



## A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. TIPO DE PROYECTO:

<b>Interno</b>		<b>Grupal</b>	
<b>Semilla</b>	<b>X</b>	<b>Multidisciplinario</b>	

### 2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

<b>Básica</b>	<b>X</b>	<b>Aplicada</b>	
---------------	----------	-----------------	--

### 3. UNIDAD EJECUTORA *(Departamento, Instituto o Estructura de Investigación)*

**1. Departamento de Automatización y Control Industrial** ✓

### 4. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

**1. Control y Sistemas** ✓ (DAC)

### 5. TÍTULO DEL PROYECTO *(mínimo 10 palabras):*

Estudio, caracterización y control de sistemas industriales interconectados analizados desde el punto de vista de la teoría de redes complejas.

### 6. RESUMEN *(máximo 200 palabras)*

El crecimiento de la industria y la inserción de tecnología en los sectores productivos han hecho que sus sistemas de control tengan cada vez un nivel más alto de sofisticación e interconectividad. Por lo cual es necesario estudiarlos (sistemas interconectados de control industrial) desde un punto de vista de redes complejas, donde se analicen los mismos como la interacción de sus partes que conjuntamente cumplen un objetivo común. Es decir, obtener las características topológicas intrínsecas de los mismos para con ellas proponer algoritmos de control descentralizado donde se utilicen variables locales para mejorar el comportamiento del sistema y disminuir el intercambio de información por otros medios que podrían suponer un riesgo de seguridad al sistema físico. La determinación de estos algoritmos permite que al sistema industrial se pueda: i) explicar la operación coordinada de sus componentes dinámicos, ii) insertar nuevos elementos dinámicos (agentes) con mayor facilidad, iii) aumentar la eficiencia de los agentes; y iv) operar coordinadamente los agentes sin la necesidad de un operador central. Lo que permitirá minimizar los costos de infraestructura al utilizar una existente u optimizar los requerimientos de las misma, y proveer al sistema con cierto grado de resiliencia.

### 7. PALABRAS CLAVE *(4-6)*



## Sistemas Complejos, Redes Cyber-físicas, Consenso, Control

### 8. OBJETIVOS

#### 8.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar, caracterizar y controlar sistemas industriales interconectados desde el punto de vista de la teoría de redes complejas

#### 8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Estudiar sistemas de control interconectados desde la perspectiva de redes complejas (complex networks).
- b. Determinar las características principales de sistemas de control interconectados desde la perspectiva de redes complejas.
- c. Definir leyes de control distribuido que exploten las características intrínsecas presentes en redes complejas.
- d. Seleccionar al menos un caso de estudio de una red compleja industrial a fin de verificar las leyes de control definidas.
- e. Difundir la investigación a la comunidad mediante publicaciones en conferencias y revistas indexadas.

### 9. HIPÓTESIS *(opcional)*

No aplica

### 10. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS *(con relación a los objetivos)*

- a. Descripción de sistemas de control interconectados, analizados como redes complejas es decir como redes multi-agentes.
- b. Caracterización de sistema de control interconectados, destacando sus principales cualidades al ser representados como redes complejas de multi-agentes.
- c. Algoritmos de control distribuido de sistemas complejos interconectados en el cual se empleen cualidades propias, como pueden ser mediciones locales.
- d. Desarrollo de al menos un caso de estudio de una red compleja industrial, en base a la cual se compruebe los algoritmos de control diseñados.
- e. Presentación y publicación de los resultados de investigación en conferencias y revistas indexadas

### 11. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN *(científico, social, económico u otros)*

Actualmente, los sistemas interconectados de control han dejado su huella en sectores críticos de la economía como, por ejemplo: producción de petróleo y sus derivados, generación, transmisión de energía eléctrica, sistemas de distribución de agua potable, industria manufacturera, agricultura. Estos modernos sistemas van más allá de plantas/sistemas tradicionales, ya que incluyen tecnología de comunicaciones a todo nivel, así como sistemas robóticos para producción, mantenimiento y logística, y la aplicación de técnicas modernas de control a nivel de producción y gerencial. El rápido crecimiento de estos sistemas en los sectores de crecimiento económico del país también implica la necesidad de operaciones consistentes y la interconexión de sus partes a nivel de producción, supervisión y gerencial de la industria. Por ejemplo, la producción, extracción, transportación de petróleo conjuntamente con la producción y transmisión de energía eléctrica representa una de las infraestructuras más grandes del país; en comparación a estas, se cuenta a pequeña escala la producción



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



manufacturera, agricultura de precisión, mantenimiento de líneas de transmisión, entre otras. Estas infraestructuras, vistas como sistemas interconectados, requieren de un constante control, supervisión, y monitoreo, el cual se consigue mediante la interconexión cyber-física de sus diversos componentes y el empleo de nueva tecnología de sensado y comunicación (por ejemplo, el denominado internet de las cosas). La accesibilidad y el costo de esta tecnología han hecho que cada vez más, medianas y grandes industrias se vean atraídas por sus beneficios no solo en términos de cantidad y calidad de la producción sino también desde el punto de vista de consumo de energía y reducción de desperdicios.

Debido a las características de los sistemas interconectados, estos pueden ser vistos como una red compleja. El impacto de las redes complejas (complex networks), o en ocasiones vistos como redes multi-agentes, han penetrado en ámbitos como operaciones comerciales, industriales, y militares. Matemáticamente, una red compleja está asociada a un grafo con un conjunto de atributos, los cuales pueden ser unidimensionales, multi-dimensionales, con características topológicas de la red, incluyendo procesos dinámicos que suceden sobre el mismo. Las redes complejas se estudian en muchas disciplinas como ingeniería, matemáticas, economía entre otros; además tienen muchas aplicaciones debido al intercambio de información entre los individuos o agentes de la red/sistema. Estas redes pueden ser físicas, e.g. sistema interconectado de transmisión, o virtuales, e.g. facebook, e incluso estar formadas de otras redes (red de redes). Adicionalmente, su alto grado de interdependencia ha producido grandes avances en la tecnología y la forma en que la humanidad percibe como ésta debe evolucionar en el aspecto de intercomunicación, e.g. internet de las cosas, industria 4.0, etc. (Tang, 2017).

Las características intrínsecas de muchos sistemas interconectados permiten que estos sean estudiados desde una perspectiva de redes complejas, y de esta manera explotar características como es la interacción de sus partes. Esto tiene muchas ventajas incluyendo el utilizar una estructura ya definida de la red para que ésta deje de trabajar de una manera centralizada bajo el mando de un monitor o control central, y en su lugar las decisiones y tareas se repartan entre los miembros de la red (agentes). Consecuentemente, la red puede comportarse de manera estable incluso frente a perturbaciones, ataques o desconexión de sus partes.

El objetivo de este proyecto es estudiar un sistema interconectado existente desde el punto de vista de redes complejas, de manera que: i) se explique la operación coordinadas de sus componentes dinámicos, ii) se permita la inserción de nuevos elementos dinámicos (agentes) en la red, iii) se pueda aumentar la eficiencia de los agentes; y iv) la operación coordinada de los agentes de manera que no se requiere un operador central (Gamboa, (2018)).

La relevancia de este proyecto con respecto a la línea de investigación de Control y Sistemas es que se permitirá realizar el análisis de un sistema interconectado que se encuentre funcionando actualmente en la industria/sociedad. A partir de este análisis, se pretende establecer nuevos paradigmas para el monitoreo y control de este sistema desde un punto de vista distribuido, explotando las características de interconectividad de sus componentes. Este tipo de aplicaciones han captado la atención en el área en los últimos años, no solo por la tendencia tecnológica sino por la capacidad de adaptar estructuras existentes a configuraciones más robustas (Lin (1991), Wu (2014), Qureshi (2017), Wei (2016), Hong (2008), Ren (2007), Wang (2017), Zhu (2011), Yang (2017)).

El impacto que puede generar esta investigación de redes complejas es importante por las diversas aplicaciones en procesos industriales, sistemas robóticos, sistemas eléctricos, sistemas sociales, entre otros, debido a la creciente cyber- integración de los sistemas en grandes redes, o infraestructuras, nuevas tecnologías de mediciones, nuevas funcionalidades y la sofisticación de estos sistemas, las cuales permiten que los sistemas cada vez se encuentren más conectados.



Específicamente, se pretende desarrollar un algoritmo de control para cada agente de manera que se utilice únicamente mediciones locales o de agentes cercanos. Las ventajas que se puede tener al utilizar este tipo de algoritmos son: i) minimizar costos de infraestructura al utilizar una existente u optimizar los requerimientos de las misma, y ii) proveer al sistema con cierto grado de resiliencia. Esto a largo plazo puede significar reducción de costos para control y monitoreo de las infraestructuras más grandes del país, como el sistema interconectado de energía, o el oleoducto de crudos pesados, y la posibilidad que las pequeñas industrias se puedan poner a la par de la nueva tecnología con una inversión mínima, y consecuentemente una mejora en la eficiencia de la producción.

Frente a este antecedente, el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Toda una Vida, en su Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, establece que: “... para lograr los objetivos de incrementar la productividad, agregar valor, innovar y ser más competitivo, se requiere investigación e innovación para la producción, transferencia tecnológica...”; por lo que propone: “El cambio de matriz productiva va más allá de incrementos de producción y de mayor diversificación en la misma escala. Va hacia el potenciamiento de las capacidades del talento humano y a incorporar mayor valor agregado a la producción nacional para establecer estándares de calidad que permitan su diferenciación en el mercado nacional e internacional para abrir caminos hacia la producción de nuevos elementos que resulten del fomento a la innovación.”. Lo que evidencia que este proyecto tiene relevancia nacional al apoyar el crecimiento económico del país.

## **12. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO**

*(máximo tres carillas)*

Desde la primera revolución industrial, los procesos de manufactura se han ido tecnificando hasta contar hoy en día con modernos sistemas de control industriales, donde la integración y auto-optimización son los mecanismos más importantes en la organización industrial, Vaidya (2018). Más aún, el avance de la tecnología ha permitido que se cuente con nuevos sistemas/equipos que facilitan nuestra vida y que adicionalmente se encuentran interconectados entre sí o que usan plataformas de comunicación. Sin embargo, estos mismos mecanismos proponen nuevos desafíos por el alto grado de sofisticación tanto de los equipos necesarios como de las técnicas para controlar los sistemas. En ese sentido, se pretende aplicar los conceptos de sistemas multi-agentes, redes complejas, consenso, en los nacientes sistemas interconectados. Desde este punto de vista, en la última década se ha visto un creciente interés en el funcionamiento de estas redes y las aplicaciones de los mismas. Los trabajos de Wu (2014), Qureshi (2017), Wei (2016), Wang (2017), Yang (2017), Li (2017), Yu (2017) muestran estudios de sistemas multi-agentes, distintos algoritmos de control cooperativo y monitoreo para estos sistemas, y diversas aplicaciones de los mismos, los cuales son una base para la investigación que se va a realizar.

En este sentido, el equipo de trabajo cuenta con experiencia en la investigación en el área. Por ejemplo, Gamboa et al.(2019a), Gamboa et al. (2019b), Gamboa (2017), Soria (2017), Gamboa (2015), y Gamboa et al. (2014) entre otros se enfocan al estudio, análisis de un sistema interconectado. Específicamente, el análisis muestra cómo se puede estudiar una infraestructura física existente de manera que formalmente su dinámica pueda ser descrita como un modelo de segundo orden, y cuyo comportamiento real consigue un consenso a nivel global.

Por otro lado, Bezzo et al. (2014), Cruz et al. (2013), Cruz et al. (2016), Cruz & Fierro (2015), entre otros, proponen soluciones al problema de la coordinación y control de redes de robots vistos como un sistema multi-agente móvil. En particular estos trabajos se enfocan en el caso de



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



que los agentes dentro de la red presenten características heterogéneas, como pueden ser en su dinámica, sistema de comunicaciones o en sus capacidades de sensado. En todos estos casos se busca la coordinación entre los agentes, pero tomando en cuenta restricciones, como por ejemplo en lo referente a la interconectividad, que vuelven aún más complejo el manejo de la red.

De manera similar, Sahabandu (2019), Koorehdavoudi (2019), Abad Torres (2018), Koorehdavoudi (2018), Roy (2016) entre otros se enfocan al estudio, caracterización geométrica y topológica, y diseño de controladores para redes complejas. La esencia de estas investigaciones es profundizar en las relaciones entre los agentes de la red compleja; específicamente el comportamiento de un agente afecta a la red y por lo tanto cómo y dónde se pueden medir variables y aplicar leyes de control de manera que afecten en mayor o menor grado a todo el sistema complejo interconectado.

El equipo de trabajo de este proyecto ha participado en los siguientes proyectos

**Internos de la universidad:** PIS-17-02, PIS-17-05, PIS-17-04, PIJ-17-10. En los mismos se ha ganado experiencia en el estudio de redes complejas, algoritmos de control para plantas industriales, y coordinación de equipos de agentes.

**Proyectos financiados por entidades externas:** CEPRA XII-12-2018 – 90 mil USD. En este proyecto se realiza el levantamiento de información y pruebas piloto en áreas protegidas.

El trabajo del equipo de investigación, junto con su experiencia en proyectos tanto internos, externos e internacionales son clave para el exitoso desarrollo de este proyecto. Además, la experiencia que se ha ganado permite que se pueda estudiar los sistemas interconectados desde más de un punto de vista, por lo que se puede aprovechar muchas más propiedades y atributos de las mismas.

### 13. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (*máximo tres carillas*)

#### *Bibliografía (Normas APA)*

Para realizar el control o monitoreo centralizado es esencial disponer de una infraestructura de comunicación eficiente y segura, equipos con alta capacidad de procesamiento en el centro de control, protocolos de comunicación eficientes, e incluso contando con todo el equipo en caso de suscitarse un fallo en la comunicación, los controladores locales perderán las referencias enviadas por el operador central de manera que estos actuarán de forma aislada y descoordinada entre sí. En este proyecto se pretende tomar ventaja de la infraestructura física ya existente, y no necesariamente de una red de comunicación, de manera que a través de la medición de variables locales o de los agentes vecinos se pueda implícitamente inferir el estado del resto del sistema y por lo tanto tomar decisiones coordinadas de forma global. De esta manera se facilita el control y la operación coordinada de todos los agentes en el sistema a la vez que se mantiene la autonomía de cada agente, y se da cierto grado de resiliencia al sistema en general (Abad Torres (2019), Bezzo et al. (2014), Cruz et al. (2013), Cruz et al. (2016)).

La eficiencia de las leyes de control aplicadas a cualquier sistema depende de la correcta sintonización de sus parámetros. Sin embargo, al crecer un sistema, esta actividad se vuelve más compleja, siendo necesario aplicar técnicas más sofisticadas, i.e. optimización, redes neuronales, etc., y por lo tanto se requiere de equipos a nivel local o centralizado con mayor capacidad de procesamiento (Teran (2017), Leitão (2015), Tang (2017)). Debido a la naturaleza de los



sistemas de control interconectados, se puede establecer una sintonización basada en los parámetros propios de la topología y/o de los modelos de los agentes locales (Gamboa (2018), Abad Torres (2018), Koorehdavoudi (2019)). De esta manera, al establecer los controladores y analizar la estabilidad del sistema, indirectamente también se puede establecer los parámetros o constantes de los controladores (Gamboa (2019a), Gamboa (2019b), Cruz et al. (2016)).

### Metodología y diseño del proyecto

La metodología a utilizar para llevar a cabo los objetivos planteados responde a los lineamientos generales del método científico diferenciándose las siguientes fases.

**Fase Teórica:** Se recopilará información y establecerá el estado del arte, de manera que se estudien los distintos modelos de redes complejas que se pueden aplicar a sistemas interconectados existentes, se dará énfasis a los sistemas cuyas infraestructuras físicas ya existan para adecuarlas a esta nueva tendencia de control. Adicionalmente, se caracterizará al sistema interconectado destacando sus principales características topológicas.

**Fase de Diseño:** Se desarrollará o diseñará un algoritmo de control distribuido que pueda ser implementado en infraestructuras existentes, de manera que se considere no solamente la forma actual de operación del sistema, sino también su naturaleza interconectada, las capacidades de medición/actuación de los agentes, y la limitación de estos para procesar información, algo muy común a nivel industrial.

**Fase de Simulación/Experimentación:** Se simularán los algoritmos encontrados en la fase teórica y el propuesto en la fase de diseño sobre las infraestructuras. En esta fase también se realizarán ajustes en los algoritmos de ser necesario. Además, se verificará la propuesta teórica realizada por medio del análisis de los resultados de simulación y mediante comparación de estos resultados con otros obtenidos en la literatura.

**Fase de Presentación de resultados:** Una vez obtenidos tanto los análisis y estudios de la infraestructura, así como el diseño de los controladores, se procederá presentarlos de forma clara y entendible a la comunidad científica. Además, la presentación de resultados será periódica y se realizará en paralelo con las fases de diseño y validación con el fin de recibir una realimentación de expertos y mejorar los resultados obtenidos.

### Bibliografía

Gamboa, S. P., (2018). Metodología para el diseño de un sistema integrado WAMPAC de gran escala basado en una arquitectura de control distribuido. (Tesis Doctoral) Universidad Nacional de San Juan.

Lin, S. Y., (1991). A Distributed State Estimator for Electric Power Systems. IEEE Trans. Power Systems, 7, no. 2, 551–557.

Tang, H., Li, D., Wang, S., & Dong, Z. (2017). CASOA: An architecture for agent-based manufacturing system in the context of Industry 4.0. IEEE Access, 6, 12746-12754.

Terán, J., Aguilar, J., & Cerrada, M. (2017). Integration in industrial automation based on multi-agent systems using cultural algorithms for optimizing the coordination mechanisms. Computers in Industry, 91, 11-23.

Wu, Y., Rong, L., & Tang, Y., (2014). A distributed control method for power system rotor angle stability based on second-order consensus. 4th Annual IEEE Int. Conf. Cyber Technol. Autom. Control Intell. Syst. IEEE-CYBER 2014, 290–295.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**



- Qureshi, M. U., & Grijalva, S., (2017). Decentralized Power Agreement for Improved Frequency Response in Interconnected Power Systems. *IEEE Green Technol. Conf.*, 381–387.
- Wei, Q., Guo, W., Han, X., & Guo, M., (2016). Generator rotor angle droop control and its load-following characteristics, 2016 IEEE Int. Conf. Power Syst. Technol. POWERCON 2016, 1–6.
- Hong, Y., Chen, G., & Bushnell, L., (2008). Distributed observers design for leader-following control of multi-agent networks, *Automatica*, 44, no. 3, 846–850.
- Li, Z., & Duan, Z. (2017). Cooperative control of multi-agent systems: a consensus region approach. CRC Press.
- Ren, W., (2007). Second-order consensus algorithm with extensions to switching topologies and reference models, *Proc. Am. Control Conference.*, 1431–1436.
- Yu, W., Wen, G., Chen, G., & Cao, J. (2017). Distributed cooperative control of multi-agent systems. John Wiley & Sons.
- Wang, Q. (2017). Scaled consensus of multi-agent systems with output saturation. *J. Franklin Inst.*, 354, no. 14, 6190–6199.
- Zhu, Q. & Basar, T., (2011). A hierarchical security architecture for smart grid,” *Edutexts.Org*.
- Yang, E. & Wu, Q., (2017). Consensus analysis and algorithm design based on RLC networks,” *Chinese Control Conf. CCC*, 8044–8050.
- Leitão, P., & Karnouskos, S. (Eds.). (2015). *Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry*. Morgan Kaufmann.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, Elsevier, 233-238.
- Mosterman, P. J., & Zander, J. (2016). Industry 4.0 as a cyber-physical system study. *Software & Systems Modeling*, 15(1), 17-29.
- Liu, N., An, H., Hao, X., & Feng, S. (2017). The stability of the international heat pump trade pattern based on complex networks analysis. *Applied energy*, 196, 100-117.
- Gamboa, S., Sánchez, A., & Orduña, E. (2014, November). Wide-area distributed cooperative load-frequency consensus control with limited information exchange. In 2014 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (pp. 1-6). IEEE.
- Gamboa, S., & Orduña, E. (2015, February). Hierarchically distributed architecture for large-scale integrated WAMPAC system. In 2015 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP) (pp. 16-20). IEEE.
- Soria, D. C., & Gamboa, S. P. (2017). Estimador de Estado Estático Distribuido para el Monitoreo y Control de Sistemas Eléctrico de Potencia. *Revista Técnica Energía*, (13).
- Gamboa, S., & Orduña, E. (2017, September). Feasibility of distributed monitoring and distributed control in power system. In 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America) (pp. 1-6). IEEE.
- Gamboa, S., Abad J. & Orduña, E. (2019). Second-Order Consensus for Decentralized Transferred Power Deviation Control. In 2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC). IEEE.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**



Gamboa, S., Abad J., Sanchez A. & Orduña, E. (2019). Practical Implementation of Decentralized Transferred Power Deviation Control. In 2019 IEEE 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE

Bezzo, N., Griffin, B., Cruz, P., Donahue, J., Fierro, R., & Wood, J. (2014). A cooperative heterogeneous mobile wireless mechatronic system. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. IEEE.

Cruz, P., Fierro, R., Lu, W. & Ferrari, S. (2013). Maintaining robust connectivity in heterogeneous robotic networks. Proceedings SPIE 8741, Unmanned Systems Technology XV.

Cruz, P., Fierro, R. & Abdallah CT. (2016). Cooperative learning for robust connectivity in multirobot heterogeneous networks. Chapter Book Control of Complex Systems.

Cruz, P. & Fierro, R. (2015). Building coalitions of heterogeneous agents using weighted bipartite graphs. IEEE 54th Annual Conference on Decision and Control (CDC). IEEE

Sahabandu, D., Abad Torres, J., Dhal, R., & Roy, S. (2019). Local open-and closed-loop manipulation of multiagent networks. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 29(5), 1339-1360.

Abad Torres, J., & Roy, S. (2018). Dominant eigenvalue minimization with trace preserving diagonal perturbation: Subset design problem. Automatica, 89, 160-168.

Koorehdavoudi, K., Roy, S., Xue, M., & Torres, J. A. (2019). Interactions Among Heterogeneous Manipulative Actors in Distributed Decision-Making Processes: Static and Dynamic Analysis. In 2019 American Control Conference (ACC) (pp. 2741-2746). IEEE.

Koorehdavoudi, K., Roy, S., Torres, J. A., & Xue, M. (2018). Impacts of high and low gain controllers on remote channels in dynamical networks. In 2018 IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (pp. 3680-3685). IEEE.

Roy, S., Torres, J. A., & Xue, M. (2016). Sensor and actuator placement for zero-shaping in dynamical networks. In 2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC) (pp. 1745-1750). IEEE.

Abad Torres, J., Cruz, P.J., Vizuete, R., Fierro, R., On Resilience and Heterogeneity in Robotic Networks, Gao, C., Zhao, G., & Fourati, H. (Eds.). (2019). *Cooperative Localization and Navigation: Theory, Research, and Practice*. CRC Press.

**14. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS**

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
Laboratorio	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Redes Industriales	Dispositivos para interconexión en redes industriales.	Redes Industriales, Departamento de Automatización y Control Industrial

**15. MONTO REQUERIDO**

16.1 Monto y justificación del equipo requerido





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**



<b>Equipo</b>	<b>Monto</b>	<b>Justificación</b>
Computador portátil, requerimientos mínimos: i7, 16GB, 1TB disco duro, tarjeta de video NVIDIA	2406,88 USD	A fin de poder comprobar el desempeño de los algoritmos de control a ser diseñados en el caso de estudio a ser escogido, se requiere de un computador de estas características para correr simulaciones y presentarlas dado que se estará trabajando con sistemas complejos, es decir que tienen un número considerable de interconexiones, estados y agentes. La portabilidad del equipo facilitará el poder exponer los resultados en eventos dentro de la EPN.

16.2 Monto y justificación del personal requerido

<b>Personal</b>	<b>Monto</b>	<b>Justificación</b>
Ayudante de Investigación	1324.02 USD	1 asistente de investigación como apoyo en el desarrollo de los algoritmos de control y en la realización de pruebas en base al caso de estudio escogido.
Asistente de Investigación (20 horas por semana – medio tiempo)	5916.00 USD	1 ayudante de investigación (prestación de servicios profesionales) para el estudio y selección de potenciales casos de estudio de sistemas interconectados de control; así como el desarrollo y pruebas de los algoritmos de control a ser diseñados dentro del proyecto

16.4 Monto y justificación de los investigadores invitados

No Aplica

16.5 Monto y justificación de los viajes y salidas del campo requeridos

<b>Ponencias</b>	<b>Monto</b>	<b>Justificación</b>
Difusión de resultados en congresos nacionales	1064.00 USD	Asistencia y exposición en 1 conferencia nacional. Contempla inscripción, tickets aéreos, movilización y viáticos
Difusión de resultados en congresos internacionales	2257.00 USD	Asistencia y exposición en 1 conferencia internacional. Contempla inscripción, tickets aéreos, movilización y viáticos

**16. FONDOS ADICIONALES**

- *No existen fondos adicionales*



## B. DATOS INFORMATIVOS

### 1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, CODIRECTOR, COLABORADORES Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Patricio Cruz	1713199493	6	Departamento de Automatización y Control Industrial	Director	Doctor of Phylosphy in Engineering, major Control and Systems
Jackeline Abad	0502951403	4	Departamento de Automatización y Control Industrial	Codirector	Doctor of Philosophy, major Control and Systems
Silvana Gamboa	1712333721	4	Departamento de Automatización y Control Industrial	Colaborador	Doctora en Ingeniería Eléctrica (Título en Proceso de Registro en Senescyt)

\* HSS =Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre



DECLARACIÓN FINAL  
DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto  
Nombre: PhD. Patricio J. Cruz  
C.I.: 1713199493





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



**AÑO 1**

**Título del proyecto**  
**Estudio, caracterización y control de sistemas industriales interconectados analizados desde el punto de vista de la teoría de redes complejas.**

Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA / Aporte del IESS
<b>1 Contratación de servicios personales por contrato</b>							
1.1	Ayudante de investigación 1	3	mes	\$ 136.33	\$ 408.99	\$ 220.67	\$ 662.01
1.2	Prestación de servicios profesionales 1 20 horas por semana - Medio tiempo (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	6	mes	\$ 443.50	\$ 2,661.00	\$ 493.00	\$ 2,958.00
<b>Subtotal 1</b>				<b>\$ 579.83</b>	<b>\$ 3,069.99</b>	<b>\$ 713.67</b>	<b>\$ 3,620.01</b>
<b>2 Maquinaria y equipo especializado</b>							
Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
2.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 2</b>				<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>3 Equipo informático</b>							
3.1	Computador portátil, requerimientos mínimos: i7, 16GB, 1TB disco duro, tarjeta de video NVIDIA	1	unidad	\$ 2,149.00	\$ 2,149.00	\$ 2,406.88	\$ 2,406.88
3.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 3</b>				<b>\$ 2,149.00</b>	<b>\$ 2,149.00</b>	<b>\$ 2,406.88</b>	<b>\$ 2,406.88</b>
<b>4 Insumos y reactivos</b>							
4.1	Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2	Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 4</b>				<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>5 Literatura especializada</b>							
5.1	Cantidad de libros Área: <b>Complex Systems, Multi-agent Networks</b>	2	unidad	\$ 300.00	\$ 600.00	\$ 300.00	\$ 600.00
5.2	Adquisición de artículos científicos			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 5</b>				<b>\$ 300.00</b>	<b>\$ 600.00</b>	<b>\$ 300.00</b>	<b>\$ 600.00</b>
<b>6 Salidas de campo y de muestreo</b>							
6.1	Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6.2	Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 6</b>				<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas</b>							
7.1	Pasajes al interior	1	unidad	\$ 250.00	\$ 250.00	\$ 280.00	\$ 280.00
7.2	Viaticos y subsistencias al interior	1	unidad	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 448.00	\$ 448.00
<b>Subtotal 7</b>				<b>\$ 650.00</b>	<b>\$ 650.00</b>	<b>\$ 728.00</b>	<b>\$ 728.00</b>
<b>8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas</b>							
8.1	Pasajes al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8.2	Viaticos al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 8</b>				<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>9 Pago de inscripciones</b>							
9.1	Pago de inscripciones al interior	1		\$ 300.00	\$ 300.00	\$ 336.00	\$ 336.00
9.2	Pago de inscripciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 9</b>				<b>\$ 300.00</b>	<b>\$ 300.00</b>	<b>\$ 336.00</b>	<b>\$ 336.00</b>
<b>10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes</b>							
10.1	Pago de publicaciones	1		\$ 300.00	\$ 300.00	\$ 336.00	\$ 336.00
10.2	Pago de publicaciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3	Pago de suscripciones (afiliación IEEE)	2		\$ 150.00	\$ 300.00	\$ 205.50	\$ 411.00
10.3	Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 10</b>				<b>\$ 450.00</b>	<b>\$ 600.00</b>	<b>\$ 541.50</b>	<b>\$ 747.00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 7,368.99</b>		<b>\$ 8,437.89</b>



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



**AÑO 2**

Título del proyecto

**Estudio, caracterización y control de sistemas industriales interconectados analizados desde el punto de vista de la teoría de redes complejas.**

Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA/Aporte del IESS
<b>1 Contratación de servicios personales por contrato</b>						
1.1 Ayudante de investigación 1	3	mes	\$ 136.33	\$ 408.99	\$ 220.67	\$ 662.01
1.2 Prestación de servicios profesionales 1 20 horas por semana - Medio tiempo (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	6	mes	\$ 443.50	\$ 2,661.00	\$ 493.00	\$ 2,958.00
<b>Subtotal 1</b>			\$ 579.83	\$ 3,069.99	\$ 713.67	\$ 3,620.01
<b>2 Maquinaria y equipo especializado</b>						
2.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 2</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>3 Equipo informático</b>						
3.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 3</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>4 Insumos y reactivos</b>						
4.1 Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 4</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>5 Literatura especializada</b>						
5.1 Cantidad de libros (especificar el area)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.2 Adquisición de artículos científicos			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 5</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>6 Salidas de campo y de muestreo</b>						
6.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 6</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas</b>						
7.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 7</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas</b>						
8.1 Pasajes al exterior	1	unidad	\$ 600.00	\$ 600.00	\$ 672.00	\$ 672.00
8.2 Viaticos al exterior	1	unidad	\$ 900.00	\$ 900.00	\$ 900.00	\$ 900.00
<b>Subtotal 8</b>			\$ 1,500.00	\$ 1,500.00	\$ 1,572.00	\$ 1,572.00
<b>9 Pago de inscripciones</b>						
9.1 Pago de inscripciones al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
9.2 Pago de inscripciones al exterior	1	unidad	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 685.00	\$ 685.00
<b>Subtotal 9</b>			\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 685.00	\$ 685.00
<b>10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes</b>						
10.1 Pago de publicaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de publicaciones al exterior	1	unidad	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 685.00	\$ 685.00
10.3 Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3 Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 10</b>			\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 685.00	\$ 685.00
<b>TOTAL</b>				\$ 5,569.99		\$ 6,562.01



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



Título del proyecto	
Estudio, caracterización y control de sistemas industriales interconectados analizados desde el punto de vista de la teoría de redes complejas.	

**Presupuesto consolidado sin IVA**

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo Informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total sin IVA
1	\$ 3,069.99	\$ -	\$ 2,149.00	\$ -	\$ 600.00	\$ -	\$ 650.00	\$ -	\$ 300.00	\$ 600.00	\$ 7,368.99
2	\$ 3,069.99	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,500.00	\$ 500.00	\$ 500.00	\$ 5,569.99
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6,139.98</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 2,149.00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 600.00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 650.00</b>	<b>\$ 1,500.00</b>	<b>\$ 800.00</b>	<b>\$ 1,100.00</b>	<b>\$ 12,938.98</b>

**Presupuesto consolidado con IVA**

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo Informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total con IVA
1	\$ 3,620.01	\$ -	\$ 2,406.88	\$ -	\$ 600.00	\$ -	\$ 728.00	\$ -	\$ 336.00	\$ 747.00	\$ 8,437.89
2	\$ 3,620.01	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,572.00	\$ 685.00	\$ 685.00	\$ 6,562.01
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7,240.02</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 2,406.88</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 600.00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 728.00</b>	<b>\$ 1,572.00</b>	<b>\$ 1,021.00</b>	<b>\$ 1,432.00</b>	<b>\$ 14,999.90</b>