

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEMILLA PIS-17-02

"Estudio, coordinación y consenso de sistemas multi-agentes heterogéneos con aplicaciones en robótica móvil"

En la ciudad de Quito D.M., a los veinte días del mes de mayo del año dos mil veinte, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Semilla **PIS-17-02 "Estudio, coordinación y consenso de sistemas multi-agentes heterogéneos con aplicaciones en robótica móvil"**, por una parte la **Ph.D. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra la **Ph.D. Jackeline Abad Torres** en calidad de **Directora del Proyecto de Investigación Semilla PIS-17-02**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 4 de julio de 2017, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución 079/17, aprueba el Cronograma para el lanzamiento de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación Internos, Semilla, Junior y Multi e Interdisciplinarios 2017, y mediante Resolución 092/17 del 1 de agosto del 2017 se aprueba una reforma al Cronograma de la Convocatoria de Proyectos de Investigación del 2017; con lo cual se aplaza la fecha de cierre de la convocatoria.
- b) El 12 de diciembre de 2017, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución 167/17, se aprobaron los proyectos de la Convocatoria de Proyectos de Investigación 2017, entre ellos el denominado "Estudio, coordinación y consenso de sistemas multi-agentes heterogéneos con aplicaciones en robótica móvil", presentado por la Ph.D. Jackeline Abad.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0553-M, del 13 de marzo de 2018, se informa a los Directores de los proyectos Semilla 2017 que la fecha de inicio de los proyectos es el 9 de abril del 2018.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	<i>PIS-17-02</i>
Nombre del Proyecto	<i>Estudio, coordinación y consenso de sistemas multi-agentes heterogéneos con aplicaciones en robótica móvil</i>
Directora del Proyecto	<i>ABAD TORRES JACKELINE</i>
Codirector del Proyecto	<i>CRUZ DÁVALOS PATRICIO JAVIER</i>
Colaboradores del Proyecto	<i>LEICA ARTEAGA PAULO CÉSAR CHÁVEZ GARCÍA GEOVANNY DANILO</i>
Departamento	<i>Automatización y Control Industrial (DACI)</i>
Líneas de Investigación	<i>Robótica y Automatización Control y Sistemas</i>
Objetivo	<i>Estudiar y coordinar sistemas conformados por múltiples agentes heterogéneos para aplicaciones en robótica móvil</i>
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Inicio: 9 de abril del 2018</i> • <i>Fin planificado: 9 de octubre del 2019</i> • <i>Prórroga Ordinaria: 6 meses, hasta el 8 de abril de 2020</i> • <i>Duración total: 24 meses</i>
Entrega del Informe Final	<i>7 de mayo del 2020</i>
Presupuesto asignado	<i>\$ 14.991,36 USD (catorce mil novecientos noventaún dólares americanos, con 36/100)</i>
Presupuesto ejecutado	<i>\$ 14.388,70 USD (catorce mil trescientos ochentaiocho dólares americanos, con 70/100)</i>

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIS-17-02-2020-0006-M del 7 de mayo de 2020 la Ph.D. Jackeline Abad, Directora del Proyecto PIS-17-02, presenta el Informe Final del Proyecto Semilla, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, y que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se estudió el estado del arte respecto a heterogeneidad en sistemas multi-agentes y en redes de robots móviles, construyendo de esta manera un marco estructural y metodológico a partir del cual se desarrolló nuevas definiciones y características del sistema.
- Se analizó y caracterizó la heterogeneidad en sistemas multi-agentes proponiendo métricas basadas en la variedad, diversidad, entropía, y disparidad de subgrupos homogéneos dentro del sistema heterogéneo.
- Se desarrolló una estrategia de control para la coordinación de sistemas multi-agentes heterogéneos en base a consenso. Adicionalmente, se diseñó e implementó un algoritmo de resiliencia para este tipo de sistema complejo. De esta manera, se consiguió que el grupo de agentes alcance un consenso incluso en presencia de agentes maliciosos o que presentan fallas.
- Se verificó el desempeño de la estrategia control para la coordinación mediante simulación, mediante el cálculo de indicadores del error como el ISE. Los resultados demuestran que el desempeño de los controladores ante diferentes escenarios es adecuado.
- Se realizó pruebas experimentales del controlador desarrollado mediante la utilización de un grupo de robots móviles con características heterogéneas, por lo que no solo se verificó el funcionamiento de los controladores sino también de los modelos matemáticos de los agentes.
- Se comprobó que los sistemas multi-agentes robóticos heterogéneos, de acuerdo con la misión a cumplir y la configuración de la formación, llegan a ser más efectivos en el cumplimiento de una misión que su contraparte homogénea.

PRODUCTOS:

- Artículo: *"3DoF Multi-Rotor Experimental Testbed for Teaching Control Systems"* (Indexado Scopus); Toapanta Carlos, Villafuerte Jimmy, Cruz Patricio; "Proceedings 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM 2018)"; ISBN: 978-153866657-9; DOI: 10.1109/ETCM.2018.8580337; octubre 2018.
- Artículo: *"A mini-size agent testbed for application in mobile robots"* (Indexado Scopus); Jácome Gustavo, Sierra Marisol, Cruz Patricio; "4th IEEE Colombian Conference on Automatic Control: Automatic Control as Key Support of Industrial Productivity, CCAC 2019 – Proceedings"; ISBN: 978-153866962-4; DOI: 10.1109/CCAC.2019.8921109; octubre 2019.
- Artículo: *"Consensus Algorithms for Bidirectional Teleoperation of Aerial Manipulator Robots in an Environment with Obstacles"* (Indexado Scopus); Leica Paulo, Rivera Karen, Muela Stalin, Chávez Danilo, Andaluz Gabriela, Andaluz Víctor; "2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019"; ISBN: 978-172813764-3; DOI: 10.1109/ETCM48019.2019.9014872; noviembre 2019.
- Capítulo de libro: *"Chapter 7: On Resilience and Heterogeneity in Robotic Networks"*; Abad Torres Jackeline, Cruz Patricio, Vizuete Renato, Fierro Rafael; Libro: "Cooperative Localization and Navigation: Theory, Research, and Practice"; DOI: doi.org/10.1201/9780429507229; agosto 2019.
- Conferencia: *"A mini-size agent testbed for application in mobile robots"*; Cruz Patricio; 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM 2018); Ecuador, Cuenca; octubre 2018.

- Conferencia: “Consensus Algorithms for Bidirectional Teleoperation of Aerial Manipulator Robots in an Environment with Obstacles”; Cruz Patricio; 2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC 2019); Colombia, Medellín; octubre 2019.
- Proyecto de Titulación de Ingeniería Electrónica y Control: “Diseño e Implementación de un Módulo para el Aprendizaje del Control de Orientación de un Cuadróptero”; Toapanta Duque Carlos Daniel, Villafuerte Puebla Jimmy Andrés; <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19978?locale=en>; febrero 2019.
- Proyecto de Titulación de Ingeniería Electrónica y Control: “Diseño e implementación de un banco de pruebas de experimentación con robots móviles terrestres de tamaño reducido para el control de posición y seguimiento de trayectoria”; Jácome Moreta Gustavo Israel, Sierra Jácome Yesenia Marisol; <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20135>; marzo 2019.
- Conferencia de difusión a la comunidad politécnica: “Presentación de Avances y resultados PIS-17-02: Estudio, coordinación y consenso de sistemas multi-agentes heterogéneos con aplicaciones en robótica móvil”; Abad Jackeline, Cruz Patricio, Arcos Luis, Calala Cristian; Escuela Politécnica Nacional, Auditorio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica; febrero 2020.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Semilla PIS-17-02 fue de \$ 14.991,36 USD (catorce mil novecientos noventa y un dólares americanos, con 36/100), y se ejecutaron \$ 14.388,70 USD (catorce mil trescientos ochenta y ocho dólares americanos, con 70/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto Semilla PIS-17-02: “Estudio, coordinación y consenso de sistemas multi-agentes heterogéneos con aplicaciones en robótica móvil”.

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veinte días del mes de mayo del año dos mil veinte.

Ph.D. Alexandra Alvarado
**Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación**

Ph.D. Jackeline Abad
**Directora del Proyecto
PIS-17-02**

sp/cr