

Sistemas Ciber Físicos

Grupo MINA (Network Mangement — Artificial Intelligence)

14 de mayo de 2018

Resumen

En el grupo de investigación MINA (Instituto de Computación - Facultad de Ingeniería) conviven expertos en robótica, en sistemas de comunicaciones, en sistemas multi-agente, en redes de sensores, IA aplicada, sistemas embebidos, y sistemas autónomos. En definitiva, agrupa investigadores de las principales disciplinas de investigación de los Sistemas Ciber Físicos(SCF) o, en inglés, Cyber-Physical Systems, que integran computación, redes y procesos físicos, con bucles de realimentación donde procesos físicos impactan sobre procesos de cómputo y viceversa. El desafío principal es combinar abstracciones que han evolucionado durante siglos para modelar los sistemas físicos (p.e. ecuaciones diferenciales y procesos estocásticos), con abstracciones de las ciencias de la computación con algunas décadas de evolución (algoritmos y programas), que proveen una “epistemología de procedimientos”, es decir, pasan de la noción de “qué es” de las ciencias experimentales a la de “cómo se hace”. Sin explicitarlo, el MINA se enfrenta desde su creación a la mayoría de las dificultades metodológicas de los SCF. A partir de esta experiencia ha identificado como una necesidad el desarrollo de una línea de investigación dedicada específicamente a los aspectos fundamentales de los SCF, otra a la IoT en su carácter de aplicación emergente de los SCF, así como al desarrollo de sus líneas existentes bajo el marco metodológico de los SCF. El potencial económico y social de estos sistemas es enorme y está atrayendo atención de la industria y la academia globalmente. El programa de trabajo propuesto espera tener impacto en áreas en fuerte desarrollo e impacto social y productivo como la automatización, la IoT, las ciudades inteligentes, la agricultura, entre otros campos de aplicación, que están comenzando a materializarse en nuestro país.

1. Descripción de los antecedentes del GI en relación al programa presentado

El grupo MINA del Instituto de Computación - Facultad de Ingeniería agrupa investigadores de diversas disciplinas para abordar los problema de investigación de los Sistemas Ciber Físicos(SCF) o, en inglés, Cyber-Physical Systems, que integran computación, redes y procesos físicos, con bucles de realimentación donde procesos físicos impactan sobre procesos de cómputo y viceversa. El desafío principal es combinar abstracciones que han evolucionado durante siglos para modelar los sistemas físicos (p.e. ecuaciones diferenciales y procesos estocásticos), con abstracciones de las ciencias de la computación con algunas décadas de evolución (algoritmos y programas), que proveen una “epistemología de procedimientos”, es decir, pasan de la noción de “qué es” de las ciencias experimentales a la de “cómo se hace”. Las abstracciones físicas hacen foco en la dinámica, es decir, la evolución del sistema en el tiempo, mientras que las ciencias de la computación enfatizan el procesamiento de datos, abstrayendo las principales propiedades físicas, y en particular el paso del tiempo [RdNK17, Lee10]. El potencial económico y social de estos sistemas es enorme y está atrayendo atención de la industria y la academia globalmente. Este campo se está desarrollando sobre el ya existente aunque todavía joven campo de los sistemas embebidos, y estudia las abstracciones, el modelado, el diseño y el análisis de la integración de la dinámica de los procesos físicos, que pueden ser tanto mecánicos como electromagnéticos, con los del software y las redes. Algunos ejemplos de la aplicabilidad de los SCF incluyen dispositivos y sistemas médicos de alta confiabilidad, sistemas de control y seguridad en el tránsito, sistemas automovilísticos avanzados, control de procesos, eficiencia energética y conservación del medio ambiente, entre muchos otros. Muchas aplicaciones existentes pueden modelarse en términos de SCF. Un ejemplo son los sistemas de control distribuido de condiciones de habitabilidad en edificios (en inglés HVAC: heating, ventilation, and air conditioning), que pueden mejorar considerablemente

la eficiencia energética. Otro ejemplo son los sistemas de seguimiento de bienes y servicios basados en RFID y otras tecnologías (notablemente, la trazabilidad animal cae dentro de esta categoría), que son sistemas distribuidos de control en tiempo real.

El grupo ha generado resultados publicables en sus diferentes líneas de trabajo, y también en colaboración con otros grupos de investigación nacionales e internacionales. Se presenta a continuación un listado no exhaustivo de algunas publicaciones relevantes que dan una idea del tipo de trabajo que realizamos:

- A. Aguirre, G. Tejera and J. Baliosian, “Imitation for motor learning on humanoid robots,” 2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), Curitiba, 2017, pp. 1-6. DOI: 10.1109/SBR-LARS-R.2017.8215322.
- F. Benavides, P. Monzón, C. P. C. Chanel and E. Grampín, “Multi-robot Cooperative Systems for Exploration: Advances in Dealing with Constrained Communication Environments,” 2016 XIII Latin American Robotics Symposium and IV Brazilian Robotics Symposium (LARS/SBR), Recife, 2016, pp. 181-186. DOI: 10.1109/LARS-SBR.2016.37.
- X. Chen, Z. Zhu, J. Guo, S. Kang, A. Castro, R. Proietti, and S. J. B. Yoo, “Leveraging Mixed-Strategy Gaming to Realize Incentive-Driven VNF Service Chaining in Broker-based EO-IDCNs [Invited],” *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking (JOCN)*, vol. 10, pp. A232 - A240, 2018.
- M. Llofriu, G. Tejera, M. Contreras, T. Pelc, J.M. Fellous, A. Weitzenfeld, “Goal-oriented robot navigation learning using a multi-scale space representation”, *Neural Networks*, Volume 72, 2015, Pages 62-74, ISSN 0893-6080. DOI: 10.1016/j.neunet. 2015.09.006.
- M. Marzoa Tanco, G. Tejera and M. Di Martino, “Computer Vision based System for Apple Detection in Crops”, In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 2018, pp 239-249. DOI: 10.5220/0006535002390249.
- R. Proietti, X. Chen, A. Castro, G. Liu, H. Lu, K. Zhang, J. Guo, Z. Zhu, L. Velasco, S. J. B. Yoo, “Experimental Demonstration of Cognitive Provisioning and Alien Wavelength Monitoring in Multi-domain EON [Top scored],” *IEEE/OSA Optical Fiber Communication Conference (OFC)*, San Diego, CA, USA, 2018.
- M. Richart, J. Baliosian, J. Serrat, J. L. Gorricho, R. Agüero and N. Agoulmine, “Resource allocation for network slicing in WiFi access points,” 2017 13th International Conference on Network and Service Management (CNSM), Tokyo, 2017, pp. 1-4. DOI: 10.23919/CNSM.2017.8256046.
- M. Richart, J. Baliosian, J. Serrat and J. L. Gorricho, “Resource Slicing in Virtual Wireless Networks: A Survey,” in *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 3, pp. 462-476, Sept. 2016. doi: 10.1109/TNSM.2016.2597295.
- M. Richart, J. Visca and J. Baliosian, “Self management of rate, power and carrier-sense threshold for interference mitigation in IEEE 802.11 networks,” 10th International Conference on Network and Service Management (CNSM) and Workshop, Rio de Janeiro, 2014, pp. 264-267. doi: 10.1109/CNSM.2014.7014170.
- M. Richart, J. Visca and J. Baliosian, “Rate, power and carrier-sense threshold coordinated management for high-density IEEE 802.11 networks,” 2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), Ottawa, ON, 2015, pp. 139-146. doi: 10.1109/INM.2015.7140286.
- L. Velasco, A. Castro, A. Asensio, M. Ruiz, G. Liu, C. Qin, R. Proietti, and S. J. B. Yoo, “Meeting the Requirements to Deploy Cloud RAN over Optical Networks,” *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking (JOCN)*, vol. 9, pp. B22-B32, 2017.
- J. Visca, J. Baliosian, R. A. Fuentes and A. R. Cavalli, “Path sampling, a robust alternative to gossiping for opportunistic network routing,” in *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, 2017 pp. 1–8, IEEE. <https://doi.org/10.1109/WiMOB.2016.77>

- S. Vidal , R. Amaro , E. Viotti , M. Giachino , E. Grampín, “RAUflow: building Virtual Private Networks with MPLS and OpenFlow”, in Proceedings of ACM SIGCOMM Workshop on Fostering Latin-American Research in Data Communication Networks (LANCOMM 2016). <https://doi.org/10.1145/2940116.2940133>
- F. Godan , S. Colman , E. Grampín, “Multicast BGP with SDN Control Plane”, In Proceedings of Network of the Future 2016. <https://doi.org/10.1109/NOF.2016.7810140>
- G. Arcos , R. Ferreri , M. Richart , P. Ezzatti , E. Grampín, “Accelerating an IEEE 802.11 a/g/p Transceiver in GNU Radio”. In Proceedings of the 9th IFIP Latin America Networking Conference (LANC 2016). <https://doi.org/10.1145/2998373.2998443>
- M. Llofriu , P. Fong , V. Karapetyan , M. Munich, “Mapping under Changing Trajectory Estimates in IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2017
- M. Llofriu , F. Andrade , F. Benavides , A. Weitzenfeld , G. Tejera, “An embedded particle filter SLAM implementation using an affordable platform in 18th International Conference on Advanced Robotics, 2013.

2. Fundamentación y antecedentes del conjunto del programa

Tal como se detallará en la Sección 6, durante el programa propuesto se desarrollarán las líneas de investigación ya existentes en el grupo “Navegación robótica”, “Gestión de Redes Inalámbricas”, “Infraestructura de Redes y Cómputo”, “Internet de las Cosas”, y “Procesos de Decisión”, y la nueva línea, transversal a las anteriores, “Fundamentos de Sistemas Ciber Físicos”. Para impulsar este desarrollo se plantean las siguientes áreas de trabajo:

- Formación de Recursos Humanos (actuales y nuevos)
- Desarrollo de Proyectos de Investigación
- Inserción Internacional
- Inserción en el Medio
- Enseñanza

No se trata de áreas excluyentes sino que interactúan unas con otras y se superponen. En paralelo con estas actividades, se plantea como elemento esencial la consolidación de los laboratorios de investigación del grupo, tal como se detalla en la Sección 10.

Formación de Recursos Humanos: actuales integrantes del MINA

El grupo MINA ya cuenta con un núcleo de investigadores formados a nivel de doctorado más algunos investigadores que se encuentran en las etapas finales de obtención de su doctorado. En torno a este núcleo, trabajan en el MINA estudiantes de maestría y confluyen unos cuantos estudiantes de grado de ingeniería que participan en tareas de investigación. Es habitual en nuestro país que los procesos de formación de posgrado en las áreas asociadas a las TICs, con tasas de inserción laboral privada muy altas, con estudiantes que a su vez son docentes con carga horaria en enseñanza, sean más largos de lo deseado y recomendable. Es un reto de este programa facilitar la formación de sus recursos más jóvenes. En ese sentido, el presente programa se propone el desarrollo de algunas de las líneas de investigación del grupo con el objetivo fundamental la formación de los integrantes más jóvenes.

Previo al comienzo de este programa se espera que Facundo Benavides, Matías Richart y Jorge Visca defiendan sus tesis de doctorado y que Andrés Aguirre, Federico Andrade y Mercedes Marzoa defiendan sus tesis de maestría. También se prevé que Guillermo Amorin finalice sus estudios de grado. Por lo tanto, al comienzo del presente programa, además de los investigadores consolidados,

contaremos con un grupo de nuevos investigadores con capacidad de formar nuevos recursos y dirigir proyectos, y un grupo de integrantes en formación de posgrado.

Por lo tanto, la propuesta principal de este programa y el pedido de financiamiento se fundamenta en la continuación de los estudios de posgrado de los tres integrantes en formación más jóvenes del grupo: Mercedes Marzoa, Federico Andrade y Guillermo Amorín. El objetivo del pedido será, por lo tanto, financiar extensiones horarias para estos tres integrantes de forma que puedan comenzar sus estudios de maestría y doctorado. En este aspecto es importante destacar que, además de la financiación por este programa, se espera obtener becas de posgrado para ayudar a la formación de estos integrantes. Cabe aclarar que no se solicita financiación para Andrés Aguirre, dado que ha bajado su carga horaria para trabajar en la industria, y por el momento seguirá su carrera académica con los tiempos que tenga disponibles.

Durante el inicio del programa se prevé la inscripción de Mercedes Marzoa en el Programa de Doctorado del PEDECIBA Informática en cotutela con la Universidad París-Descartes. También se planifica la inscripción al Programa de Doctorado de Federico Andrade y Andrés Aguirre y la inscripción al Programa de Maestría del PEDECIBA Informática de Guillermo Amorín. Es de esperar también que los nuevos doctores asuman tareas de supervisión de estos trabajos de forma de generar experiencia en la formación de RRHH. Se prevé también que los investigadores recién doctorados realicen pasantías de media-larga duración en grupos de referencia en Sistemas Ciber Físicos.

Formación de Recursos Humanos: nuevos integrantes

Es un reto particular del contexto de las ingenierías en TICs reclutar recursos humanos para la investigación. El grupo MINA mantiene una actividad continua de búsqueda de nuevos recursos a través de la propuesta continua de proyectos de fin de carrera con marcado perfil de investigación aplicada en las áreas de trabajo del grupo con el fin de identificar y motivar a estudiantes de grado a que se incorporen a las actividades de investigación del grupo. En esta misma línea, como se menciona en la Sección 7, se realiza el curso Taller de Sistemas Ciber-Físicos desde el 2017 en ambos semestres. Este taller plantea el desarrollo por parte de cada estudiante de un proyecto de pequeño porte, en temas específicos del grupo, y con una carga horaria importante de tutela presencial desarrollada por los docentes del grupo. La apuesta permanente es que algunos de estos estudiantes sigan vinculados, eventualmente iniciando estudios de posgrado.

Como parte de este programa de investigación se pretende contratar al menos un egresado, con el objetivo de que inicie la formación en el área de sistemas ciberfísicos, dentro de un programa de maestría. Específicamente, su trabajo se enmarcará en la línea “Fundamentos de los Sistemas Ciberfísicos.” desarrollar dentro de este programa de investigación, como se menciona en la Sección 6.

Muy recientemente, el grupo ha concretado su participación en dos proyectos de investigación, uno recién iniciado en el área de Seguridad en IoT (línea “Internet de las Cosas”), financiado por UTE, y otro aún no iniciado, en el área de escalabilidad del enrutamiento en redes IP, en concreto Localización de Reflectores de Rutas BGP (línea “Infraestructura de Redes y Cómputo”), financiado por ANTEL. En el marco del primer proyecto se está desarrollando la maestría profesional de Leonardo Vidal, colaborador del grupo, mientras que en el marco del segundo proyecto se está llevando a cabo el doctorado del PEDECIBA Informática de Cristina Mayr. Ambos son docentes del Instituto de Computación, y si bien no son formalmente miembros del grupo MINA, contribuirán al desarrollo de las respectivas áreas de investigación. En ambos proyectos hay posibilidades de financiar otros recursos humanos de grado y posgrado, que eventualmente pueden incorporarse al grupo.

Asimismo, confiamos en poder seguir financiando la formación de recursos humanos en la línea “Gestión de Redes Inalámbricas.” base a otros proyectos, en particular “Control de Interferencia en Redes WiFi”, presentado recientemente al Fondo María Viñas de ANII, mencionado en la subsección siguiente.

Formación de Recursos Humanos: resumen

En el presente programa se solicitan recursos para la formación de posgrado de los tres integrantes más jóvenes del grupo, quienes se desempeñan fundamentalmente en el área de “Navegación Robótica”, tocando algunos temas de “Procesos de Decisión”, y de la nueva línea “Fundamentos de los Sistemas

Ciberfísicos”; asimismo se busca reforzar esta línea nueva con un estudiante adicional. Por otro lado, el resto de las líneas de investigación no son priorizadas en este programa, ya que se espera obtener financiación por otros medios.

También buscamos seguir incorporando estudiantes de grado a las las líneas de investigación, mediante los Proyectos de Grado y el Taller de Sistemas Cíber-Físicos.

Proyectos de Investigación

En una serie de proyectos de investigación, algunos ya en ejecución, buscaremos desarrollar las áreas de investigación que confluyen en el desarrollo de Sistemas Cíber-Físicos, y que detallaremos más adelante en la Sección 6:

- **TEAM: Tareas colaborativas mediante Equipos de robots Autónomos Móviles con comunicación inalámbrica (en gestación)** Este proyecto se propone estudiar estrategias de despliegue de sistemas cooperativos de múltiples robots móviles que colaboran para realizar una tarea, por ejemplo, recolección de alimentos, asistencia en emergencias o vigilancia. En particular, este proyecto se concentrará en la tarea de realizar de forma distribuida la localización y construcción de mapas, a partir de las observaciones obtenidas por el equipo de robots móviles. En un contexto sin conectividad de red asegurada esta tarea implica dificultades excepcionales. Esta tarea es, en general, auxiliar al objetivo de un despliegue de este tipo, pero implica en si misma un conjunto de retos cuya solución es extrapolable a tareas de más alto nivel que se proponga un equipo de robots en entornos como el mencionado. Uno de esos retos es el de lograr que los robots se desplacen de manera de mantener una comunicación inalámbrica robusta entre ellos y a la vez lo suficientemente flexible para adaptarse a reconfiguraciones del sistema y del entorno. Por lo tanto, el proyecto afrontará desafíos típicos de un sistema ciber-físico: realizar tareas de cómputo distribuidas para las que el entorno físico (incluyendo el radio-eléctrico) es una restricción, e interactuar con dicho entorno. Este proyecto no tiene financiación por el momento, sin embargo, a partir de trabajos de grado y posgrado se cuenta con cierto avance en el área de exploración colaborativa de robots. En particular, el trabajo de doctorado de Facundo Benavides ha generado resultados relevantes en el área, tal como se cita en la Sección 1.

Este proyecto no tiene financiación por el momento.

- **DM3: robot para apoyar tareas de recolección (finalizado).**

Este proyecto, desarrollado en conjunto con el INIA, busca apoyar la cosecha de frutos de pepita, principalmente manzanos y perales. En este sentido, el robot debe moverse entre las filas de plantas en busca de humanos recolectores que tengan frutos para descargar sobre él. Como resultado de este proyecto se desarrollaron dos robots de exterior y se evaluaron distintos algoritmos para la navegación. Como subproductos se desarrollo un software de visión artificial para el reconocimiento de manzanas rojas, con resultados referenciados en la Sección 1, y un GPS diferencial con un error medio de 20cm. En base a la experiencia acumulada con el proyecto DM3 se espera continuar el desarrollo de los vehículos terrestres de exterior y ampliar a otras tareas, como ser la recolección de nueces o guayaba, y ampliar el trabajo a equipos de robots cooperativos.

El programa busca apoyar esta línea de investigación con la adquisición de hardware específico (ver Sección 10).

- **Navegación robótica cooperativa en exteriores (en gestación)**

Como se mencionó previamente, en 2013 la Facultad de Ingeniería y el INIA inician el proyecto DM3, iniciando de esta forma las actividades de investigación y desarrollo en robótica de exterior (outdoor). Además, debe tenerse en cuenta que el agro, en nuestro país, es un terreno fértil para la investigación en robótica autónoma de exterior y su posterior incorporación de los productos desarrollados. Se espera que los estudios de doctorado de Mercedes Marzoa y Federico Andrade se enmarquen dentro de esta temática, principalemnte en los temas de visión 3D y localización. También la maestría de Guillermo Amorín aportará a estre proyecto desde el lado de la navegación.

La investigación en robótica, particularmente en aspectos de navegación, requiere disponer de equipamiento robusto y confiable para poder obtener resultados que impacten a nivel mundial en el desarrollo del área. En este sentido, esta programa complementa el equipamiento de laboratorio disponible actualmente que es en esencia equipamiento para interior. Para esto se plantea la adquisición de un robot móvil Jackal (desarrollados por Clearpath Robotics) para llevar adelante este proyecto (ver Sección 10).

- **Prototipo de campus inteligente (en gestación)**

Una de las aplicaciones destacadas dentro del concepto de SCF/IoT son las “ciudades inteligentes”. Montevideo ya cuenta con algunas aplicaciones en esta línea, básicamente relacionadas con el control de tráfico vehicular, y existen aplicaciones “croud-sourced” (basadas en la información aportada por el usuario) en la misma línea (notoriamente, la aplicación *WAZE*). Sin embargo, existe un amplio espacio para explorar aspectos prácticos y teóricos; en esta línea, nos proponemos impulsar un proyecto de campus inteligente vinculado a las Facultades de la zona del Parque Rodó: FIC, FCEA, FADU, FING, que despliegue una plataforma que permita a desarrolladores creativos implementar servicios útiles para estudiantes y para el barrio, por ejemplo, conocer el estado de ocupación de salones y comedores, estado de ciclovías, datos de tránsito, entre otros. Como punto de partida, como se menciona en la Sección 10, se dispone de material de redes inalámbricas (Access Points, enlaces y otros equipos donados por el Plan Ceibal), buena capacidad de cómputo virtualizado, y eventualmente se pueden adquirir otros materiales como sensores, cámaras u otro tipo de hardware. El proyecto, además de desplegar infraestructura, buscará generar una plataforma cognitiva (cómputo y conocimiento) que permita, mediante una interfaz definida, generar aplicaciones por parte de terceros.

Este proyecto no tiene financiación por el momento.

- **Aplicación de análisis de datos a gestión y control de redes (en gestación)**

El paradigma clásico de gestión de redes donde los operadores reaccionan ante fallos, y las tareas de reparación son mayoritariamente manuales, está siendo superado por infraestructuras que a partir de una situación inicial óptima (luego de un proceso de optimización tradicional), son monitorizadas continuamente, permitiendo realizar predicción de fallos a partir del análisis de los datos, utilizando por ejemplo métodos de aprendizaje automático. Estas “redes cognitivas” se pueden implantar en base a la prevalencia del software en los procesos de control, y es válido para todo tipo de redes, y en particular para redes ópticas, redes IP y redes inalámbricas, donde el grupo cuenta con experiencia.

Actualmente se están explorando posibles proyectos en esta línea.

- **ROSA: Robot de Servicio de uso generAI (iniciando)** Los robots de servicio son una realidad y están presentes en nuestras vidas. Las capacidades requeridas sobre ellos son cada vez mayores y apuntan a la interacción hombre robot, toma de decisiones complejas y aprendizaje. La liga internacional *Robocup* propone desde hace varios años desafíos de acuerdo a los avances en este campo, con el objetivo de desarrollar robots con las capacidades antes indicadas. Particularmente, uno de los desafíos propuesto por la *Robocup* consiste en desarrollar un robot capaz de interactuar con personas en una casa de forma de ayudarlas en tareas cotidianas. Algunas de las tareas que se proponen son recorrer la casas en busca de determinados objetos, ordenar alimentos en la cocina y asistir al transporte de distintos elementos, todo esto realizado a través de una comunicación en lenguaje natural. ROSA es un robot donado por la UNAM (Universidad Autónoma de México) para desarrollar de forma conjunta robots para competir en la categoría *@home* de *Robocup*. La UNAM viene desarrollando desde hace varios años a la robot Justina para participar de esta competencia, y de hecho ROSA en una versión antigua de Justina la cual se está acondicionando para comenzar a trabajar en esta línea. En este sentido, se realizaron dos pasantías en la UNAM (2017 y 2018) con el objetivo de transferir conocimiento entre ambos grupos de investigación.

- **Seguridad en Redes Inteligentes de UTE (iniciando)**

UTE está implantando una red inteligente o “Smart Grid”, que consiste en un sistema de recolección y explotación de datos de dispositivos instalados en los locales de sus clientes, que subsume tres subsistemas principales, a saber: un sistema de recolección de medidas, un sistema de gestión de las medidas colectadas y un sistema de gestión para Termotanques, que recibe datos mediante la utilización de la plataforma Internet of Things (IoT) de ANTEL y luego la procesa y persiste en la plataforma IoT de UTE. El principal objetivo del proyecto con FING es identificar y desarrollar procedimientos metodológicos e instrumentos técnicos que le permitan incorporar garantías de la corrección de las soluciones adoptadas para el diseño e implementación de la red inteligente que permita controlar y administrar dispositivos instalados en premisas de sus clientes, en particular en relación a las propiedades de seguridad que deberían ser garantizadas por esas soluciones.

Este proyecto acaba de comenzar en Mayo de 2018, y tiene asociada la realización de la maestría de Leonado Vidal, de otras maestrías en temas específicos de seguridad informática, y de un proyecto de grado. Se trabaja en estrecha cooperación con el **Grupo de Seguridad Informática** del Instituto de Computación (GSI)¹.

- **Diseño de topología iBGP para red internacional de ANTEL (en proceso de aprobación)**

Los requerimientos de conectividad del Uruguay con Internet han cambiado con el correr de los años. En sus inicios, el país era un consumidor neto de contenidos, y resolvía sus necesidades contratando tránsito a otros proveedores. La topología más simple para implementar esto era la de un hub&spoke, que conectaba al país como un sistema autónomo stub del resto de Internet. Con los años ANTEL ha diversificado sus Puntos de Presencia (PoPs) internacionales, y cuenta en la actualidad con nodos de su red en distintos sitios de Argentina, Brasil y EEUU.

El objetivo general del proyecto consiste en explorar topologías óptimas para la nueva red internacional de ANTEL, ajustadas al nuevo propósito de la misma. Por sus características, es de vital importancia considerar los objetivos de ingeniería de tráfico para diseñar el enrutamiento de la red internacional. En este sentido, dada la conectividad múltiple de los diferentes POPs, es natural que se utilice un protocolo de enrutamiento interno para asegurar la alcanzabilidad (IGP), y un protocolo de enrutamiento externo que permita determinar los mejores puntos de salida del tráfico para cada nodo (BGP). Además, para ser competitivos en el nuevo rol de proveedor internacional de conectividad hay que coordinar ambos niveles lógicos, buscando maximizar la Calidad de Servicio ofrecida. En este contexto, se deben analizar alternativas de diseño de la topología iBGP, en particular, la localización de Reflectores de Rutas (RRs).

Este proyecto ha sido aprobado para su financiación; como se mencionó anteriormente, en este marco se realiza el doctorado de Cristina Mayr, co-supervisado con docentes del grupo de **Investigación Operativa**² del Instituto de Computación.

- **Control de Interferencia en Redes WiFi (propuesta presentada a llamado María Viñas 2018 de ANII. En evaluación.)**

A partir del despliegue de redes WiFi de alta densidad, como lo suelen ser los despliegues para IoT, ha surgido la necesidad de minimizar el impacto de cada transmisión en el medio. Para esto se ha planteado el control de la potencia de transmisión como una estrategia para disminuir la interferencia y reducir el consumo energético, manteniendo un buen rendimiento de la red. Esta propuesta, junto control de la tasa de transmisión, ha sido estudiada en los últimos años y existen algunas soluciones parciales. Sin embargo, la introducción de nuevas versiones del estándar, la 802.11n y la 802.11ac agrega nuevas capacidades como la posibilidad de múltiples transmisiones simultáneas y de controlar del ancho de banda del canal. Si además, consideramos la posibilidad de controlar la potencia de transmisión paquete a paquete, la complejidad del problema crece significativamente. En este proyecto se pretende investigar, diseñar y desarrollar un mecanismo de control de tasa y potencia de transmisión para las últimas versiones del estándar 802.11, con el

¹En línea: <https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/gsi/>

²En línea: <https://www.fing.edu.uy/inco/investigacion/grupos/I0>

objetivo de maximizar la tasa de transferencia a la vez que se minimiza la interferencia generada por la transmisión y se ahorra energía. Debido a la complejidad y dinamismo del medio sobre el que se trasmite, donde la configuración óptima cambia continuamente según se mueven los actores del sistema y cambian las condiciones radioeléctricas del entorno, proponemos un enfoque basado en técnicas de aprendizaje en línea y no supervisado. En particular se investigará la aplicación de técnicas de aprendizaje por refuerzo con el fin de descubrir, dinámicamente, una configuración de transmisión cercana al óptimo para cada situación.

Inserción Internacional

A los efectos de consolidar y desarrollar áreas de investigación que en el medio local cuentan, en el mejor de los casos, con un puñado de expertos, se hace necesario impulsar un fuerte relacionamiento internacional del grupo con centros e investigadores de referencia en los temas tratados. Como se describe antes, el grupo cuenta con una inserción internacional importante pero se hace necesario ampliarla y profundizar el intercambio de *know how*.

Colaboración con grupos internacionales El grupo MINA colabora con grupos en Francia, EEUU, México, España, y Chile. De todas formas es necesario ampliar y profundizar estas colaboraciones alrededor de proyectos conjuntos financiados por agencias locales e internacionales como es el caso de los proyectos Stic AmSud, los financiados por el estado español o fondos europeos, a los que no es sencillo acceder pero que son un objetivo alcanzable. Algunos de los grupos con los que mantenemos una colaboración activa son los siguientes:

- Next Generation Networking Systems Laboratory, University of California, Davis, CA, EE.UU.
Colaboración en el diseño y desarrollo de un testbed para la realización de experimentos de monitorización y aprovisionamiento de conexiones ópticas.
- Grupo de Comunicaciones Ópticas, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
Diseño y desarrollo en conjunto de herramientas y algoritmos de monitorización y análisis de datos para redes ópticas y 5G.
- Laboratorio de Biorobótica, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.
Trabajo conjunto en el desarrollo de robots de servicio orientado a los desafíos propuestos por la categoría @Home de la Robocup.
- BioRobotics Lab, University of South Florida, Florida, USA
Desarrollo de modelos cognitivos con el objetivo de entender los mecanismos que subyacen al proceso de cognición espacial en los roedores para incorporar datos fisiológicos relativos a dicho proceso en una arquitectura robótica. También participa la Dra Alejandra Barrera del Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM - CDMX - México).
- Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, Universidad de Toulouse, Francia. Codirección de tesis doctoral sobre sistemas multirobot colaborativos para la exploración autónoma de entornos desconocidos.
- Grupo MAPS - Management, Pricing and Services in Next Generation Networks, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
Trabajo conjunto en el área de gestión de redes. E. Grampín y J. Baliosian realizaron su doctorado en este marco, y M. Richart está realizando su doctorado en co-tutela. Actualmente J. Baliosian está realizando una pasantía de un año en este grupo (Marzo 2018-Febrero 2019), participando en el proyecto europeo **NECOS**³ (Novel Enablers for Cloud Slicing) , que servirá para seguir estrechando la cooperación.

Dentro de las posibilidades de la presente propuesta nos proponemos ampliar estas colaboraciones según se describe en los siguientes párrafos.

³En línea: <http://www.h2020-necos.eu/>

Investigadores invitados Un mecanismo habitual para profundizar la transferencia de conocimiento mencionada, es el de identificar expertos internacionales en áreas de interés e invitarlos a visitar Uruguay. Se trata de una estrategia a la que el grupo MINA está acostumbrado y que suele ser facilitada por los contactos ya existentes, la organización de conferencias en la región y la habitual participación de estos expertos en tribunales de doctorado y maestría. En particular, durante el primer año interesa organizar un workshop con invitados externos sobre “Fundamentos de los Sistemas Cíber Físicos” para dar lanzamiento a esta nueva línea de investigación, y seleccionar algunos temas de interés para el estudiante de maestría que arranca en el segundo año del programa.

Pasantías Ya se mencionaron anteriormente, pero enviar estudiantes de posgrado a realizar pasantías de media y larga duración (3 a 6 meses) en laboratorios de referencia, suele ser algo viable con financiamiento modesto y que, en nuestra experiencia, suele redituarse en un vínculo fuerte con centros de referencia y posteriores colaboraciones.

Organización de conferencias El grupo MINA tiene experiencia en la organización de eventos académicos internacionales, habiendo organizado varios del ámbito latinoamericano y algunos de alcance mundial. Se trata de una vía más para el intercambio académico con expertos que ha demostrado ser efectiva a la hora de motivar colaboraciones. Nos proponemos seguir en esa línea con la organización de al menos tres eventos regionales o internacionales en el período de la propuesta.

Inserción con el Medio

Si bien los fundamentos de los SCF están fuertemente arraigados en la investigación básica, la investigación en SCF se trata principalmente de un área tecnológica y aplicada. Se trata de sistemas con impacto en áreas productivas y sociales. En este aspecto, durante el período del programa nos proponemos seguir adelante con convenios de consultoría y proyectos aplicados tales como los que hemos llevado adelante hasta ahora. Por ejemplo, el proyecto actualmente en ejecución en el que se colabora con la UTE en el estudio de aspectos de seguridad e interoperabilidad de un despliegue de *Smart Meters*, proyectos de desarrollo de plataformas de monitoreo de contaminación sonora en Montevideo, desarrollo de robots para el trabajo en la agricultura, o de robots educativos como el proyecto Butiá.

El grupo ha desarrollado fuertemente el área de robótica móvil, combinando su actividad de investigación y docencia con una importantísima tarea de extensión y relacionamiento con el medio. En esta línea se destaca la experiencia de la plataforma robótica Butiá desarrollada desde 2009 y el evento *sumo.uy* realizado desde el 2004.

- **Proyecto Butiá** En el año 2009 el grupo comienza a desarrollar el proyecto Butiá, con el objetivo de crear una plataforma simple y económica que permitiera a estudiantes de liceos públicos interiorizarse con la programación del comportamiento de robots. Este proyecto incrementa en gran medida las capacidades sensoriales de las computadoras XO a través de hardware y software adicional, transformando así a las computadoras distribuidas por el Plan Ceibal en una plataforma robótica móvil con capacidad de interacción con el entorno.
- **Evento *sumo.uy*** Con la realización del evento *sumo.uy* se persiguen dos grandes objetivos. Uno de ellos relacionado con la actividad académica, y el otro mediante el cual se pretende difundir las áreas de robótica e Inteligencia Artificial que se desarrollan en la Facultad de Ingeniería, creando un espacio de intercambio e interacción con distintos actores de la sociedad (estudiantes universitarios y de educación media, docentes, investigadores y la industria).

En esta línea de trabajo cooperamos con el **Centro Interdisciplinario en Cognición para la Enseñanza y el Aprendizaje**⁴, UdelaR, con la finalidad de aportar al desarrollo de aplicaciones tecnológicas con finalidad educativa, teniendo al usuario como centro del proceso de diseño. Estas actividades se enmarcan en la línea Tecnologías de la Información y la Comunicación que lleva adelante dicho centro.

⁴En línea: <http://www.cicea.ei.udelar.edu.uy/>

Tanto para acercarse a los actores sociales y productivos como para captar recursos humanos y sensibilizar al público, parte de la interacción con el medio se compone de la organización de eventos. Durante el período del programa propuesto seguiremos adelante con el evento de robótica SUMO.UY, y además de su clásica orientación hacia niñas, niños y adolescentes, añadiremos eventos en el mismo espíritu aunque pensando en público adulto y empresas basados en IoT, domótica u otros aspectos de alcance general en el contexto del ya establecido Ingeniería DeMuestra.

Enseñanza

Finalmente, asociado con la formación de recursos, está la actividad de enseñanza del grupo que, más allá de los cursos básicos de la carrera de Ingeniería en Computación en los que siempre estamos involucrados, conforma una componente importante de captación y formación de recursos, y de introducción de los temas relacionados con los SCF en las carreras de la Facultad de ingeniería y posiblemente de grupos interdisciplinarios en el contexto UdelaR. Más adelante en la Sección 7 se describirá en detalle la oferta de enseñanza actual y planificada del grupo MINA.

3. Objetivos generales y específicos del programa

El **objetivo general** de esta propuesta es consolidar y desarrollar el trabajo del grupo en el campo de los SCF. Se trata de un área del conocimiento que se encuentra subyacente al trabajo que llevan adelante varios grupos de investigación en Uruguay, en particular el MINA, pero que no es hasta hace unos años que comienza a considerarse un área de trabajo inter-disciplinaria que tiene sentido en si misma. El MINA se propone fortalecerse metodológicamente en la investigación de los sistemas ciber-físicos, consolidarse en los elementos de estos sistemas en los que trabaja desde hace años, y fortalecerse en los aspectos inter-disciplinarios del área.

Un componente fundamental para avanzar en estos objetivos es reforzar la incorporación y formación de investigadores, buscando siempre que el crecimiento académico se vea reflejado en una mejora de la actividad docente, y en un aporte concreto a las tareas de extensión universitaria. En este sentido los fondos solicitados se destinan casi exclusivamente a consolidar y formar nuevos investigadores.

Otro componente básico es reforzar los vínculos con otros grupos de investigación tanto nacionales como regionales/internacionales. En esta línea venimos cooperando con grupos en Argentina, Brasil, España, Estados Unidos, Francia, México y Suecia.

Los **objetivos específicos** de la presente propuesta son los siguientes:

1. Dominar la metodología de investigación propia de los SCF y realizar aportes novedosos a su desarrollo.
2. Desarrollar sistemas flexibles de agentes autónomos para SCF.
3. Desarrollar algoritmos eficientes y escalables para la toma distribuida de decisiones.
4. Desarrollar estrategias de monitorización autónoma y agregación distribuida para grandes conjuntos de agentes.
5. Avanzar en la comprensión y hacer aportes en la formalización y modelado de los SCF, en particular en los aspectos de tiempo real.
6. Materializar aplicaciones de los SCF que aporten al abordaje de problemas productivos y sociales del medio.

El Objetivo 1 se hace necesario a la luz de las complejidades de los SCF [DLV12] y de la necesaria cohesión que debe tener el trabajo del grupo y de las soluciones propuestas.

El Objetivo 2 busca formalizar las características de los nodos/agentes que venimos utilizando en diferentes iniciativas, buscando identificar rasgos arquitectónicos comunes desde la perspectiva de los SCF. La identificación de capas, módulos y/o componentes nos permitirá mejorar aspectos específicos, como por ejemplo el módulo que toma decisiones y el módulo de red. Se estudiará la necesidad de incorporar bucles de control que integran el medio, así sea un actuador mecánico o la potencia de una

señal radioeléctrica, con el software que ordena esas acciones utilizando como entrada, entre otras, la información recabada por sensores (de posición, de potencia de señal de radio, etc.).

El Objetivo 3 implica desarrollar una línea de investigación básica, buscando algoritmos distribuidos y robustos embebidos en entornos dinámicos: los agentes se mueven y forman nuevos clusters todo el tiempo. En estas condiciones parece inevitable que se consideren aspectos probabilísticos, por ejemplo, la probabilidad de encontrar un vecino en un protocolo de red oportunista.

El Objetivo 4 está relacionado con la existencia de múltiples dispositivos portables programables con capacidades de red, como teléfonos móviles, PDAs, computadores portátiles (como por ejemplo las más de 300.000 laptops XO del Plan Ceibal), que constituyen una oportunidad para generar aplicaciones con un despliegue masivo. En la misma línea, la existencia de dispositivos hogareños programables como los Set-Top Box (STB, cajas de recepción de TV digital) con conectividad, permite prever el despliegue de mecanismos distribuidos de monitorización de la calidad de servicio, entre otras posibilidades. En estos contextos es imprescindible contar con estrategias eficientes para recolectar información y alarmas.

El Objetivo 5 está fuertemente relacionado con el Objetivo 1, y busca asimilar los conceptos de sistemas dinámicos que subyacen en la definición de SCF, en particular aspectos de teoría de control y modelos físicos, en conjunto con los aspectos de confiabilidad y tiempo real asociados a las aplicaciones de SCF, donde el tiempo no es solo un factor de calidad (más rápido es mejor), sino fundamentalmente de correctitud (las acciones se deben desencadenar en el momento justo para ser efectivas, notoriamente en el caso de sistemas que asisten a un paciente).

Finalmente, el Objetivo 6 es la consecuencia lógica del trabajo de un grupo de investigación implantado en la UdelaR cuyo trabajo espera tener impacto en áreas en fuerte desarrollo e impacto social y productivo como la automatización, la IoT, las ciudades inteligentes, la agricultura, entre otros.

4. Justificación del programa

Los SCF se construyen a partir de una integración profunda entre componentes computacionales y componentes físicos [Lee10]. Existen hace decenios pero, como en muchos otros aspectos, la escala con la que pueden ser abordados ahora implican un cambio cualitativo. Ahora es necesario desarrollar investigación para aumentar su capacidad, adaptabilidad, escalabilidad, resiliencia, seguridad y protección (*safety and security*) para hacer posibles los horizontes potenciales del este tipo de sistemas críticos. Los SCF están transformando la forma en la que la gente interactúa con la tecnología y dinamizando un amplio rango de dominios incluyendo la agricultura, la aeronáutica, la arquitectura y la ingeniería civil, la energía, el cuidado del medioambiente, la medicina, la manufactura y el transporte. Encima de esto, la combinación de la inteligencia artificial con los SCF esta comenzando a tener fuertes implicaciones en aspectos sociales estructurales y cotidianos.

Uruguay se esta integrando a esta tendencia a partir principalmente de los avances de la IoT orientados al consumo, o en ámbitos como las ciudades inteligentes con la integración de sensores y actuadores en espacios públicos (los sistemas de iluminación inteligente y el control automatizado de los flujos de tráfico en Montevideo son un ejemplo). También a partir de impulsos parciales como los smartmeters que se desplegarán en breve o programas piloto de control centralizado de los calentadores de agua domésticos. Asimismo, los centros de investigación agropecuarios y algunos productores se encuentran en etapas iniciales de implantación de tecnología que puede definirse como un SCF. Es claro que el mundo productivo y de gestión local generan la necesidad de estudiar los SCF, pero además, la presión comercial y tecnológica va a generar en el mediano plazo la necesidad de comprender profundamente y regular la implantación local de los SCF.

Si bien algunas de las tecnologías que los SCF engloban están recibiendo atención a nivel de los grupos de investigación locales, principalmente en el área de la IoT, no existe en el medio grupos que intenten estudiar a los SCF en su dimensión multi-disciplinaria y metodológica sino grupos con acercamientos a algunas de sus aplicaciones a partir de alguna de las tecnologías asociadas.

Este acercamiento natural también se dio en el MINA. En este grupo de investigación conviven expertos en robótica, en sistemas de comunicaciones, en sistemas multi-agente, en redes de sensores, IA aplicada, sistemas embebidos, y sistemas autónomos. Esta diversidad de temas, que como puede

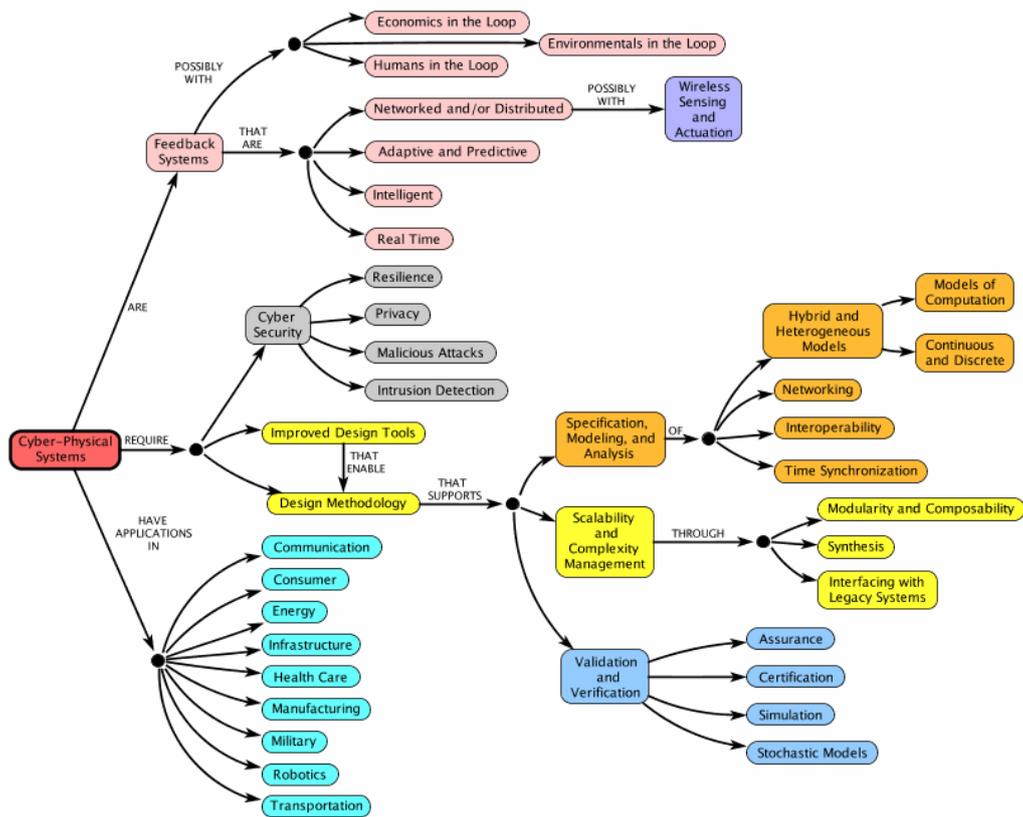


Figura 1: Mapa conceptual de los Sistemas Ciber-Físicos. (Fuente: [pto])

verse en el mapa conceptual de la Figura 1 cubren buena parte de los que “son” los SCF y de sus aplicaciones, provocó que de forma natural los SCF se configuraran como el marco más obvio para el trabajo del grupo.

El MINA se enfrenta hace años a una de las dificultades metodológicas más claras de los SCF, es decir la complejidad introducida por las diferentes estrategias de diseño en áreas tan disímiles como la ingeniería de software, las comunicaciones o la mecánica. A partir de esta experiencia ha identificado como una necesidad el desarrollo de una línea de investigación dedicada a los SCF, así como al desarrollo de sus líneas existentes en el marco metodológico de los SCF. Esperamos que por la naturaleza de la investigación en SCF, los resultados que surjan de esta nueva línea tengan impacto en las áreas sociales y productivas que mencionábamos anteriormente.

5. Problema/s de investigación y principales preguntas que se busca responder

Algunas de las preguntas que permiten guiar los procesos de investigación son las siguientes:

1. *¿Cómo se pueden compaginar los procedimientos clásicos de la teoría de control, propios de la ingeniería eléctrica, con la optimización, la IA, la algoritmia y los sistemas de reglas, propios de la ciencia de la computación?*

Existe una vasta tradición de resolución de problemas con ciclos de realimentación en base a la teoría del control (lineal y no lineal) para plantas que se pueden analizar analíticamente [KG02] (por ejemplo, un sistema físico descrito por las leyes de Newton, o un sistema eléctrico descrito por las leyes de Maxwell), y que históricamente se han resuelto como problemas continuos utilizando ecuaciones diferenciales. La algoritmia, los sistemas de reglas (que se emparenta con otras técnicas como la lógica difusa), y los mecanismos de IA permiten resolver problemas en el campo discreto aún cuando no se tiene una descripción precisa del modelo de planta subyacente.

Se puede intentar concretar mejor esta pregunta analizando algunos aspectos particulares:

- ¿Es posible interactuar con éxito entre bucles de control que integran señales continuas, típicas del espacio físico, con señales discretas inherentes de los métodos computacionales?
 - ¿Es posible desarrollar abstracciones que modelen a la vez algunos de los procesos físicos del contexto del sistema y los procesos computacionales que lo controlan? y, ¿es posible representar dichas abstracciones por medios computacionales discretos?
 - ¿Es posible que un sistema computacional maneje los conceptos de ubicación y tiempo como una componente básica de su razonamiento?
2. *¿Se pueden desarrollar paradigmas de programación amigables para sistemas ciber-físicos, tanto a nivel de dispositivo como de plataformas?*

Las soluciones de IoT, que pueden verse como una instancia de sistema ciber-físico, carecen de patrones de desarrollo generales, debido a dos factores fundamentales: i) generalmente están centradas en aplicaciones particulares (denominadas “verticales”, como por ejemplo agro, medicina, energía, etc), y ii) cada plataforma de IoT tiene sus interfaces y módulos propietarios que dificultan la migración de soluciones entre plataformas. Por otro lado, los dispositivos están generalmente basados en sistemas operativos con interfaces de programación específicas para expertos en sistemas embebidos, lo cual dificulta el proceso de desarrollo a este nivel.

3. *¿Es posible encontrar soluciones bio-inspiradas para los problemas de SCF?*

La biología presenta numerosas fuentes de inspiración para el diseño de sistema de toma de decisiones en tiempo real y de optimización. Inspirados en el campo de la genética, los Algoritmos Genéticos son meta-heurísticas aplicables en numerosas áreas, y en particular en SCF. Han demostrado ser de gran utilidad en la optimización de procesos donde la solución final puede ser construida a partir de soluciones a subproblemas del problema original. Un ejemplo de esto, trabajado por el grupo, es la planificación de caminos en robots, tomando en cuenta múltiples objetivos concurrentes.

Por otro lado, se encuentran en la naturaleza ejemplos donde la supervivencia de un individuo dependen de su capacidad de aprendizaje. Consecuentemente, estos sistemas de aprendizaje han sido perfeccionados a través de las generaciones y conforman una rica fuente de inspiración. Un ejemplo, que es el foco de estudio de dos integrantes del grupo, es el estudio de la interacción entre las fuentes de información (p.e. hipocampo) y los centros de decisión (p.e. ganglia gasal) en el cerebro de roedores, desde un punto de vista computacional. Estudiar estos sistemas biológicos de toma de decisiones y aprendizaje ayuda a comprender cómo diseñar mejores SCF.

Otro ejemplo se verifica en las Redes Oportunistas, donde comúnmente se utilizan algoritmos epidémicos porque es natural estudiar las dinámicas de estos algoritmos de una forma similar a la utilizada para estudiar los procesos de avance de una enfermedad en una población. Actualmente nos encontramos modelando las tasas de entrega y pérdida de paquetes en redes oportunistas utilizando la matemática desarrollada para estudiar procesos epidemiológicos en las ciencias médicas.

4. *¿Qué desafíos de seguridad (informática y física) plantean los Sistemas Ciber-Físicos, y en particular las soluciones de IoT?*

Los Sistemas Ciber-Físicos (SCF) implican dispositivos, comunicaciones, cómputo, asociados para resolver problemas de la vida real. Por ejemplo, un marcapasos es un SCF, y debe cumplir con determinadas propiedades de seguridad y “safety” (seguridad física) para no poner en riesgo la vida del paciente; seguramente se necesite hardware específico, software formalmente correcto, y muchas otras salvaguardas, para desarrollar un marcapasos seguro. En mismo tipo de desafíos aparecen en aplicaciones como los automóviles autónomos, y otras muchas aplicaciones. Entender estos problemas es de vital importancia.

5. *¿Pueden controlarse en forma virtualizada sistemas de tiempo real?*

Esta pregunta refiere a la virtualización a nivel de cómputo de funciones vitales para el funcionamiento de los sistemas, por ejemplo:

- ¿Qué desafíos presenta la virtualización de las funciones de procesamiento en las radiobases de telefonía celular 4G-5G?
- ¿Es posible implementar funciones de control de robots móviles “en la nube”?
- ¿Qué penalizaciones se incurren en una red de telecomunicaciones con funciones virtualizadas, en términos de retardos, enrutamiento no óptimo, seguridad?
- ¿Dónde deben ejecutarse las funciones virtualizadas para cumplir determinados objetivos de calidad de servicio?

Esta pregunta se relaciona con una pregunta más general, *¿cuáles son los requerimientos que una red de datos debe cumplir para que un sistema computacional distribuido, o más específicamente, un sistema multi-agente, logre interactuar a tiempo con procesos físicos cuyo modelo es demasiado complejo o incierto?*

6. *¿Cuál es el rol de los procesos de IA en el desempeño de los sistemas distribuidos?*

Esta pregunta refiere a la incorporación de métodos de aprendizaje automático para ajustar el comportamiento de los sistemas en base a la experiencia, probablemente a partir de una un proceso de optimización tradicional inicial. En efecto, hoy en día es posible recoger grandes volúmenes de datos acerca del desempeño de un sistema, que permiten alimentar los mecanismos de aprendizaje. Asimismo, cabe preguntarse, desde la perspectiva de la “*network science*” (sistemas complejos que se pueden describir en forma estadística a partir de la teoría de grafos), *¿es posible predecir el comportamiento emergente de un sistema que toma decisiones de forma distribuida y colaborativa en un ambiente no controlado?*

7. *¿Cuál es el rol de la robótica en procesos de aprendizaje, cuidado de personas, y otros donde es necesaria la interacción robot-persona?*

Particularmente, en el campo del aprendizaje, el grupo ha desarrollado el EFI Butiá que ha permitido validar el carácter polivalente y multidisciplinario de la robótica educativa. A través de la misma los estudiantes aprendan a través del hacer imponiéndose la lógica de cómo hacer y cómo pensar, sustituyendo muy a menudo al qué hacer y qué pensar. Se generan nuevos ambientes de trabajo, de colaboración, de pensamiento y de procesamiento de la información basados en el aprendizaje activo y constructivista, y a su vez se integra lo tecnológico a las distintas áreas del conocimiento, conjugándose todo en un mismo proyecto, operando así como facilitadora y motivadora de la adquisición de saberes diversos. Corresponde entonces preguntarse con más rigurosidad, y siendo más general, cuál puede ser el rol de un robot en un entorno de interacción con humanos⁵.

6. Descripción de las líneas de investigación que se desarrollarán en el marco del Programa

De acuerdo a lo argumentado en las secciones anteriores 2 3 y 4, el marco conceptual de nuestro trabajo de investigación integra los diferentes niveles de los SCF: dispositivos, comunicaciones, y cómputo. En este marco, las líneas históricas del grupo son “cortes verticales” en este mapa conceptual: 1) Gestión de Redes Inalámbricas, 2) Navegación Robótica, 3) Infraestructura de Redes y Cómputo, y 4) Internet de las Cosas. Además, existe una línea transversal 5) Procesos de Decisión. Como se ha argumentado, nuestro grupo evolucionó naturalmente desde las distintas aplicaciones de los SCF hacia la conceptualización de los mismos. Por este motivo se hace necesario desarrollar una línea que de soporte fundamental al trabajo del grupo: 6) Fundamentos de los Sistemas Cíber Físicos. La organización de las líneas de investigación y sus componentes básicos puede verse en la Figura 2.

Pasemos entonces a considerar c/u de las líneas mencionadas.

⁵Este tipo de preguntas pueden atacarse con las herramientas de la disciplina Interacción Persona-Computadora o Interacción Persona-Robot. El grupo ha colaborado con investigadores de esta área, y es posible seguir colaborando, en particular con Ewelina Bakala, docente del Instituto de Computación, iniciando su doctorado, y Gustavo Armagno, ex-docente del Instituto de Computación, quien finalizó su maestría en 2017 bajo la supervisión de J. Baliosian

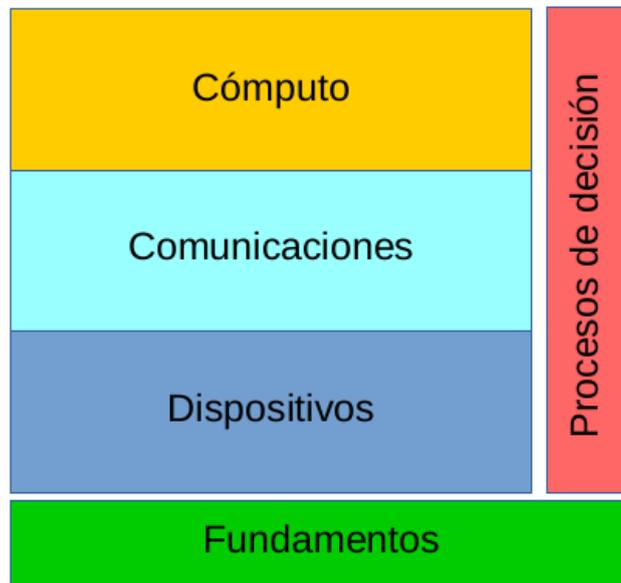


Figura 2: Líneas de Investigación Actuales.

6.1. Gestión de Redes Inalámbricas

- Responsable: Javier Baliosian.

La creciente demanda de tráfico que deberán atender las futuras redes inalámbricas, en muchos casos de varios órdenes de magnitud superior a la actual, genera enormes desafíos. En este contexto, una adecuada gestión de las redes inalámbricas es fundamental no solo para cumplir con los requerimientos de conectividad sino para realizar un uso eficiente de los recursos.

La gestión de redes inalámbricas incluye diversos aspectos como son la gestión de los parámetros de transmisión, y la asignación y gestión de los recursos de red.

La gestión de los parámetros de transmisión tiene por objetivo maximizar la tasa de transferencia a la vez que se minimiza la interferencia generada por la transmisión y se ahorra energía. Para esto es necesario estudiar la relación que existe entre las distintas variables de transmisión y como su correcta gestión puede mejorar el rendimiento. Ejemplos de estas variables son: la potencia de transmisión, la tasa de transmisión y la sensibilidad del mecanismo de acceso al medio. Debido a la complejidad y dinamismo del medio sobre el que se trasmite, donde la configuración óptima cambia continuamente según se mueven los actores del sistema y cambian las condiciones radioeléctricas del entorno, esta gestión es a la vez imprescindible y complicada. Por lo tanto, la investigación en esta línea requiere del estudio teórico del comportamiento de la red, la utilización de modelos matemáticos así como un enfoque basado en técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*).

En relación a la gestión de recursos, el objetivo principal de esta sublínea de investigación es el diseño y desarrollo de las técnicas y mecanismos necesarios para lograr una asignación de recursos eficiente en el contexto de redes de acceso inalámbricas y heterogéneas. Habitualmente estas tareas son parte de la planificación de la red de acceso pero el dinamismo e intensidad de uso de las redes inalámbricas han impulsado la idea de automatizar la gestión acercándola más al terreno de la teoría de control bajo el nombre de *self-management* o gestión autónoma. El trabajo del grupo en esta línea se ha enfocado especialmente en soluciones de control y gestión autónomas y distribuidas.

6.2. Navegación robótica

- Responsable: Gonzalo Tejera.

La navegación es una de las actividades más importantes y desafiantes que deben tenerse en cuenta al trabajar con un robot móvil. Al trabajar en navegación todos los aspectos de la robótica están presentes: sensado, actuación, arquitectura de control, planificación, resolución de problemas,

eficiencia computacional y hardware. La navegación es una colección de algoritmos que permiten resolver las dificultades que aparecen al tratar de responder a las siguientes preguntas:

- ¿A dónde debo ir? Este problema es usualmente determinado por un humano o el planificador de misión de la arquitectura de control del robot.
- ¿Cuál es la mejor forma de llegar? Este problema es denominado planificación de trayectorias y es el aspecto que ha recibido más atención dentro de la navegación.
- ¿Dónde he estado? Se refiere a la construcción de mapas, uno de los aspectos de la navegación que se ha pasado por alto en los primeros trabajos de navegación tomando fuerza su estudio en los últimos años.
- ¿Dónde estoy? El robot debe saber donde está para seguir un camino o construir un mapa. Este aspecto de la navegación se denomina localización.

Algunos de estos problemas se resuelven de a pares simultáneamente, por ejemplo exploración, localización activa y SLAM (simultaneous localization and mapping). El objetivo de la exploración es cubrir todo el entorno en el menor tiempo posible. La exploración asume que el robot es capaz de localizarse, debiendo construir el mapa y planificar trayectorias para lograr su objetivo. En el caso de localización activa es posible tomar decisiones de movimiento con el objetivo de mejorar la eficiencia o la robustez de la localización. La construcción de mapas y la localización están fuertemente relacionados y son auto-dependientes, lo que ha dado lugar a su estudio conjunto bajo el nombre de SLAM. La construcción de mapas introduce la necesidad de localizarse mientras el robot se mueve en el entorno. SLAM refiere al problema en el cual un robot móvil construye un mapa de su ambiente mientras simultáneamente se localiza dentro de dicho mapa.

Teniendo en cuenta la evolución tanto de dispositivos que capturan imágenes como de algoritmos para su procesamiento, existe gran interés por realizar navegación guiada por identificación de objetos.

Los métodos más difundidos para lidiar con la navegación son en su naturaleza probabilísticos. Asimismo, existen algunas alternativas basadas en modelos biológicos, p.ej. basada en estudios sobre roedores.

Algunos de los trabajos desarrollados en esta línea de investigación son: navegación robusta basada en el comportamiento de ratas, navegación en exteriores para apoyo en tareas de recolección de manzanas soportada por visión artificial y exploración de entornos con vehículos terrestres y aéreos no tripulados.

6.3. Infraestructura de Redes y Cómputo

- Responsables: Eduardo Grampín y Alberto Castro.

Esta línea agrupa los temas de infraestructura en general, y trabajamos en dos sub-líneas:

- Gestión y Control de recursos en redes virtualizadas.
- Diseño y Optimización de Redes Inteligentes.

Gestión y Control de recursos en redes virtualizadas

Las redes de nueva generación implican servicios ubicuos, tecnologías heterogéneas y usuarios en movimiento en un entorno inteligente (por ejemplo, las denominadas “smart cities”). Esto presenta un desafío tanto para las redes de acceso (con prevalencia de las tecnologías inalámbricas, y de acceso residencial de banda ancha), como para la Internet global, que sirve de infraestructura de transporte de aplicaciones para usuarios que demandan calidad de experiencia. Estos escenarios difieren en forma fundamental de las premisas fundacionales de Internet. En este sentido, los proveedores globales de contenido, buscando mejorar la experiencia del usuario han desplegado infraestructura (datacenters) con contenidos replicados en numerosas localizaciones, conformando “Redes de Distribución de Contenido” (CDN por su sigla en inglés), que tienen sus propios desafíos de gestión de recursos, pero además imponen desafíos al sistema global de enrutamiento, y en particular a BGP (Border Gateway

Protocol), el protocolo que mantiene la red comunicada y permite que la información llegue hasta el usuario final.

La búsqueda de desplegar servicios en forma dinámica y con bajos costos de operación ha acentuado la prevalencia del software, y en particular de las técnicas de virtualización de plataformas de ejecución y/o de recursos de red, llevando a popularizar el concepto de “Cloud Computing”: las aplicaciones se ejecutan en un entorno virtualizado y los datos se almacenan en datacenters replicados en diversas áreas geográficas, como mencionaba antes, exigiendo que la gestión de recursos de cloud (nube) se realice dinámicamente. A nivel de recursos de red, se busca que el equipamiento de red sea genérico y programable, dando lugar al concepto de “Software Defined Networks” (SDN). Por otro lado, los operadores de telecomunicaciones buscan poder orquestar servicios de red combinando funcionalidades básicas en forma dinámica, lo que se ha dado en llamar “Network Function Virtualization” (NFV).

Diseño y Optimización de Redes Inteligentes

El diseño y optimización de redes es una disciplina con amplios campos de aplicación, desde las telecomunicaciones hasta la interconexión de microprocesadores, pasando por problemas de transporte y de red eléctrica, entre otros. La presente línea de investigación está basada fuertemente en los problemas de redes de telecomunicaciones, en particular en las redes ópticas flexibles (flexgrid), cuya característica fundamental es la asignación elástica y dinámica de ancho de banda espectral para cada enlace, sin necesidad de usar longitudes de onda fijas. Las redes actuales conforman una estructura descentralizada multi-dominio, que dificulta la coordinación de tareas de optimización y reconfiguración. Estas tareas son realizadas mayoritariamente en forma manual por expertos, y se carece de programabilidad, y de un lazo de realimentación automático que desempeñe estas tareas. Una causa fundamental de la ineficiencia de las redes actuales es la ausencia de “cognitive intelligence” (inteligencia cognitiva), es decir, la capacidad de inferir el estado de la red, analizar las implicancias y tomar acciones en forma proactiva. Es deseable que las redes inteligentes tengan atributos “Self*”: Self-Aware, Self-Configuration, Self-Healing, Self-Optimization (auto-conciencia, auto-configuración, auto-curación, auto-optimización), que conozcan la información en distintos niveles (Infraestructura, Servicios, Flujos), y que provean interfaces abstractas orientadas “a intención” (Intent based Services Interfaces). Una actividad central para asegurar estas características es la monitorización, dentro de ciclos “Observe-Analyze-Act” (Observación-Análisis-Actuación), buscando alcanzar planos de control y gestión automatizados y escalables, que tengan conocimiento local (distribuido) y global (centralizado). A partir del caso de uso de las redes ópticas flexgrid, el objetivo principal de esta línea de investigación es estudiar la evolución de las redes hacia una infraestructura inteligente y “self-aware”, buscando además explorar otros casos de uso, junto con la formación de recursos humanos en el área y la cooperación con los grupos de investigación locales y actores relacionados (por ejemplo, entes públicos y empresas).

6.4. Internet de las Cosas

- Responsable: Eduardo Grampín.

Hace tiempo que venimos trabajado en aspectos conceptuales de esta línea de investigación, por ejemplo en los problemas de gestión de redes inalámbricas, y en el desarrollo de sistemas embebidos, que son componentes básicos de una solución de IoT. Hemos investigado en redes de sensores, comunicaciones *machine-to-machine* (M2M) y *device-to-device* (D2D), todos conceptos antecesores de IoT. Sin embargo, una vez que se ha establecido ampliamente el concepto de IoT, aparecen elementos que permiten enfocar mejor la investigación en el área. En este sentido, tanto en la industria como en la academia, se ha establecido una arquitectura de facto, que consiste en dispositivos finales (y/o *gateways*) que generan información en su rol sensor y reciben comandos en su rol actuador. Esta información se transmite hacia/desde plataformas de IoT “en la nube” (públicas o privadas) a través de un componente específico de comunicación asincrónica (denominado *broker*), que hace disponibles los datos a módulos de almacenamiento y análisis, que eventualmente toman acciones. Durante 2017 hemos comenzado a relevar el estado del arte de estas arquitecturas, la oferta de plataformas, los posibles patrones de diseño de aplicaciones, entre otros desafíos, desarrollando dos proyectos de grado

en el área, que incluso han generado resultados publicables. Asimismo, recientemente hemos comenzado a estudiar los problemas de seguridad en IoT, en cooperación con el **Grupo de Seguridad Informática** del Instituto de Computación (GSI); tenemos un estudiante de maestría en este tema, y acaba de concretarse un proyecto con UTE de Seguridad en *Smart Grids*, que incluye medidores y termotanques inteligentes sobre una solución de IoT. Entendemos que la participación en este proyecto contribuirá a dominar el estado del arte, y explorar los aspectos de seguridad (y *safety*) que aparecen en este tipo de aplicaciones, generalmente invasivas del espacio público y privado (por ejemplo, las aplicaciones de cuidados de la salud).

Visualizamos esta línea de investigación asumiendo críticamente el modelo de “IoT en la nube” para buscar alternativas arquitectónicas y soluciones concretas a aspectos específicos que contribuyan a mejorar el desempeño de las soluciones de IoT, y asimismo buscamos desarrollar aspectos teóricos en distintos niveles de la arquitectura. Sin dudas que esta línea se retroalimenta con las líneas clásicas del grupo, y en particular con la línea en *Procesos de Decisión*. En efecto, *dónde* (en qué componentes) y *cómo* (mediante qué algoritmos o procesos) se toman las decisiones en una solución de IoT, forman parte central de esta otra línea de investigación.

6.5. Procesos de Decisión

- Responsables: Gonzalo Tejera y Javier Baliosian.

Los SCF comprenden dispositivos que típicamente miden (sensan) variables del entorno, por ejemplo nivel de señal y relación señal/ruido en el caso de un *Access Point* inalámbrico, temperatura u otras variables del medio ambiente en sensores de exteriores, o distancia a obstáculos en el caso de un robot. Estas medidas, combinadas con otros elementos computacionales e información, y con las reglas u objetivos de funcionamiento de alto nivel que se hayan fijado, alimentan diversos procesos de decisión, por ejemplo modificar el canal de transmisión de un *Access Point*, balancear determinada parte del tráfico en la red, activar el riego en una plantación, o cambiar el rumbo del robot.

Estos procesos de decisión, independientemente de la aplicación, constituyen un área de investigación en sí mismos. Además de trabajar sobre procesos de decisión más clásicos en todos los proyectos relacionados con robótica, nuestro grupo concibió el modelo de decisión autónomo RAN para redes inalámbricas [BVG⁺09], y posteriormente lo adaptó a redes oportunistas (RON) [BVR⁺11]. También existen *frameworks* como ROS (Robot Operating System) y OROCOS (Open Robot Control Software) que favorecen el desarrollo de arquitecturas distribuidas para el control de agentes autónomos, y se ha implantado el modelo “*Cloud IoT*” para tomar decisiones en aplicaciones de IoT.

Interesa estudiar diversos aspectos de los procesos de decisión, incluyendo la clásica dicotomía centralización vs. distribución, mecanismos de reglas o en general políticas, lógica difusa, aprendizaje automático, procesos neuro-difusos, consenso y elección en sistemas distribuidos, cooperación y coordinación, entre otros.

Este acercamiento se ha reflejado por ejemplo en investigación en resolución de conflictos entre reglas, estudios de estabilidad de las decisiones basadas en control difuso y otros aspectos puramente computacionales de los procesos de decisión. Actualmente nos encontramos trabajando en la incorporación de aprendizaje automático a los procesos de decisión en procesos de control de la interferencia de radio y en aspectos más relacionados con infraestructura de red y de cómputo.

Utilizando OROCOS se han implementado mecanismos distribuidos y algoritmos de selección de tareas para soportar la toma de decisiones colaborativa de flotas de robots que exploran entornos previamente desconocidos. Estos sistemas pueden utilizarse en una amplia gama de aplicaciones como ser: vigilancia, patrullaje, limpieza, agricultura, exploración de zonas riesgosas o inaccesibles al hombre.

Se ha trabajado con ROS para resolver la toma de decisiones en diversos escenarios de robótica, particularmente cabe destacar el desarrollo de DM3 (vehículo autónomo para apoyo en tareas de recolección de frutos) y SuperM (vehículo para asistir el desplazamiento en silla de ruedas dentro de supermercados).

Los robots de servicio están cada vez más presentes en nuestras vidas. En este sentido, deben interactuar con las personas de manera segura, anticipando el efecto de sus acciones en consonancia

con los otros agentes que lo rodean, poniendo especial atención a las acciones y necesidades de las personas con las cuales comparte el entorno. Estos agentes deben poseer capacidades de procesamiento y generación de lenguaje natural, un mecanismo complejo de toma de decisiones y aprendizaje, y todo esto en un entorno dinámico, estocástico y de tiempo real. Los robots con estas capacidades se han dado a llamar robots cognitivos, acercando científicos de distintas tradicionalmente ligadas a las ciencias cognitivas (ciencias de la computación, neurociencias, psicología e inteligencia artificial), utilizando generalmente modelos basados en la cognición de los seres vivos. Los robots cognitivos logran sus objetivos percibiendo su entorno, prestando atención a los eventos relevantes, planificando qué hacer y aprendiendo de la interacción con el entorno. Se ocupan de la incertidumbre inherente de los entornos reales mediante el aprendizaje, el razonamiento y el intercambio de sus conocimientos con otros agentes.

En definitiva, se trata de un área clásica dentro de varias ingenierías pero que al tratarse de un aspecto transversal a los SCF, adquiere un nuevo interés a la luz de las nuevas posibilidades tecnológicas, pero sobre todo del salto en escala que experimentarán los SCF en los próximos años.

6.6. Fundamentos de los SCF

- Responsables: Eduardo Grampín, Gonzalo Tejera, y Javier Baliosian.

Como se menciona varias veces en este documento, es necesario desarrollar una línea propia y transversal de los SCF. Un área de investigación que se centre en los aspectos comunes a todos los SCF y le que brinden a todo el trabajo del grupo coherencia metodológica.

Volviendo a la Figura 1, vemos que aquellos aspectos fundamentales de los que hablamos se encuentran en la rama “REQUIRE” de ese grafo. Se trata de estudiar herramientas de diseño que se adapten al mundo físico y al mundo ciber, y que permitan desarrollar metodologías de diseño que funcionen a la vez para ambos mundos. Es necesario trabajar en formas de modelar sistemas computacionales que trabajen a la vez sobre señales continuas y discretas, modelos que trabajen con redes que comuniquen sistemas sincrónicos y asincrónicos considerando la variable temporal como un elemento crítico. Es necesario estudiar métodos que permitan gestionar escalas nunca vistas antes y la complejidad asociada a la escala y la heterogeneidad de los SCF. Para lidiar con dicha complejidad es necesario utilizar y desarrollar estrategias de clásicas de las ingenierías como la modularidad y la reutilización de elementos de un sistema y la capacidad de interoperar con sistemas heredados. Para completar la complejidad de esos elementos, los SCF suelen tener requerimientos de correctitud muy exigentes y necesitar del uso de técnicas de de testing complejas, simulación y modelado estocástico junto a requerimientos de seguridad y protección elevados que solo pueden asegurarse utilizando técnicas de métodos formales.

El grupo MINA no propone dedicarse a todos esos aspectos, pero tiene experiencia propia y colaboración con otros grupos que le permitirán desarrollar esta línea de investigación en los aspectos relacionados con el modelado, la gestión de la escala, la simulación, los sistemas continuos y discretos y el modelado para la seguridad (*safety*).

7. Descripción de las actividades de enseñanza de grado y posgrado y de extensión a desarrollar en el marco del programa

Los docentes integrantes del grupo MINA formamos parte del Departamento de Arquitectura de Sistemas del Instituto de Computación, y participamos fundamentalmente en las unidades curriculares del área de formación “Arquitectura, Sistemas Operativos y Redes de Computadoras” de las Carreras de Computación (Ingeniería y Licenciatura), aunque también colaboramos en el área de Programación. Asimismo, impartimos unidades curriculares optativas en las áreas específicas de investigación del grupo:

- Taller de Sistemas Cíber-Físicos (TSCF)
- Fundamentos de la Robótica Autónoma (FRA)
- Aspectos Avanzados de Redes de Computadoras (AARC)

- Análisis y Diseño de Algoritmos Distribuidos en Redes (ADADR)
- Robótica Educativa (RE)
- Aspectos Avanzados de Arquitectura de Computadoras (AAAC)
- Robótica Basada en Comportamientos (RBC)

Estos cursos son fundamentalmente de grado, pero ocasionalmente lo toman estudiantes de posgrado. Iniciamos el TSCF en 2017 con el objetivo de difundir los principios fundamentales de los SCF, y explorar temas de investigación con estudiantes.

Asimismo, regularmente invitamos profesores del exterior a dictar cursos de posgrado con financiación variada (PEDECIBA, UdelaR 720, ANII). Por ejemplo en 2016 se dictaron los cursos “Diseño de Redes Ópticas”, dictado por el Dr. Alberto Castro Casales, de la University of California, Davis (actualmente retornado al grupo como Posdoc), y “Fundamentos de Cloud Computing”, dictado por el Dr. Edgar F. Magaña Perdomo, Workday Inc, USA.

También en 2016 dictamos el curso “Radio Definida por Software.^{en} conjunto con docentes del Grupo ARTES de Ingeniería Eléctrica⁶ (con los que también colaboramos en el Laboratorio Académico de Redes -LAR- y en proyectos y convenios). La colaboración en esta área tuvo entre otros resultados, el artículo de mejora de la implementación del estándar 802.11 de WiFi para GNU Radio, mencionado en la sección 1.

El grupo impulsa además dos perfiles de la Licenciatura en Computación: **Inteligencia Artificial** y **Redes de Computadoras**, en conjunto con los grupos del Instituto de Computación *Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN)*⁷ y *Seguridad Informática (GSI)* respectivamente.

Participamos activamente en la discusión de los nuevos planes de estudio de las carreras de grado, cuya implementación implicará reformular unidades curriculares dictadas por docentes del grupo. Más en general, consideramos a la Computación integrada en un ecosistema de carreras de ingeniería y básicas, tales como la Ing. Eléctrica (en particular, telecomunicaciones), la Lic. en Matemáticas, entre otras, y en este marco la capacidad de aportar y recibir aportes de otras disciplinas puede tener un efecto multiplicador importante.

Acerca de la formación de posgrado, en la medida que seguimos consolidando investigadores, podemos comenzar a tener una oferta estable de cursos de formación en el área.

8. Formación de grado y posgrado de integrantes del GI durante el desarrollo del programa

Tal cual se mencionó en la Sección 2, el aspecto fundamental del programa es la formación de RRHH. Además de los integrantes del grupo, durante el desarrollo del programa se espera que numerosos estudiantes de grado realicen su Proyecto Final en las áreas de investigación del grupo, y que los estudiantes de posgrado actuales que no tienen vinculación formal, completen sus posgrados. A modo de resumen, durante el desarrollo de este programa se espera la formación de los siguientes estudiantes.

Cuadro 1: Formación durante el programa.

Estudiantes	Grado	Nivel	Fecha estimada de inicio
Andrés Aguirre	G2	Doctorado	2019
Mercedes Marzoa	G2	Doctorado	2019
Federico Andrade	G2	Doctorado	2019
Guillermo Amorín	G1	Maestría	2019

⁶En línea: <https://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/artes/es/inicio/>

⁷En línea: <https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/pln/>

9. Personal que participará en el desarrollo del Programa

El grupo cuenta con un conjunto de investigadores consolidados, con formación de doctorado, encargados de llevar adelante las líneas de investigación, la formación de recursos humanos así como la dirección del grupo. Además, el grupo esta formado por un conjunto de estudiantes de doctorado, maestría y grado que realizan sus estudios bajo la supervisión de los investigadores. Por último, existe un conjunto de personas (con baja dedicación horaria) que colaboran activamente con el grupo tanto en actividades de investigación como de enseñanza y de extensión.

Investigadores consolidados:

- Dr. Eduardo Grampín: Grado 5 con Dedicación Total. Es uno de los coordinadores del Grupo MINA desde sus comienzos. Continuará con esta tarea para esta propuesta y con el desarrollo de la línea de investigación Infraestructura de Redes y Cómputo.
- Dr. Gonzalo Tejera: Grado 3 con Dedicación Total. Es uno de los coordinadores del Grupo MINA desde sus comienzos. En esta propuesta continuará coordinando el grupo y desarrollando la línea de Navegación Robótica con un énfasis particular en robótica inspirada en la biología y robótica agropecuaria.
- Dr. Javier Baliosian: Grado 4 con Dedicación Total. Desde hace varios años, investiga sobre sistemas distribuidos, sus comportamientos emergentes y la toma de decisiones autónoma. En la presente propuesta se desempeñará como investigador senior.
- Dr. Alberto Castro: Posdoc ANII 40hs (CSIC, G3 12hs). Investigador reconocido en el área de “Diseño y Optimización de Redes Inteligentes”, y en este programa impulsará esta línea como investigador senior.
- Dr. Martín Llofriú: Docente libre Grado 3 radicado en USA, actualmente se desempeña como investigador en la empresa iRobot. Su especialización es la robótica bioinspirada, y en el presente programa se desempeñará como investigador senior en dicha área, en tareas fundamentalmente de asesoramiento, dado que no tiene horas asignadas. Se espera que dicte cursos de posgrado como profesor visitante durante el desarrollo del programa.

Estudiantes:

- MSc. Facundo Benavides: Grado 3 con Dedicación Total. Actualmente finalizando su doctorado en co-tutela con el Instituto Superior de la Aeronáutica y el Espacio de la Universidad de Toulouse, Francia. En la propuesta se desempeñará como investigador del grupo concentrándose en aspectos del cálculo de trayectorias de dispositivos autónomos móviles.
- MSc. Jorge Visca: Grado 3 con Dedicación Total. Se encuentra realizando su doctorado donde está trabajando en el diseño de protocolos comunicaciones móviles oportunistas. Además ha trabajado intensivamente en el diseño de plataformas de robótica educativa. Se desempeñará como investigador contribuyendo con una particular visión que articula las comunicaciones de sistemas móviles con la construcción de dispositivos mecánicos.
- MSc. Matías Richart: Grado 2 con Dedicación Total. Se encuentra realizando su doctorado en cotutela con la Universidad Politécnica de Cataluña donde está desarrollando mecanismos de asignación de recursos para redes inalámbricas. Además trabaja en la interacción de los sistemas de acceso a redes inalámbricas con el medio electromagnético en el que se encuentran. En la presente propuesta, Richart contribuirá con el estudio de la interacción entre los movimientos en el medio físico, la dinámica de la interferencia electromagnética y los métodos de control de sistemas computacionales.
- Ing. Andrés Aguirre: Grado 2, 6hs. Se encuentra llevando adelante sus estudios de posgrado en el programa de Maestría en Informática del Pedeciba. Su trabajo se centra en el estudio de aprendizaje por imitación, realizando estudios en caminatas registradas en humanos y como

estás pueden ser aprovechadas para la locomoción en robots humanoides. En el contexto de la presente propuesta aportará en el desarrollo de software de bajo nivel, seguridad y tolerancia a fallas.

- Ing. Federico Andrade: Grado 2, 12hs. Se encuentra culminando sus estudios de maestría donde estudió los problemas de localización activa en el contexto del problema de SLAM. En el contexto del programa se espera que comience su doctorado donde continuará investigando en alguna de las líneas dentro del problema de SLAM. Para cumplir cabalmente con estas tareas, se propone aumentar su carga horaria a 25 horas semanales durante los 3 primeros años del programa.
- Ing. Mercedes Marzoa: Grado 2, 12hs. Se encuentra realizando su maestría donde trabaja en problemas de manejo de imágenes y aumento de resolución. Además, trabaja en los problemas de visión por computadora para robots donde desarrolló un software de visión artificial para el reconocimiento de manzanas rojas, con resultados referenciados en la Sección 1. Como parte de este programa se prevé que comience sus estudios de doctorado en el 2019 donde se enfocará en los problemas de visión en 3 dimensiones. Para cumplir cabalmente con estas tareas, se propone aumentar su carga horaria a 25 horas semanales durante los 3 primeros años del programa.
- Guillermo Amorín: Grado 1, 15hs. Se encuentra finalizando el proyecto final de carrera donde está trabajando en robótica educativa bajo la supervisión de Jorge Visca. En este contexto está desarrollando una plataforma robótica para explorar el concepto de pensamiento computacional en edades tempranas. Como parte del programa realizará su maestría donde se prevé que trabaje en los problemas de decisión de los SCF. Para cumplir cabalmente con estas tareas, se propone aumentar su carga horaria a 25 horas semanales durante los 2 primeros años del programa.

Personal a contratar Además de los recursos existentes, como parte de este programa se propone contratar a una persona para que trabaje en la línea de investigación Fundamentos de los SCFs. Por lo tanto, se propone la creación de un nuevo cargo Grado 1, 25 horas. Se buscará un/a egresado/a de carreras científicas (Ingeniería o Ciencias) con conocimientos en computación, física, matemática y/o teoría de control. Para esto se promocionará el puesto entre los estudiantes de proyecto de grado que supervisen los integrantes del curso, en el curso Taller de Sistemas Ciber Físicos así como en otras carreras del área. La persona a contratar deberá inscribirse en un programa de Maestría y su proyecto de tesis estará enfocado en alguno de los problemas de los fundamentos de los SCFs.

10. Equipos y materiales

10.1. Equipamiento existente

En base a numerosas convocatorias concursables, recursos propios, donaciones y otros medios se han logrado acopiar importantes recursos materiales de investigación, que integran elementos robóticos, de cómputo y de redes, y se describen a continuación.

Se dispone de un área de laboratorios aproximada de 100m² equipada con distintas plataformas robóticas (Butiá, Khepera, Lego NXT), dispositivos de red, impresora 3D, cortadora laser, taladro de banco, caladora a batería, atornilladora a batería y herramientas de laboratorio.

El grupo ha impulsado la infraestructura de investigación Laboratorio Académico de Redes (LAR), en conjunto con otros grupos de la Facultad de Ingeniería. Consiste en cerca de 100 routers de tipo “hogareño con firmware abierto OpenWRT que permite hacer experimentos a escala de algoritmos de enrutamiento, seguridad, redes inalámbricas, entre otros, con topologías de prueba configurables. EL LAR incluye también cinco nodos de cómputo de altas prestaciones: cuatro servidores con dos procesadores AMD de 16 núcleos c/u con 128GB de memoria RAM, y un servidor con dos procesadores Intel de 10 núcleos c/u con 256GB de memoria RAM, con una capacidad de almacenamiento total de 234 TeraBytes.

Se dispone además de un volumen importante de material de redes inalámbricas donado por el Plan Ceibal, que puede permitir expandir el laboratorio mediante enlaces inalámbricos de cientos de

metros a una escala barrial, y en este sentido se podrá utilizar en el proyecto de “campus inteligente”, tal como se mencionó en la Sección 2.

10.2. Equipamiento solicitado

Todo el equipamiento antes indicado responde a material legado de actividades de investigación y desarrollo pasadas. En el caso de los laboratorios robóticos, la mayor parte del equipamiento es para utilizar en interior y será utilizado para experimentación dentro de los laboratorios. El equipamiento robótico solicitado en el marco de este programa será utilizado en exterior (outdoor) requiriendo otras prestaciones como ser movilidad en terrenos irregulares, sensado en exterior y, protección a polvo y agua.

En particular se propone la adquisición de un robot móvil Jackal (desarrollados por Clearpath Robotics) para llevar adelante este proyecto. Las características más importantes de los robots Jackal son las siguientes: se utilizan ampliamente para investigación universitaria, son flexibles, robustos y extensible, y soportan el sistema operativo para robots ROS. ROS es un meta-sistema operativo de código abierto, proporciona abstracción de hardware, control de bajo nivel de dispositivos, pasaje de mensajes entre nodos de software y una gran cantidad de paquetes de software desarrollados. También es importante remarcar que ROS tiene un gran apoyo de una comunidad activa. Disponer de estos robots permitirá también realizar actividades de cooperación con distintos grupos de investigación, internacionales y regionales, en temas de interés común.

11. Resumen de la previsión de asistencia a congresos, realización de pasantías, organización de eventos e invitación de profesores a ser financiadas con una partida adicional

Como parte de la ejecución de este programa se prevé que durante los 4 años del programa un integrante del grupo realice una pasantía en un centro de investigación de relevancia en SCF. Además, se propone organizar la visita de un profesor visitante y en el primer año de 2 profesores para participar de un Workshop en SCFs. Por último, se presupuesta para los 3 últimos años la participación en un congreso internacional de los estudiantes de posgrado.

Año	Actividad	Costo estimado
1	Pasantía	Pasaje \$ 45.000, Viáticos y hospedaje por otros medios.
1	Visita de 2 profesores	Pasaje \$ 90.000, Viáticos \$ 110.000
2	Pasantía	Pasaje \$ 45.000, Viáticos y hospedaje por otros medios.
2	Visita de profesor	Pasaje \$ 45.000, Viáticos \$ 54.000
2	Asistencia a congreso	Pasaje \$ 45.000, Inscripción \$ 30.000
3	Pasantía	Pasaje \$ 45.000, Viáticos y hospedaje por otros medios.
3	Visita de profesor	Pasaje \$ 45.000, Viáticos \$ 54.000
3	Asistencia a congreso	Pasaje \$ 45.000, Inscripción \$ 30.000
4	Pasantía	Pasaje \$ 45.000, Viáticos y hospedaje por otros medios.
4	Visita de profesor	Pasaje \$ 45.000, Viáticos \$ 54.000
4	Asistencia a congreso	Pasaje \$ 45.000, Inscripción \$ 30.000

12. Cronograma general de ejecución

AÑO 1

Actividad	Resultado esperado
Inscripción de Mercedes Marzoa en el Programa de Doctorado del PEDECIBA Informática en cotutela con la Universidad París-Descartes.	Estado del arte completo.
Inscripción al Programa de Doctorado del PEDECIBA Informática de Federico Andrade y Andrés Aguirre.	Estado del arte completo.
Inscripción al Programa de Maestría del PEDECIBA Informática de Guillermo Amorín.	Estado del arte y completar cursos.
Pasantía de larga duración en un laboratorio de referencia en Sistemas Ciber Físicos de uno de los doctores recientes.	Adquisición de conocimientos y experiencias en SCF.
Adquisición de plataforma Jackal e inicio del proyecto de navegación en exteriores.	Estudio y definición de la problemática.
Continúan y finalizan los proyectos con UTE y ANTEL.	Maestría de Leonardo Vidal. Doctorado de Cristina Mayr. Publicaciones en congresos y revistas.
Los investigadores consolidados desarrollan sus líneas de investigación existentes.	Publicaciones en revista (al menos una por año).
Workshop en Fundamentos de SCF. Visita de investigador extranjero.	Problemas abiertos para futuras investigaciones. Posible cotutela de estudiantes de posgrado.
Búsqueda de financiación para proyectos no financiados.	Financiación para proyectos no financiados.

AÑO 2

Actividad	Resultado esperado
Los tres estudiantes continúan con sus estudios de doctorado.	Publicaciones en revista científica de calidad.
Continuación y finalización de estudios de maestría de Guillermo Amorín.	Publicación en congreso y documento de tesis.
Pasantía de larga duración en un laboratorio de referencia en Sistemas Ciber Físicos de uno de los doctores recientes.	Adquisición de conocimientos y experiencias en SCF.
Inscripción al Programa de Maestría del PEDECIBA Informática de nuevo integrante contratado.	Estado del arte y completar cursos.
Continúa proyecto de navegación exterior.	Primeras pruebas y resultados sobre la plataforma Jackal.
Visita de investigador extranjero.	Posible cotutela de estudiantes de posgrado.
Dictado de cursos de grado y posgrado.	

AÑO 3

Actividad	Resultado esperado
Continuación y finalización de estudios de doctorado de Mercedes Manzoa, Federico Andrade y Andrés Aguirre.	Documento de tesis.
Continuación de estudios de maestría del nuevo integrante contratado.	Publicación en congreso.
Continúa proyecto de navegación exterior.	Prototipo de sistema de navegación exterior. Publicación de resultados en revista científica.
Visita de investigador extranjero.	Posible cotutela de estudiantes de posgrado.
Dictado de cursos de grado y posgrado.	

AÑO 4

Actividad	Resultado esperado
Continuación y finalización de maestría del estudiante contratado. Se prevee que pueda continuar el trabajo en el marco de estudios de doctorado.	Documento de tesis.
Visita de investigador extranjero.	Posible cotutela de estudiantes de posgrado.
Dictado de cursos de grado y posgrado.	

13. Beneficios esperados de los resultados

El programa propuesto espera obtener como resultado fundamental la formación de recursos humanos en el área de Sistemas Cíber Físicos. Como se menciona ampliamente, estos sistemas subyacen en una enorme cantidad de soluciones industriales, de transporte, medicina, entre muchas otras disciplinas. Contar con recursos formados en esta área es de gran importancia para el desarrollo académico de la disciplina, y para el país, en la medida que hay recursos humanos para apoyar el crecimiento.

Otro resultado muy importante es que el área es naturalmente multi-disciplinar, y esto se ve en los proyectos actuales, y se va a acentuar con el desarrollo de la línea de fundamentos. Romper los silos de conocimiento contribuye a generar avances significativos, tanto teóricos como aplicados.

Se espera que los diversos proyectos concretos que se desarrollen en el marco del programa obtengan resultados social y económicamente beneficioso para el país y su gente, en particular los proyectos relacionados con el sector productivo.

Nota final: acerca de las referencias⁸

Referencias

- [BVG⁺09] J. Baliosian, J. Visca, E. Grampin, L. Vidal, and M. Giachino. A rule-based distributed system for self-optimization of constrained devices. In *Integrated Network Management, 2009. IM '09. IFIP/IEEE International Symposium on*, pages 41–48, June 2009.
- [BVR⁺11] J. Baliosian, J. Visca, M. Richart, G. Apollonia, L. Vidal, M. Giachino, and E. Grampin. Self-managed content-based routing for opportunistic networks. In *Integrated Network Management (IM), 2011 IFIP/IEEE International Symposium on*, pages 121–128, May 2011.
- [DLV12] Patricia Derler, Edward A Lee, and Alberto Sangiovanni Vincentelli. Modeling cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 100(1):13–28, 2012.
- [KG02] Benjamin C Kuo and Farid Golnaraghi. Automatic control systems. 2002.
- [Lee10] Edward A Lee. Cps foundations. In *Design Automation Conference (DAC), 2010 47th ACM/IEEE*, pages 737–742. IEEE, 2010.
- [pto] The Ptolemy Project. <https://ptolemy.berkeley.edu/index.htm>. Accessed: 2018-05-09.
- [RdNK17] Raj Rajkumar, Dionisio de Niz, and Mark Klein. *Cyber-Physical Systems*. Addison-Wesley Professional, 1st edition, 2017.

⁸Las referencias explícitas de este documento son pocas. EL trabajo del grupo refiere a una enorme cantidad de trabajo de otros investigadores, y muchas de estas referencias se pueden consultar en los trabajos del grupo que se listan a manera indicativa en la Sección 1