

# Robótica Móvil

## Introducción

Taihú Pire

Laboratorio de Robótica

CONICET



---

C I F A S I S

# Programa de la materia (Parte I)

1. **Introducción:** Historia de la Robótica Móvil. Tipos de Robots. Campos de aplicación de la Robótica Móvil. Desafíos de la Robótica Móvil.
2. **Cinemática:** Sistemas de locomoción. Modelo Diferencial. Modelo de Ackerman. Holonómico/No-Holonómico.
3. **Percepción:** tipos de sensores. Sensores interoceptivos y exteroceptivos. Modelo de sensores. Ventajas y desventajas de cada tipo de sensor. Caracterización del ruido.
4. **ROS y Gazebo:** Introducción a ROS 2. Herramientas de visualización y depuración. Recolección de Datos. Simulador Gazebo.
5. **Visión en Robótica:** Geometría proyectiva. Extracción de características visuales. Calibración Visual: intrínseca y Extrínseca.

## Programa de la materia (Parte II)

1. **Localización:** Modelo probabilístico. Teoría de Bayes. Principio de independencia de Markov. Filtros Gaussianos: Filtro Extendido de Kalman. Filtros no-paramétricos: Monte Carlo e Histograma.
2. **Mapeo:** Nube de puntos. Grilla de Ocupación, árbol cuaternario (Quadtree) y árbol octal (Octree), campos de distancia de signo truncado (TSDF).
3. **Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM):** Grafo de Factores. Métodos de optimización: Método de descenso por gradiente, Método Gauss-Newton, Método Levenberg-Marquardt y Bundle Adjustment. Grupos de Lie. Álgebra de Lie. Pre-integración. Problema del Robot Secuestrado (Kidnapped Robot Problem). Relocalización. Detección y Cierre de Ciclos.
4. **Planeamiento de Caminos:** Algoritmo A\*. Algoritmo de Dijkstra. Grafo de Visibilidad. Descomposición de celdas. Diagrama de Voronoi. Campos de potencial artificial, Probabilistic RoadMap, Rapidly Exploring Random Tree (RRT) y Rapidly-exploring Random Graph (RRG).
5. **Control:** Controlador proporcional-integral-derivativo (PID). Regulador Lineal Cuadrático (LQR). Control Predictivo por Modelo (MPC).

# Métodología de evaluación

## Correlativas:

- ▶ Probabilidad y Estadística
- ▶ Métodos numéricos
- ▶ Sistemas Operativos I
- ▶ Introducción a la Inteligencia Artificial

## Regularizar:

- ▶ Trabajos Prácticos (en grupos de 2)

## Evaluación final:

- ▶ Trabajo Práctico + coloquio (en grupos de 2)

# Algunos Robots de ficción



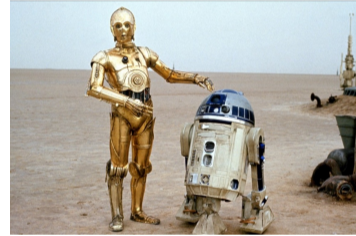
Maria - Metropolis  
(1927)



Gort - The Day the Earth Stood  
Still (1951)



Robby - Forbidden Planet (1956)



R2D2 y C3PO - Star Wars (1977)

# Robots de ficción



# ¿Qué es un Robot?

## Según Robot Institute of America, 1979

Un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover material, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de varios movimientos programados para el desempeño de una variedad de tareas.

## Según la RAE

Máquina o ingenio electrónico programable que es capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones.

Una definición que usamos (<https://robots.ieee.org/learn/what-is-a-robot/>):

Un robot es una máquina autónoma capaz de sensar su entorno, realizar cálculos para tomar decisiones y realizar acciones en el mundo real.

# ¿Qué es la Robótica?

## Robótica

La Robótica es la intersección de la ciencia, la ingeniería y la tecnología que produce máquinas, llamadas robots, que sustituyen (o replican) las acciones humanas.



# Un poco de Historia

La primera aparición de la palabra robot es utilizada por Karl Capek en 1921 en su obra teatral R. U. R. (Rossumovi Univerzální Roboti Rossum's Universal Robots). La palabra robot viene de la palabra checa *robota* que significa esclavo.

**ČESKÉ ZEMSKÉ DIVADLO V PRAZE**  
**NÁRODNÍ DIVADLO**

V úterý 25. ledna 1921. Mimo předplacení.

Poprvé,  
**R. U. R.**  
(Rossum's Universal Robots.)

Upravil hra v režii komedií a vlně akrob. Režisr. Karol Capek.  
Běžá Věra Nová. Výtvarn. Stanislav Fawcett. Kostymy Josef Capek.

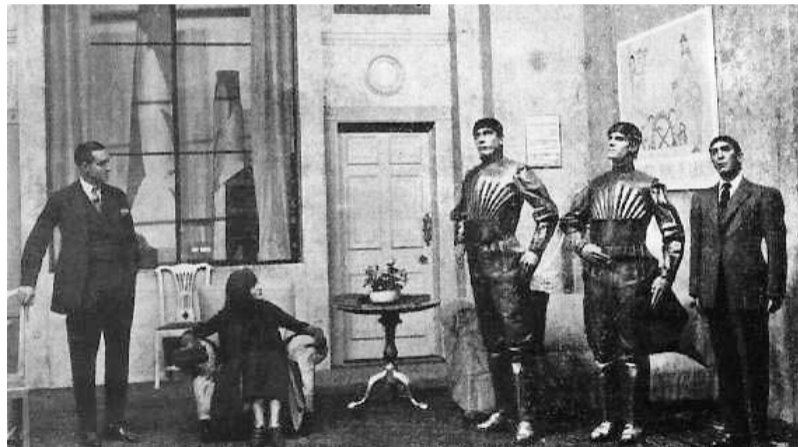
Marie Dvořák, první herec	1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč
1. a 2. ř. 100 Kč	3. ř. 50 Kč	4. ř. 25 Kč	5. ř. 10 Kč

**Začíná v 7. hod. Po vstupní komedii a druhému aktovi předhra. Konec v 10. hod.**

Operace v 2. hod. Večer v 7. hod. mimo předplacení.

**SÁRKA** **KOUZELNÁ PLETNA**

**Předhra:** vstupenek jest seřazen takto: V první řadě předplacení se vstupenky se druhé předplacení se druhé do druhé a se druhé do předplacení poslední až střední příslušné křesla.



## Un poco de Historia

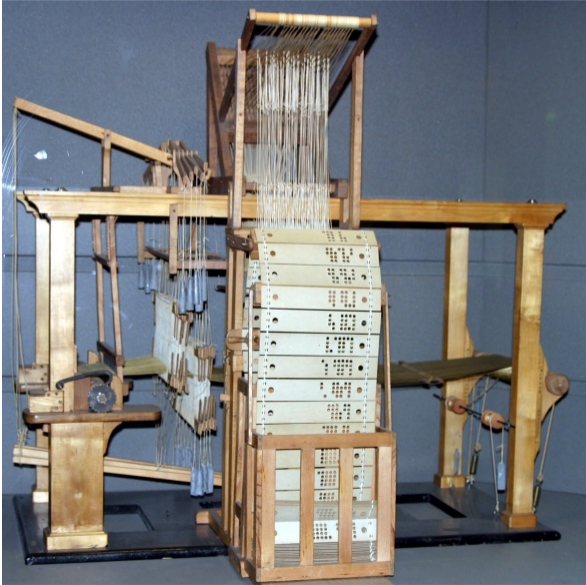
La palabra *robotics* también fue utilizada por primera vez por Issac Asimov en 1942 en su cuento corto *Runaround* (en español Circuito Vicioso).

- ▶ Primera Ley: Un robot no hará daño a un ser humano ni, por inacción, permitirá que un ser humano sufra daño.
- ▶ Segunda Ley: Un robot debe cumplir las órdenes dadas por los seres humanos, a excepción de aquellas que entren en conflicto con la primera ley.
- ▶ Tercera Ley: Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la primera o con la segunda ley.

# Autómata 1808-1840

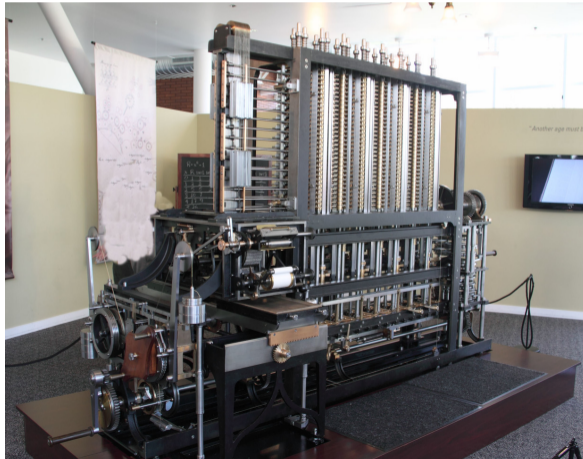


# Telar de Jacquard 1801



## Máquina diferencial de Babbage 1870

Una máquina diferencial es una calculadora mecánica de propósito especial, diseñada para calcular funciones polinómicas. La Máquina diferencial mecánica creada por Babbage utiliza tarjetas perforadas para realizar cálculos. Aunque no fue construida en su momento fijo los cimientos para construir la computadora electrónica ENIAC durante la Segunda Guerra Mundial.

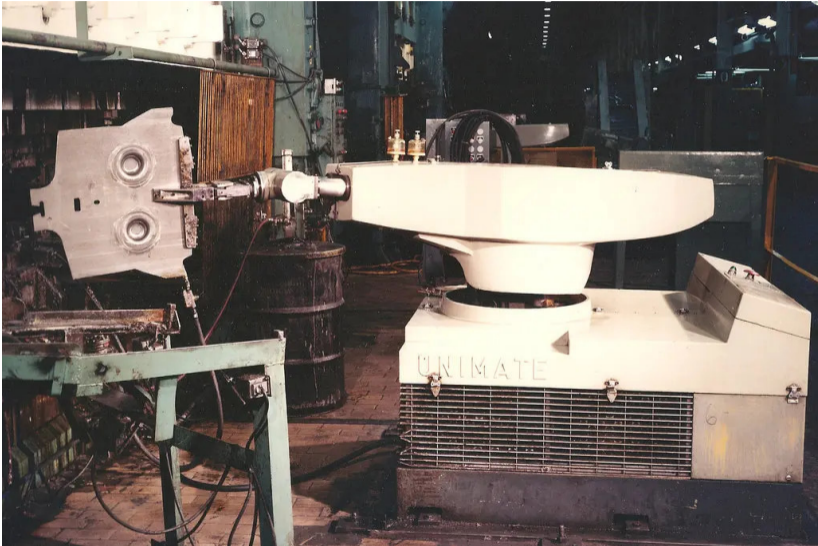


## Teleoperación por Raymond Goertz 1949

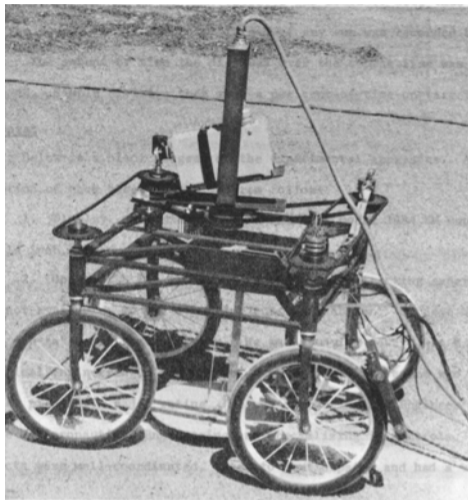
Máquinas maestro-esclavo para manipular materiales radioactivos durante la construcción de armas nucleares. Nace la teleoperación.



# Unimation Inc 1956



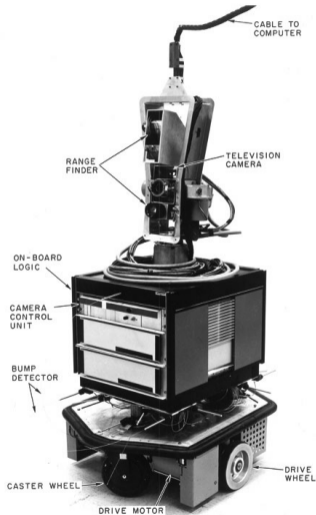
# Stanford Cart 1961



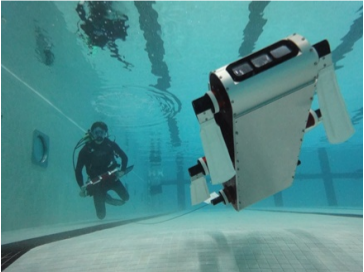


# Shakey the robot: el primer robot móvil autónomo

Desarrollado durante 1966 - 1972 por Stanford Research Institute International (SRI).  
Resultados: A\*, Hough transform y visibility graph.



# Aplicaciones de la Robótica



# Aplicaciones de la Robótica

- ▶ Vehículos autónomos
- ▶ Industriales
- ▶ Cuidado de la Salud
- ▶ Aeroespacial
- ▶ Robots de consumo
- ▶ Respuesta a desastres/catástrofes
- ▶ Drones (UAV)
- ▶ Educación
- ▶ Entretenimiento
- ▶ Exoesqueletos
- ▶ Humanoides
- ▶ Militares
- ▶ Investigación
- ▶ Telepresencia
- ▶ Submarinos

## Tipos de Robots según locomoción o entorno

- ▶ Brazos robóticos
- ▶ Robots con ruedas
- ▶ Robots con patas
- ▶ Robots acuáticos
- ▶ Robots aéreos

# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

Respuesta:

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.

# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

- ¿Dónde estoy?

Respuesta:

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.

# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

- ¿Dónde estoy?

Respuesta:

→ Cálculo de la posición (Localization)

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.

# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

- ¿Dónde estoy?
- ¿Por dónde estoy yendo?

Respuesta:

→ Cálculo de la posición (Localization)

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.



# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

- ¿Dónde estoy?
- ¿Por dónde estoy yendo?

Respuesta:

- Cálculo de la posición (Localization)
- Representación del entorno (Mapping)

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.

# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

- ¿Dónde estoy?
- ¿Por dónde estoy yendo?
- ¿Cómo llego hasta allí?

Respuesta:

- Cálculo de la posición (Localization)
- Representación del entorno (Mapping)

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.

# Navegación autónoma

La navegación autónoma puede definirse a grandes rasgos como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y uno final [1].

Pregunta:

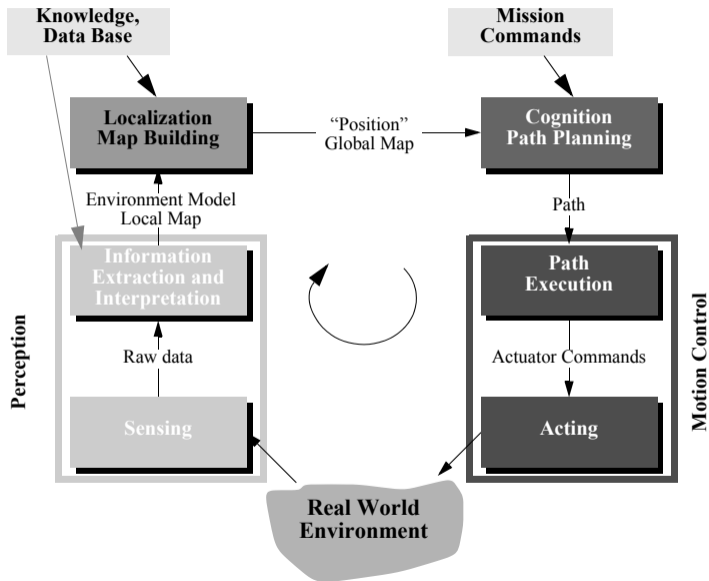
- ¿Dónde estoy?
- ¿Por dónde estoy yendo?
- ¿Cómo llego hasta allí?

Respuesta:

- Cálculo de la posición (Localization)
- Representación del entorno (Mapping)
- Planeamiento de trayectoria (Path planning)

[1] J. J. Leonard - et al., "Mobile robot localization by ...," IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2002.

# Esquema de control de un robot móvil



## Desafíos de la robótica móvil

El entorno, el sistema de locomoción, los sensores y la aplicación determinan los desafíos a resolver.

Analizar los problemas que puedan aparecer en ciertas aplicaciones...

# Impacto de la robótica

Filosofemos... Revolución industrial.

## Neoludismo

Corriente filosófica que se opone al desarrollo tecnológico y científico de la sociedad moderna.

# Laboratorio de Robótica del CIFASIS

- ▶ Taihú Pire (Investigador Asistente)
- ▶ Gastón Castro (Becario Postdoctoral)
- ▶ Javier Cremona (Becario Doctoral)
- ▶ Nicolás Soncini (Becario Doctoral)

En el proyecto del Robot Desmalezador:

- ▶ Eriva Vidal (CPA)
- ▶ Maximiliano Garcia (CPA)



## Líneas de Investigación

Comentar líneas de investigación...



# Red Argentina de Robótica

- ▶ Instituto Tecnológico de Buenos Aires
- ▶ Grupo de Investigación en Vehículos y Sistemas Inteligentes, Fac. Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue (Neuquén)
- ▶ Instituto de Automática, Universidad Nacional de San Juan - CONICET
- ▶ Grupo de Investigación en Robótica Autónoma - Universidad Abierta Interamericana
- ▶ Laboratorio de Automática y Robótica (LAR) - Ingeniería UBA
- ▶ Laboratorio de Robótica - CIFASIS (CONICET-UNR)
- ▶ Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería CIII perteneciente a la UTN, Facultad Regional Córdoba
- ▶ División de Robotica y Automatización CAREM, Centro Atomico Bariloche e Instituto Balseiro
- ▶ Grupo de Investigación en Lenguajes e Inteligencia Artificial Facultad de Informática - UNComahue
- ▶ Laboratorio del Procesamiento de la Información en Sistemas Autónomos (LAPISA). Universidad Nacional de Quilmes
- ▶ INTELYMEC - Investigación Tecnológica en Electricidad y Mecatrónica; Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, sede Olavarría
- ▶ LAC, Laboratorio de Automatización y Control. Departamento de Control; Escuela de Ingeniería Electrónica; Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura; Universidad Nacional de Rosario.
- ▶ Laboratorio de Robótica y Sistemas Embebidos (LRSE) perteneciente al Instituto de Ciencias de la Computación (ICC) UBA-CONICET
- ▶ GIAR: Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica. Universidad Tecnológica Nacional , Facultad Regional Buenos Aires
- ▶ Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica (IIIE – UNS/CONICET)
- ▶ Laboratorio de Inteligencia Artificial y Robótica (LINAR). Universidad de San Andrés
- ▶ Grupo de Robotica Aplicada Facultad de Ingeniería (RAFI), Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam)
- ▶ Grupo de Robótica - CIRINS - UNER
- ▶ Grupo de Robótica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Reginal Delta
- ▶ LARMMA - Laboratorio de Robots Móviles y Manipuladores Autónomos. UTN Facultad Regional Mendoza

## Grupos o Instituciones de Robótica Internacionales

- ▶ University of Bonn - Lab for Photogrammetry and Robotics
- ▶ Technical University of Munich (TUM)
- ▶ University of Freiburg
- ▶ ETH Zurich - Robotics and Perception Group
- ▶ Universidad de Zaragoza, España
- ▶ Queensland University of Technology (QUT)
- ▶ Imperial College, Londres, Reino Unido
- ▶ Massachusetts Institute of Technology (MIT) - SPARK Lab
- ▶ Georgia Institute of Technology
- ▶ Oxford Robotics Institute
- ▶ Autonomous Space Robotics Lab
- ▶ Stanford University - Standford Robotics Lab
- ▶ Aerial Robotics Group, Hong Kong University of Science and Technology (HKUST)
- ▶ ...

# Referentes Internacionales

## ▶ Norteamérica

- John Leonard
- Sebastian Thrun
- Frank Dellaert
- Dieter Fox
- Stergios I. Roumeliotis
- Vijay Kumar
- Ryan Eustice
- Michael Kaess
- Guoquan (Paul) Huang
- Gabe Sibley
- Luca Carlone
- Andrea Censi
- Timothy Barfoot

## ▶ Europe

- Paul Newman
- Roland Siegwart
- Juan Nieto
- Wolfram Burgard
- Jose Neira
- Davide Scaramuzza
- Daniel Cremers
- Cyrill Stachnis
- José Luis Blanco Claraco

## ▶ Australia

- Cesar Cadena
- Ian Reid
- Tim Bailey
- Gamini Dissanayake
- Shoudong Huang

## ▶ Asia

- Shaojie Shen

## Herramienta de trabajo

- ▶ C++/Python
- ▶ ROS (Robotics Operating System): framework de robótica
- ▶ Gazebo: simulador
- ▶ Git: versionador
- ▶ Docker: contenedor
- ▶ Latex/Lyx: escritura de informes o papers
- ▶ VScode: IDE de desarrollo
- ▶ Mendeley: manejador de papers
- ▶ Yed: diagramas
- ▶ inkscape: gráficos vectorizados

# Bibliografía

- [1] Howie Choset y col. *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations*. English. MIT Press, mayo de 2005. ISBN: 0262033275.
- [2] Peter Corke. *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB® Second, Completely Revised, Extended And Updated Edition*. Cham: Springer International Publishing, 2017, págs. 1-693. ISBN: 978-3-319-54413-7.
- [3] Richard Hartley y Andrew Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. 2.<sup>a</sup> ed. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2004. ISBN: 0521540518. DOI: 10.1017/CB09780511811685.
- [4] Bruno Siciliano y Oussama Khatib. *Springer Handbook of Robotics*. 2nd. Springer Publishing Company, Incorporated, 2016. ISBN: 3319325507.
- [5] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh y Davide Scaramuzza. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. 2nd. The MIT Press, 2011. ISBN: 0262015358.
- [6] Sebastian Thrun, Wolfram Burgard y Dieter Fox. *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*. The MIT Press, 2005. ISBN: 0262201623.