



DECIMOQUINTA CONVOCATORIA PARA EL FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN Y LA INNOVACIÓN 2020

Título del proyecto	
Optimización de trayectorias mediante algoritmos bio-inspirados aplicado a robots móviles con percepción local.	
Campo de acción	Transdisciplinariedad - Aporte al PIM
Desarrollo tecnológico con apuesta social.	El aporte al Plan Integral Multicampus (PIM) de la presente propuesta de investigación se presenta en la línea: 3. Proyección social e investigación pertinentes. Ya que pretende la aplicación de nuevo conocimiento para ofrecer soluciones tecnológicas a problemas actuales. Específicamente se pretende presentar soluciones para la navegación de robots móviles que cumplan labores asociadas a la robótica social, como por ejemplo acompañamiento a niños o ancianos, así como labores de transporte o mensajería en entornos no industriales.

Articulación con funciones sustantivas y el sector social y productivo

La presente propuesta de proyecto de investigación se articula con las tres funciones sustantivas tal y como se presenta a continuación:

Investigación: El proyecto de investigación es presentado desde el Grupo de Estudios y Desarrollo en robótica (GED), adscrito a la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, desde la línea de investigación en Robótica, así como también se relaciona con la línea de Inteligencia Computacional. El desarrollo del proyecto requiere del estudio y aplicación de técnicas de nuevo conocimiento a partir de la revisión del estado del arte, así como la utilización de nuevas aplicaciones tecnológicas como lo es el uso del software ROS (Robot Operating System) o el lenguaje de programación Python. Dentro de los productos esperados se busca la publicación en revistas internacionales indexadas y en conferencias indexadas en Springer o IEEE Explorer, con esto se busca visibilizar los resultados ante la comunidad científica mundial. Así mismo el presente proyecto puede ofrecer propuestas para proyectos dirigidos a estudiantes del semillero de robótica SERO, así como de jóvenes investigadores tanto del programa de Ingeniería Electrónica como de la Maestría en Ingeniería Electrónica, en la Universidad Santo Tomás.

Docencia: Los resultados obtenidos en proyecto de investigación serán presentados durante los contenidos de asignaturas electivas tales como robótica industrial, inteligencia artificial, robótica móvil o sistemas bio-inspirados, impartidas por los docentes del grupo GED, así como de posibles cursos



ofertados a la maestría. También se pretende involucrar estudiantes para que realicen su proyecto de grado o su tesis de maestría en el marco del proyecto de investigación.

Proyección social: Los resultados obtenidos tienen una directa aplicación en proyectos orientados hacia la robótica social. Se espera que a partir de estos resultados se puedan implementar proyectos aplicados como robots de asistencia doméstica (para acompañamiento de población infantil y de la tercera edad), búsqueda y rescate, asistencia en oficinas, bodegas y demás zonas donde interactúen con personas no familiarizadas en el campo de la robótica.

Sector social y productivo: Como se explicó anteriormente, los resultados de este proyecto pueden ser implementados en la búsqueda de soluciones de robótica en el hogar o para acompañamiento a población en situación de vulnerabilidad. La apuesta de este tipo de soluciones está orientada en ofrecer al mercado alternativas para la resolución de problemáticas de población en estado de abandono, que requieran de apoyo o de acompañamiento, ofreciendo precios competitivos desde la industria colombiana, articulando universidad con empresa, contribuyendo con servicios que pueden ser ofrecidos desde el futuro Instituto de Investigación y Desarrollo que se planea desde la Unidad de Investigación de la Sede Central de la Universidad Santo Tomás.

Grupo de investigación	Línea de investigación en la que se inscribe el proyecto
Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica GED	Robótica

Nombre del Investigador principal	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico
José Guillermo Guarnizo Marin	http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlab/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000855847	https://orcid.org/0000-0002-8401-4949	https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=mObTPkAAAAJ
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación
Ingenierías	Ingeniería Electrónica		G.E.D.
Nombre del Co-investigador	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico
Juan Manuel Calderon Chavez	http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlab/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000380938	https://orcid.org/0000-0002-4471-3980	https://scholar.google.com/citations?user=095RddUAAAAJ&hl=en
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación



Ingenierías	Ingeniería Electrónica		
-------------	------------------------	--	--

Resumen de la propuesta	Palabras clave
En las aplicaciones de robótica móvil la planeación de trayectorias es un punto crítico, ya que la selección de un camino incorrecto puede llevar a problemas que afecten el desempeño del comportamiento del robot tales como pérdidas de tiempo, gasto innecesario de energía, daños del robot, entre otros. Así mismo, en el campo de la robótica de los servicios se busca que el robot se adapte a entornos donde debe interactuar con personas no familiarizadas con temas de robótica, por lo que se pretende que el robot sea autónomo en su percepción y procesamiento de la información, ya que la adición de sensores externos puede suponer un problema para el usuario final y desincentivar el uso de este tipo de soluciones. Para esto las arquitecturas con percepción local son más idóneas, esto se refiere a que el robot contará con sus propios sensores para obtener información del ambiente donde interactúa. En robótica social el robot móvil deberá desplazarse por lugares previamente conocidos, por lo que es posible que el robot pueda obtener una información previa del entorno a través de mapas, así como también apoyarse de herramientas de localización como es la odometría. No obstante, es necesario utilizar técnicas que le permitan obtener una ruta óptima ante distintas trayectorias posibles, así como evadir obstáculos o encontrar una solución ante inconvenientes inesperados, tales como la aparición de bloqueos en la trayectoria previamente obtenida. En la siguiente propuesta de proyecto de investigación se propone el uso de técnicas bio-inspiradas con el fin de diseñar trayectorias óptimas para robots móviles con percepción local. Esto implica que si bien el robot puede tener un mapa del entorno donde debe desplazarse, deberá contar con sus propios sensores con fines de localización. Así mismo el robot deberá evadir obstáculos y planear una nueva trayectoria en caso de inconvenientes en el entorno de trabajo.	Robótica móvil. Algoritmos bio-inspirados, planeación de trayectorias, optimización.

NIT. 860.012.357-6

SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ - PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9.ª n.º 51-11 / contactenos@usantotomas.edu.co
www.usta.edu.co

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA
PBX: (571) 595 00 00 ext. 2044 / Carrera 10.ª n.º 72-50 / admisiones@ustadistancia.edu.co
www.ustadistancia.edu.co





Problema de investigación

Dentro de distintas aplicaciones de la robótica social, se requiere que los robots se desplacen de forma automática por entornos donde deberán interactuar con personas y demás objetos [1]. Dada la alta complejidad y los costos que implicaría llenar de sensores externos una casa, oficina u otros lugares que serán el lugar de trabajo del robot, es mucho más viable adaptar el robot al entorno que el entorno a las necesidades de percepción que requiere el robot móvil, esto crea la necesidad que los robots deban contar con sus propios sensores, es decir que sean robots con percepción local [2].

Teniendo en cuenta que los robots se movilizarán por entornos como edificios, apartamentos y similares, es posible que se pueda cargar un mapa previo del entorno y así mismo se apoye de técnicas que le permitan la localización tales como la odometría [3], no obstante, pueden existir diferentes caminos para llegar de un punto determinado a otro por lo que es necesario determinar la mejor ruta, teniendo en cuenta a su vez obstáculos, escaleras, vías cerradas entre otros. De no contar con buenos algoritmos que permitan la planeación de trayectorias se corren riesgos como que el robot móvil no llegue a su trayectoria, tarde mucho, consuma energía innecesaria al tomar una ruta más larga o tome una ruta incorrecta lo que conlleve a que se pierda o sufra un accidente [4].

Si bien existen algoritmos que permiten la planeación de trayectorias de robots con percepción local, muchos de ellos no encuentran una solución óptima [5], o sus algoritmos son excesivamente complejos o de un muy alto costo computacional [6], por lo que se requiere el diseño de algoritmos más sencillos en su implementación o procesamiento, pero que aseguren la ruta más adecuada.

A partir del problema anteriormente planteado, se propone la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo utilizar técnicas de optimización bio-inspiradas con el fin de planear trayectorias para robots móviles con percepción local, teniendo en cuenta obstáculos y bloqueos inesperados en las rutas?

Justificación

La necesidad de robots que apoyen a personas en labores cotidianas es creciente, que van desde la ayuda doméstica [7], hasta el acompañamiento de niños [8], ancianos o personas discapacitadas [9], así como trabajos de mensajería [10], búsqueda y rescate [11]. Para esto es necesario que los robots naveguen por ambientes que si bien no son necesariamente desconocidos, sí van a presentar una variedad de obstáculos tales como personas, mascotas, otros robots o demás objetos, o se pueden presentar inconvenientes tales como trayectorias que se estén siguiendo estén inesperadamente bloqueadas por daños o reparaciones, como también pueda pasar que existan múltiples trayectorias para llegar al destino, en cuyo caso el robot deberá planear la mejor trayectoria posible.

Si bien existen diferentes alternativas al momento de planear trayectorias [12], algoritmos bio-inspirados han sido utilizados para realizar tareas de optimización utilizando técnicas que permiten una sencilla adaptación a ambientes complejos, con presencia de incertidumbres o perturbaciones [13], sin algoritmos excesivamente complicados y presentando robustez en el diseño [14], tal es el caso de los sistemas inmunes artificiales, los cuales son algoritmos



de aprendizaje de máquina y optimización basados en el comportamiento del sistema inmune de los vertebrados [15], los cuales han sido utilizados en tareas de optimización para la planeación de trayectorias [16].

Utilizar este tipo de algoritmos le permitiría a un robot móvil con percepción local planear trayectorias óptimas en ambientes conocidos, pero con presencia de incertidumbres tales como obstáculos o bloqueos, y con múltiples caminos posibles. Si bien el robot se apoyará en un mapa previo del entorno, estos algoritmos deben ser independientes al mapa, siendo capaces de adaptarse a diferentes ambientes donde el robot sea capaz de desplazarse.

Los resultados del presente trabajo de investigación se pueden aplicar en distintos campos como es la robótica social, donde robots de asistencia doméstica o de ayuda a personas en entornos como oficinas, colegios u hospitales, así como robots realizando labores de mensajería o transporte necesitan contar con algoritmos para desplazarse de forma autónoma, interactuando con demás personas u obstáculos, contando solamente con sensores propios en cada robot, hecho que podría incentivar el uso de este tipo de soluciones a nivel de hogar o empresarial.

Objetivo general

Diseñar e implementar un algoritmo basado en técnicas bio-inspiradas aplicado a robots móviles con percepción local, para la planeación de rutas óptimas con presencia de obstáculos e incertidumbres, adaptable a ambientes interiores.

Objetivos específicos

- Revisar técnicas bio-inspiradas para la planeación de rutas aplicadas a robots móviles, enfocado en sistemas inmunes artificiales.
- Diseñar e implementar un algoritmo de planeación de rutas mediante el uso de sistemas inmunes artificiales, para robots móviles con percepción local.
- Diseñar e implementar una arquitectura de navegación que incluya al algoritmo de planeación de trayectorias, un módulo de evasión de obstáculos y un sistema para la selección de nuevas trayectorias en caso de bloqueos u obstrucciones.
- Definir las métricas que permitan la validación del algoritmo a partir de la revisión del estado del arte.
- Validar el sistema de navegación propuesto implementado en un robot móvil diferencial, en ambientes interiores con presencia de obstáculos e incertidumbres.
- Comparar los resultados obtenido de la técnica bio-inspirada, con otros resultados obtenidos a partir de otra técnica seleccionada del estado del arte.



Estado del arte y marco conceptual

Se considera que un robot tiene percepción local, cuando la información que recibe de su entorno se basa únicamente de los sensores que el propio robot posee limitando la información accesible sobre el espacio de trabajo, en contraste los sistemas robóticos con percepción global poseen todo el tiempo una información completa de lo que está sucediendo, a través de un sistema de fusión sensorial [17]. Un ejemplo de un sistema con percepción local son los robots Nao que son utilizados en la Standard Platform League de la Robocup, los cuales son robots cuyos sensores son cámaras de video instaladas en cada uno [18].

La robótica social busca la interacción y la comunicación entre robots y humanos siguiendo las normas de comportamiento con las que las personas se relacionan entre sí, esto implica la interacción entre personas y robots en entornos cotidianos [19]. Distintas aplicaciones de robótica social incluyen asistencia en atención médica [20], cuidado de personas mayores [21], cuidado de niños [22], en atención al cliente en tiendas [23], asistencia militar, domótica, ayudas educativas entre otros [24].

Para la robótica social se hace evidente la necesidad de robots que se adapten al medio donde deben interactuar, siendo la forma más eficiente para eso la construcción de robots completamente autónomos, lo que implica que el robot tenga percepción local [25]. Así mismo, para que los robots autónomos puedan cumplir su tarea, es necesario que tengan la capacidad de navegar por el ambiente de trabajo, el cual generalmente presenta incertidumbres y eventos impredecibles, por lo cual se hace necesario integrar la percepción, localización y planeación de trayectorias [26]. Al respecto existen distintos trabajos donde la planeación de trayectorias de robots se integra con técnicas SLAM (mapeo y localización simultáneo por sus siglas en inglés) las cuales son técnicas diseñadas para que robots autónomos con percepción local generen mapas mientras navegan por un ambiente y al mismo tiempo estimen su posición a partir de la odometría [27], apoyándose de técnicas como filtros Kalman [28], filtros de información o filtros de partículas entre otros [29].

Lo anterior abre la posibilidad de crear previamente mapas del entorno de trabajo utilizando técnicas de SLAM, lo que facilita los algoritmos de generación de trayectorias para robots móviles con percepción local [30].

Dentro de los distintos trabajos de planeación de trayectorias para robots autónomos se encuentran algunos que dividen el ambiente de trabajo en rejillas y buscan la ruta óptima, aunque el algoritmo incrementa la complejidad cuando se aumenta el número de rejillas con el fin de mejorar la resolución o cuando la posición objetivo se encuentra en una posición en medio de varios obstáculos, incrementando exponencialmente el coste computacional [31]. Métodos como el anteriormente descrito se conocen como métodos basados en modelos geométricos de búsqueda, entre los cuales se tienen modelos probabilísticos [32], modelos basados en teoría de grafos [33], métodos basados en árboles de búsqueda [34], descomposición celular [35], diagramas de Voronoi [36], entre otros. Teniendo como principales problemas que las rutas planeadas pueden llegar a óptimos locales y el campo de trabajo puede ser reducido perdiendo resolución [6].

Otros métodos utilizados para la planeación de trayectorias se basan en campos potenciales, los cuales permiten obtener un camino uniforme a lo largo de campos virtuales con un bajo costo computacional [37]. Estas técnicas aunque tienen la ventaja de ser fácilmente implementables en tiempo real tienen el problema que no evitan fácilmente la situación de bloqueo en la que el robot se puede encontrar en un punto determinado antes de llegar a su objetivo [38], situación que se puede solucionar con una técnica que encuentre una solución óptima global.



Otros métodos se basan en optimización matemática, transformando el diseño de planeación de trayectorias en un problema de programación matemática. En estos casos se plantean soluciones a partir de modelos de riesgo y amenazas utilizando para la optimización modelos de programación lineal integral [39]. Otros modelos se basan en funciones de densidad de probabilidad, obteniendo el óptimo a partir de iteraciones [40]. No obstante, una de las principales restricciones de estos modelos es que se basan en la configuración espacial del robot, presentándose restricciones a partir del modelo cinemático obtenido [41].

Como alternativa al diseño de planeación de trayectorias óptimas se tienen los modelos bio-inspirados los cuales permiten acercarse a una solución global óptima [42]. Por ejemplo, en [43] utilizan algoritmos de optimización colonia hormiga para mejorar la velocidad de selección del curso de la trayectoria, aunque reduciendo las posibilidades de obtener una solución global óptima. Técnicas de optimización por enjambres de partículas son utilizadas para encontrar la trayectoria óptima en ambientes con alta presencia de incertidumbres [44]. Una modalidad de algoritmos evolutivos, en este caso algoritmos genéticos, son utilizados para encontrar trayectorias óptimas en ambientes con presencia de incertidumbres [45], mostrando mejores resultados en la longitud de la trayectoria obtenida, así como en el tiempo de trabajo con otras técnicas como optimización colonia hormiga, lógica difusa [46], o redes neuronales [47].

Una técnica bio-inspirada consiste en los sistemas inmunes artificiales, los cuales se basan en el comportamiento del sistema inmune de los vertebrados en el proceso de generación de anticuerpos, esta técnica puede ser utilizada tanto para aprendizaje de máquina [48], como para optimización [49]. Una ventaja que tienen los sistemas inmunes artificiales para procesos de optimización es que presenta resultados similares con otras técnicas evolutivas, presentando alta capacidad de adaptación dependiendo el contexto en el que se aplique [50], además que de acuerdo con [51], para problemas de optimización este tipo de sistemas proporcionan diversidad, garantizan convergencia además que reducen el tiempo requerido para llegar a una solución óptima. Sistemas inmunes artificiales han sido utilizados en aplicaciones de optimización de trayectorias en robótica industrial [52], creación de mapas y reconocimiento de objetos en robótica móvil [53], planeación de trayectorias para rehabilitación muscular [54], planificación de la marcha en robótica humanoide [55], así como en planeación de trayectorias aplicada a robots paralelos [56], por lo que se propone como técnica de optimización para robots móviles autónomos con percepción local, apoyado de técnicas de SLAM.

Metodología

La metodología que se empleará en la realización del presente proyecto de investigación es empírico analítica, partiendo de la revisión de teorías propuestas y resultados obtenidos en trabajos previos, se plantean hipótesis para proponer nuevas soluciones a problemas de planeación de trayectorias aplicado a robots móviles con percepción local.

Inicialmente se realizará una revisión del estado del arte sobre distintas técnicas para la planeación de trayectorias aplicadas a robots móviles con percepción local. Así mismo se revisarán algoritmos de optimización bio-inspirados que puedan ser utilizados para el desarrollo del proyecto, enfocándose principalmente en las técnicas basados en sistemas inmunes artificiales. También se revisarán trabajos sobre algoritmos para evasión de obstáculos y sistemas de toma de decisiones. Esta revisión se realizará buscando publicaciones en revistas indexadas Scimago o ISI web of Science, así como de conferencias cuyas memorias estén indexadas en bases de datos reconocidas. Se enfocará en trabajos publicados en las bases de datos ieeexplorer de IEEE, sciencedirect de Elsevier, springerlink de Springer, así como en otras editoriales como Taylor and Francis y ACM.



Se seleccionará el robot en el que se programarán los algoritmos propuestos. Se buscará un robot móvil diferencial dada su facilidad para el control de movimiento. Así mismo se busca que el robot tenga conectividad con la plataforma ROS (Robot Operating System por sus siglas en inglés) con fines de programación. El robot debe permitir que se le puedan adaptar sensores como LIDAR y real sense con fines de percepción local.

Igualmente se seleccionará un ambiente para pruebas de trabajo, este lugar deberá ser un espacio interior que no presente grandes variaciones en la iluminación con el fin de no afectar el desempeño los sensores (si bien se reconoce que cambios en la iluminación pueden afectar a sensores como el real sense, el estudio de estos efectos no hace parte de los objetivos del presente trabajo de investigación, por lo que se plantea como trabajo futuro). El lugar de trabajo que se propone es el laboratorio de robótica de la Universidad Santo Tomás.

Posteriormente se realizará una primera propuesta de algoritmo de optimización de trayectorias a partir de técnicas bio inspiradas, el cual inicialmente se validará en el entorno seleccionado, pero sin la presencia de obstáculos o bloqueos de trayectorias. Dado que el algoritmo que se propone puede apoyarse de un mapa preexistente es necesario la construcción del mapa del entorno de trabajo, para lo cual se apoyará en técnicas de SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) con fines de elaborar los mapas y estimar una posición no obstante, para la realización del proyecto se seleccionará algún algoritmo que ya se encuentre publicado y cuyo código esté abierto en repositorios como GitHub, y no se enfocará en el desarrollo de nuevos algoritmos para tales fines.

A partir de las pruebas realizadas, se realizarán ajustes en el algoritmo propuesto. Con los resultados obtenidos hasta este punto se elaborará el informe de avance y se redactará el artículo en conferencia internacional (buscando conferencias con cuartil Q2-Q3 scimago, en territorio de Latinoamérica y el Caribe). Posteriormente se diseñará el algoritmo de evasión de obstáculos, el cual será integrado a la arquitectura de navegación del robot y validado en el entorno de trabajo. Igualmente se implementará el sistema de toma de decisiones que permitirá determinar en caso de bloqueos una nueva trayectoria, haciendo uso del algoritmo de optimización de trayectorias propuesto.

Una vez la arquitectura de navegación esté completada, será comparada con otro algoritmo de planeación de trayectorias reportado en el estado del arte. Las métricas que serán tenidas en cuenta con fines comparativos y de evaluación, serán determinadas a partir de la revisión del estado del arte realizada al inicio del proyecto.

Con los resultados obtenidos se escribirá un artículo en revista indexada Scimago Q3, también se redactará el informe final.

Este proyecto contará con un estudiante de maestría que apoyará con la implementación de los algoritmos utilizando la información obtenida a partir de un sensor real sense, tanto para la navegación como para la detección de obstáculos. También el proyecto se apoyará de un estudiante de pregrado para la programación de los algoritmos de navegación.

Resultados esperados

- 1 Artículo Q3 según clasificación Scimago
- 1 Trabajo de Grado de pregrado.
- 1 Tesis de maestría
- 1 Participación en conferencia internacional
- 1 Informe final de investigación.

Nit. 860.012.357-6

SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ - PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9.ª n.º 51-11 / contactenos@usantotomas.edu.co
www.usta.edu.co

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA
PBX: (571) 595 00 00 ext. 2044 / Carrera 10.ª n.º 72-50 / admisiones@ustadistancia.edu.co
www.ustadistancia.edu.co





Cronograma

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	FECHA		FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				
		Inicio	Fin.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
Revisión del estado del arte	Guillermo Guarnizo y Juan Calderón	01-02	14-03																																									
Selección del robot móvil diferencia	Guillermo Guarnizo	01-03	30-03																																									
Diseño del algoritmo de planeación de trayectoria	Guillermo Guarnizo Y Juan Calderón	24-03	24-04																																									
Selección ambiente de validación y generación de mapas.	Guillermo Guarnizo	24-04	30-04																																									
Implementación del algoritmo de planeación de trayectoria en robot móvil.	Guillermo Guarnizo	01-05	15-06																																									
Redacción informe de avance.	Guillermo Guarnizo Y Juan Calderón	16-06	23-06																																									
Implementación de módulo de evasión de obstáculos.	Guillermo Guarnizo	16-06	7-07																																									
Realización de pruebas del algoritmo propuesto.	Guillermo Guarnizo	16-06	31-07																																									
Ajustes al algoritmo propuesto y	Guillermo Guarnizo	24-07	21-08																																									

[illegible]



FINANCIACIÓN	RECURSO	DESCRIPCIÓN	Valor partida	Valor contrapartida (Externa)	Total (\$)
RUBROS	Servicios Técnicos				\$ 0
	Salidas de campo				\$ 0
	Equipos				\$ 0
	Materiales, insumos y software	Robot móvil, sensores real sense, baterías, pago de aranceles y demás gastos de importación.	\$ 10.000.000		\$ 10.000.000
BOLSAS	Papelería				\$ 0
	Fotocopias				\$ 0
	Material bibliográfico				
	Auxilio de transporte				\$ 0
	Movilidad	Movilidad a conferencia internacional. Incluye inscripción, pasajes aéreos, hotel y viáticos.	\$ 6.000.000		\$ 6.000.000
	Publicaciones (Artículos, proceso editorial y traducción)				\$
TOTAL DEL PROYECTO:					16.000.000

Presupuesto					
Horas nómina					
Concepto	Nombre	Escalafón	Horas mes	Sede / Seccional o Externo	Total (\$)
Horas Nomina (Investigador Principal)	Jose Guillermo Guarnizo	4	25	Sede Principal (Bogotá)	\$9.370.312.5
Horas Nomina (Co-Investigadores)	Juan Manuel Calderón	4	20	Sede Principal (Bogotá)	\$7.496.250



Referencia bibliográficas

- [1] M. Li, R. Jiang, S. S. Ge y T. H. Lee, «Role playing learning for socially concomitant mobile robot navigation,» *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 3, nº 1, pp. 49-58, 2018.
- [2] J. G. Guarnizo, M. Mellado, C. Y. Low y F. Blanes, «Architecting centralized coordination of soccer robots based on principle solution,» *Advanced Robotics*, vol. 29, nº 15, pp. 989-1004, 2015.
- [3] G. Zhuang, S. Chen, J. Gu y K. Huang, «A Real-Time Embedded Localization in Indoor Environment Using LiDAR Odometry,» de *Embedded Systems Technology. ESTC 2017*, Shenyang, China, 2017.
- [4] J. K. Goyal y K. Nagla, «A new approach of path planning for mobile robots,» de *2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, New Delhi, India, 2014.
- [5] K. Cho, Y. Choi y S. Oh, «Reactive controller synthesis for UAV mission planning,» de *14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Jeju, South Korea, 2017.
- [6] B. Li, H. Liu y W. Su, «Topology optimization techniques for mobile robot path planning,» *Applied Soft Computing Journal*, vol. 78, pp. 528-544, 2019.
- [7] K. L. Koay, D. S. Syrdal, M. Ashgari-Oskoei, M. L. Walters y K. Dautenhahn, «Social Roles and Baseline Proxemic Preferences for a Domestic Service Robot,» *International Journal of Social Robotics*, vol. 6, nº 4, p. 469–488, 2014.
- [8] R. Hashim y H. Yussof, «Feasibility of care robots for children with special needs: A review,» de *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS)*, Ottawa, ON, Canada, 2017.
- [9] N. Ramoly, A. Bouzeghoub y B. Finance, «A Framework for Service Robots in Smart Home: An Efficient Solution for Domestic Healthcare,» *IRBM*, vol. 39, nº 6, pp. 413-420, 2018.
- [10] F. Al-Turjman, M. Karakoc y M. Gunay, «Path planning for mobile DCs in future cities,» *Annals of Telecommunications*, vol. 72, nº 3-4, p. 119–129, 2017.
- [11] N. Geng, Q. Meng, D. Gong y P. W. H. Chung, «How Good are Distributed Allocation Algorithms for Solving Urban Search and Rescue Problems? A Comparative Study With Centralized Algorithms,» *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 16, nº 1, pp. 478-485, 2019.

- [12] Y. Yang, J. Pan y W. Wan, «Survey of optimal motion planning,» *IET Cyber-systems and Robotics*, vol. 1, nº 1, pp. 13-19, 2019.
- [13] A. Dai, X. Zhou y X. Liu, «Design and Simulation of a Genetically Optimized Fuzzy Immune PID Controller for a Novel Grain Dryer,» *IEEE Access*, vol. 5, pp. 14981-14990, 2017.
- [14] H. Duan, P. Li, Y. Shi, X. Zhang y C. Sun, «Interactive Learning Environment for Bio-Inspired Optimization Algorithms for UAV Path Planning,» *Transactions on Education*, vol. 58, nº 4, pp. 276-281, 2015.
- [15] L. F. Niño Vasquez, F. F. Muñoz Mopan, C. E. Prieto Salazar y J. G. Guarnizo, «Applications of Artificial Immune Systems in Agents,» de *Handbook of Research on Artificial Immune Systems and Natural Computing: Applying Complex Adaptive Technologies*, IGI Global, 2009, pp. 99-122.
- [16] D. Chen, S. Li, J. Wang, Y. Feng y Y. Liu, «A multi-objective trajectory planning method based on the improved immune clonal selection algorithm,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 59, pp. 431-442, 2019.
- [17] J. G. Guarnizo y M. Mellado, «Centralized Robot Soccer Architecture Based on Roles,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 13, nº 3, pp. 370-380, 2016.
- [18] J. G. Guarnizo, C. Trujillo y N. Diaz, «Robot Soccer: Origins, Federations, Leagues and Research,» *Ingenium*, vol. 17, nº 33, pp. 54-67, 2015.
- [19] R. Pérula-Martínez, Á. Castro-González, M. Malfaz, F. Alonso-Martín y M. A. Salichs, «Bioinspired decision-making for a socially interactive robot,» *Cognitive Systems Research*, vol. 54, pp. 287-301, 2019.
- [20] M. Salzmann-Erikson y H. Eriksson, «Absorbability, applicability and availability in nursing and care robots: A thematic analysis of Twitter postings,» *Telematics and Informatics*, vol. 35, nº 5, pp. 1553-1560, 2018.
- [21] S. M. S. Khaksar, R. Khosla, M. T. Chu y F. S. Shahmehar, «Service Innovation Using Social Robot to Reduce Social Vulnerability among Older People in Residential Care Facilities,» *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 113, pp. 438-453, 2016.
- [22] R. Looije, M. A. Neerinx y K. V. Hindriks, «Specifying and testing the design rationale of social robots for behavior change in children,» *Cognitive Systems Research*, vol. 43, pp. 250-265, 2017.
- [23] C. Shi, S. Satake, T. Kanda y H. Ishiguro, «How would store managers employ social robots?,» de *11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, Christchurch, New Zealand, 2016.
- [24] R. Schraft, «Mechatronics and robotics for service applications,» *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 1, nº 4, pp. 31-35, 1994.



- [25] A. Babić, N. Jagodin y Z. Kovačić, «Autonomous task execution within NAO robot scouting mission framework,» de *European Conference on Mobile Robots (ECMR)*, Paris, 2017.
- [26] A. S. H. H. V. Injarapu y S. K. Gawre, «A survey of autonomous mobile robot path planning approaches,» de *International Conference on Recent Innovations in Signal processing and Embedded Systems (RISE)*, Bhopal, India, 2017.
- [27] L. Zhao, S. Huang y G. Dissanayake, «Linear SLAM: Linearising the SLAM problems using submap joining,» *Automatica*, vol. 100, pp. 231-246, 2019.
- [28] L. Li, M. Yang, C. Wang y B. Wang, «Cubature Kalman Filter based point set registration for SLAM,» de *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Rio de Janeiro, Brazil, 2016.
- [29] R. Garro, J. Orozco, L. Ordinez y R. Santos, «Estrategias de diseño basadas en patrones de un subsistema de movimiento para un robot pulverizador,» de *2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, Bariloche, Argentina, 2014.
- [30] I. Maurović, M. Seder, K. Lenac y I. Petrović, «Path Planning for Active SLAM Based on the D* Algorithm With Negative Edge Weights,» *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 48, nº 8, pp. 1321-1331, 2018.
- [31] D. Drake, S. Koziol y E. Chabot, «Mobile Robot Path Planning With a Moving Goal,» *IEEE Access*, vol. 6, pp. 12800-12814, 2019.
- [32] Q. You y K. J., «Transit tomography using probabilistic time geography: planning routes without a road map,» *Journal of Location Based Services*, vol. 8, nº 14, pp. 211-228, 2014.
- [33] A. Niewola y L. Podsedkowski, «L* Algorithm-a linear computational complexity graph searching algorithm for path planning,» *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 91, nº 3-4, p. 425-444, 2018.
- [34] W. Wang, H. Deng y X. Wu, «Path planning of loaded pin-jointed bar mechanisms using Rapidly-exploring Random Tree method,» *Computers & Structures*, vol. 209, pp. 65-73, 2018.
- [35] Y. Li, H. Chen, M. J. Er y X. Wang, «Coverage path planning for UAVs based on enhanced exact cellular decomposition method,» *Mechatronics*, vol. 21, nº 5, pp. 876-885, 2011.
- [36] M. Candeloro, A. M. Lekkas y A. J. Sørensen, «A Voronoi-diagram-based dynamic path-planning system for underactuated marine vessels,» *Control Engineering Practice*, vol. 61, pp. 41-54, 2017.
- [37] P. Sudhakara, V. Ganapathy, B. Priyadharshini y K. Sundaran, «Obstacle Avoidance and Navigation Planning of a Wheeled Mobile Robot using Amended Artificial Potential Field Method,» *Procedia Computer Science*, vol. 133, 2018.



- [38] A. Marzoughi, «Navigating a mobile robot to avoid moving obstacles using virtual source/sink force field,» de *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Macau, China, 2017.
- [39] J. Berger y N. Lo, «An innovative multi-agent search-and-rescue path planning approach,» *Computers & Operations Research*, vol. 53, pp. 24-32, 2015.
- [40] A. Lazarowska, «A Trajectory Base Method for Ship's Safe Path Planning,» *Procedia Computer Science*, vol. 96, pp. 1022-1031, 2016.
- [41] Z. Zhang, J. Wang y J. Li, «Lossless convexification of nonconvex MINLP on the UAV path-planning problem,» *Optimal Control Applications and Methods*, vol. 39, nº 2, pp. 845-859, 2017.
- [42] G. Vitello, A. Alongi, V. Conti y S. Vitabile, «A Bio-Inspired Cognitive Agent for Autonomous Urban Vehicles Routing Optimization,» *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, vol. 9, nº 1, pp. 5-15, 2017.
- [43] S. Konatowski y P. Pawłowski, «Ant colony optimization algorithm for UAV path planning,» de *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2018.
- [44] P. Das, H. Behera y B. Panigrahi, «A hybridization of an improved particle swarm optimization and gravitational search algorithm for multi-robot path planning,» *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 28, pp. 14-28, 2016.
- [45] B. Patle, D. Parhi, A. Jagadeesh y S. K. Kashyap, «Matrix-Binary Codes based Genetic Algorithm for path planning of mobile robot,» *Computers & Electrical Engineering*, vol. 67, pp. 708-728, 2018.
- [46] B. S. Sandeep y P. Supriya, «Analysis of fuzzy rules for robot path planning,» de *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Jaipur, India, 2016.
- [47] H. Duan y L. Huang, «Imperialist competitive algorithm optimized artificial neural networks for UCAV global path planning,» *Neurocomputing*, vol. 125, pp. 166-171, 2014.
- [48] J. G. Guarnizo y L. F. Niño, «Clonal Selection Algorithm Applied to Object Recognition in Mobile Robots,» de *15th International Conference on Machine Learning and Data Mining*, New York, USA, 2019.
- [49] V. S. Bhadoria, N. S. Pal y V. Shrivastava, «Artificial immune system based approach for size and location optimization of distributed generation in distribution system,» *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 10, nº 3, p. 339–349, 2019.
- [50] W. Zhang, G. G. Yen y Z. He, «Constrained Optimization Via Artificial Immune System,» *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 44, nº 2, pp. 185-198, 2014.



- [51] W. Gao, J. Zhang, Q. L. L. J. Y. W. M. Yin y Y. Zhou, «Binary Artificial Immune Algorithm for Adaptive Visual Detection,» *IEEE Access*, vol. 6, pp. 51587-51597, 2018.
- [52] T. He, Y. Zhang, F. Sun y X. Shi, «Immune optimization based multi-objective six-DOF trajectory planning for industrial robot manipulators,» de *12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, Guilin, China, 2016.
- [53] W. Qu, S. Jia y X. Zhao, «Environment exploration and recognition for mobile robot using immune algorithm and objectness measure,» de *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, Beijin, China, 2015.
- [54] Z. Xuefeng, W. Jianhui y W. Xiaofeng, «Upper limb rehabilitation trajectory optimization based on artificial immune genetic algorithm,» de *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, Qingdao, China, 2015.
- [55] Y. Luo, Z. Wu, S. Bi, Y. Zhang, Q. Zheng y Q. Huang, «A biped humanoid robot's gait planning method based on Artificial Immune Network,» de *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Lanzhou, China, 2014.
- [56] D. Chen, S. Li, J. Wang, Y. Feng y Y. Liu, «A multi-objective trajectory planning method based on the improved immune clonal selection algorithm,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 59, pp. 431-442, 2019.