componentes clave de las fábricas inteligentes, colaborando estrechamente con humanos y otros sistemas automatizados para optimizar la eficiencia y la flexibilidad en la producción.

1.3. Conceptos fundamentales de la robótica industrial

1.4. Beneficios de la automatización con robots industriales

1.5. Motivación del trabajo

En los textos puedes poner palabras en *cursiva*, para aquellas expresiones en sentido *figurado*, palabras como *robota*, 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.

No olvides incluir imágenes y referenciarlas, como la Figura 1.1.

1.5.1. Números

En lugar de tener secciones interminables, como la Sección 1.1, divídelas en subsecciones.

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

1.5.2. 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 Cita, sobre todo en este capítulo, referencias bibliográficas que respalden tu argumento. Para citarlas basta con poner la instrucción `\cite` con el identificador de la cita. Por ejemplo: libros como [Vega et al., 2012], artículos como [Vega and Cañas, 2019], URLs como [Vega, 2019], tesis como [Vega, 2018a], congresos como [Vega, 2018b], u otros trabajos fin de grado como [Vega, 2008].

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}`.

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, concrétales 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.

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

Ecuación 4.1: Ejemplo de ecuación con fracciones

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

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 μm
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 propuesto, 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
```

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.