

## Tecnologías de Smart IoT y aprendizaje automático para la solución de problemas en el medio productivo

Jorge Osio<sup>1,2</sup>, Juan Salvatore<sup>1</sup>, Mauro Salina<sup>1</sup>, Marcelo Cappelletti<sup>1,2</sup>, Diego Montezanti<sup>1,3</sup>, Nicole Denon<sup>1</sup>, Santiago Doti<sup>1</sup>, Lucas Olivera<sup>1</sup>, Chritian Botta<sup>1</sup>, Matías Busum Fradera<sup>1</sup>, Facundo Chazarreta<sup>1</sup>, Daniel Terceros Quiroz<sup>1</sup>, Diego Encinas<sup>1,3</sup>, Martín Morales<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Programa TICAPPS, Univ. Nac. Arturo Jauretche, Florencio Varela (1888), Argentina.

<sup>2</sup> Grupo de Control Aplicado, Instituto LEICI (UNLP-CONICET), La Plata (1900), Argentina.

<sup>3</sup> Instituto LIDI - Fac. de Informática -UNLP.

<sup>4</sup> Centro UTN CODAPLI-FRLP, La Plata (1900), Argentina.

{josio, mcappelletti, dmontezanti, jsalvatore, mdsalina, dencinas, martin.morales}@unaj.edu.ar

### Resumen

El presente proyecto se basa en la utilización de internet de las cosas (IoT) como herramienta fundamental para proveer soluciones a problemáticas de interés social, como lo es el cuidado del medioambiente y la innovación en el sector productivo, focalizando la investigación en las técnicas de aprendizaje automático, es decir, Smart IoT.

Entre los temas de investigación que se desarrollarán, se incluye el diseño e implementación de técnicas de visión por computadora con el objeto de agregar funcionalidades a dispositivos robóticos, de manera de proveer autonomía para determinadas tareas, con el agregado de control y supervisión remota mediante IoT. En esta línea, también se implementarán técnicas de visión por computadora para la clasificación de residuos reciclables mediante algoritmos de aprendizaje automático. Además, mediante técnicas de aprendizaje profundo y visión por computadora, se propone la clasificación de diferentes condiciones de cielo como consecuencia de la cobertura de nubes, lo cual será de suma utilidad para la optimización de sistemas que aprovechen la energía solar.

En esta propuesta se continúa con algunas líneas de procesamiento digital de imágenes con el agregado de técnicas de aprendizaje automático. Por otro lado, Teniendo en cuenta que las técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas a visión por computadora requieren alto poder de cómputo, se considera necesario investigar la tolerancia a fallos del sistema de

procesamiento utilizado, para asegurar la correcta ejecución de dichos algoritmos.

En la misma línea de Smart IoT, se incluye en la propuesta actual el procesamiento y análisis de datos obtenidos de una red de sensores basada en IoT, lo que permitirá mediante técnicas de aprendizaje automático la implementación de un sistema de ayuda a la toma de decisiones, para optimizar y mejorar el aprovechamiento de los recursos agrícolas.

**Palabras clave:** *Aprendizaje automático, procesamiento de imágenes, Smart IoT, Visión por computadora, tolerancia a fallos en HPC.*

### Contexto

Las líneas de I/D presentadas en este trabajo pertenecen al grupo SIoT&IA y están incluidas dentro del Programa TICAPPS (TIC en aplicaciones de interés social) de la Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), Resolución N° 064/17, bajo la dirección del Dr. Ing. Martín Morales.

### 1. Introducción

En los últimos años ha surgido el concepto de Smart IoT (SIoT), favorecido por las mejoras de los procesadores para sistemas embebidos que los hacen aptos para el entrenamiento y ejecución de algoritmos de aprendizaje automático [1]. Esto permite obtener grandes beneficios cuando los dispositivos almacenan y analizan sus propios datos, de manera que

luego puedan comunicar esos datos a otros dispositivos conectados.

Para explotar las ventajas de las nuevas tecnologías, queda de manifiesto que internet de las cosas inteligentes es necesario para el almacenamiento y uso de grandes cantidades de datos en la nube, por otro lado, el aprendizaje automático permite el entrenamiento de máquinas para la realización de tareas y la visión por computadora permite la manipulación de objetos para automatizar actividades y procesos.

Dentro de la Visión por Computador, la detección de objetos es uno de los temas más candentes. Para entender el problema hay que pensar en cómo queda codificada una imagen digital. En general, para una máquina las imágenes son enormes cajas tridimensionales llenas de valores. Cada píxel (o punto) de la imagen queda representado con tres valores, que modifican su color. Así pues, cuando una máquina busca un objeto dentro de una imagen lo que realmente hace es buscar patrones que se correspondan con el objeto en particular.

Si dotamos a estas herramientas inteligentes con tecnologías como visión 3D, imágenes multiespectrales y lo combinamos con aprendizaje automático, para un análisis de datos más profundo y una predicción de modelos más precisa, conseguiremos una inteligencia artificial que dote de mayor flexibilidad a los equipos electrónicos para la toma de decisiones. De esta manera, se desarrolla la capacidad de configurar un robot a través del aprendizaje en lugar de usar programación prediseñada.

El concepto de internet de las cosas ha adquirido gran relevancia en los últimos años, debido a la posibilidad que ofrece de interconectar objetos entre sí y la conectividad a internet que provee a las redes de objetos [2]. Aunque los sistemas IoT son más conocidos, en los últimos años ha surgido el concepto de Internet de Objetos Inteligentes (SIoT), que promete importantes avances en diferentes áreas de aplicación. Para este tipo de aplicaciones se dispone de un conjunto de protocolos de comunicación e interfaces que se pueden implementar mediante herramientas de sistemas embebidos como las desarrolladas en

[3-5]. Las investigaciones realizadas mediante SIoT se podrán aplicar en el automatismo y monitoreo de procesos, almacenamiento masivo de datos de sensores y dispositivos de cómputo (Big Data).

Respecto al aprendizaje automático [6], una de las áreas en donde se avanzó notablemente es en la de detección de objetos y clasificación de imágenes. Esto se debe en su mayor parte al desarrollo de nuevas técnicas de Machine Learning (Aprendizaje Automático) como el Deep Learning o Aprendizaje Profundo [7], además de las innovaciones en el manejo de Big Data (datos a gran escala) y el aumento en la capacidad de cómputo mediante el uso de diferentes tecnologías como cloud computing (computación en la nube) para el análisis de información. Algunos ejemplos de dichos avances en el área se aplican en: control de vehículos autónomos, detección de rostros, detección de matrículas, diagnóstico de enfermedades, realidad aumentada, etc.

Machine Learning es un subcampo de la IA en el que se utilizan diferentes algoritmos para recolectar datos, y con estos realizar un aprendizaje para luego hacer una predicción o sugerencia sobre algo [8]. De esta manera se permitirá resolver problemas de forma intuitiva y automatizada, sin que el mecanismo de elección se encuentre previamente programado. Por su parte, Deep Learning es un subcampo de Machine Learning, pero existen técnicas de Machine Learning que no utilizan Deep Learning. Este último es utilizado para realizar procesos de Machine Learning empleando redes neuronales artificiales compuestas por varios niveles jerárquicos [7]. En el nivel inicial la red aprende patrones simples, y esta información se envía al siguiente nivel de la jerarquía. Este segundo nivel toma la información obtenida en el primero y la combina con nuevos patrones aprendidos en este, generando información un poco más compleja, la cual es pasada al siguiente nivel, y así sucesivamente. Las técnicas de machine learning y deep learning proveen gran soporte para el diseño de aplicaciones de visión por computadora, es por eso que son parte fundamental de la propuesta.

Por último, teniendo en cuenta que algunos algoritmos serán ejecutados en sistemas de cómputo de altas prestaciones y la complejidad incorporada al implementar sistemas multi-cores, incrementa la vulnerabilidad a los fallos transitorios, estos fallos podrían corromper los resultados de las aplicaciones [9]. El alto costo (en términos temporales y de utilización de recursos) que implica volver a lanzar la ejecución de una aplicación desde el comienzo, en caso de que un fallo transitorio produzca la finalización de la aplicación con resultados incorrectos, justifica la necesidad de desarrollar estrategias específicas para mejorar la confiabilidad y robustez en sistemas de múltiples procesadores [10-12].

### **Aplicaciones**

Entre las aplicaciones que se están desarrollando mediante IoT, procesamiento de datos, imágenes y machine learning se tiene; la detección automática de residuos reciclables, la detección de malezas, técnicas de eficiencia energética, calidad del aire, obtención de magnitudes climatológicas, radiación solar [13], visión artificial aplicada a robótica y la clasificación de diferentes condiciones de cielo.

El reciclado de desechos es considerado de suma importancia para el cuidado del medioambiente, debido a que, supone la reutilización de elementos u objetos ya utilizados, los que de otro modo serían desechados contribuyendo al incremento de la basura y al daño ambiental permanente. Gran parte del problema radica en el esfuerzo que requiere clasificar y separar los residuos inorgánicos, es por eso que en esta línea de investigación se propone desarrollar un sistema basado en redes neuronales artificiales que permita detectar y clasificar los objetos reciclables más comunes como papel, cartón, botellas, latas, etc, y los materiales con los que están hechos (plástico, vidrio, metal, papel) [14].

Respecto a la visión por computadora [15], se está llevando adelante la implementación de un sistema robótico que sea capaz de detectar obstáculos e identificar señales, mediante

procesamiento de imágenes, para dotarlo con capacidades autónomas. Además de un brazo robótico que permite seleccionar objetos previamente identificados mediante visión artificial [16].

Adicionalmente, se ha desarrollado un sistema de control para el sensado de gases y el control automático de iluminación y ventilación, de tal forma de contribuir con la eficiencia energética y calidad del aire y calidad del aire en ambientes cerrados [17].

Por otro lado, se implementó una red de sensores IoT que permiten obtener valores de más de 10 variables climáticas, como presión atmosférica, humedad del suelo, humedad ambiente, temperatura, intensidad lumínica, niveles de dióxido de carbono, entre otras. Lo que permitirá la implementación de un sistema inteligente que logre optimizar las plantaciones de cultivos en la zona.

Finalmente, la cobertura de nubes es un factor que atenúa y ocasiona intermitencia en los valores de la energía proveniente del sol. La aparición de grandes nubes que tapan el disco solar produce cambios repentinos en los valores de la radiación solar. Esta variabilidad provoca que la producción de energía que pueden generar los sistemas que aprovechen esta fuente como recurso energético no sea constante ni totalmente predecible en el tiempo. Sobre este punto, se ha comenzado recientemente el desarrollo de un sistema capaz de clasificar, mediante técnicas de aprendizaje profundo y visión por computadora, diferentes condiciones de cielo como consecuencia de la cobertura de nubes, lo cual será de suma utilidad para sistemas que utilicen la energía solar.

## **2. Líneas de Investigación y Desarrollo**

El grupo de investigación que se ha constituido en la UNAJ es multidisciplinario, y sus miembros cuentan con experiencia en sistemas de cómputo de altas prestaciones, tolerancia a fallo, procesadores embebidos, IoT, aprendizaje automático, y robótica.

En cuanto a la robótica [16], esta línea está en pleno desarrollo y se buscan aplicaciones innovadoras como la detección de objetos para reciclado y la capacidad de detección de señales y obstáculos para el funcionamiento autónomo mediante procesamiento de imágenes [18].

Las líneas de I/D que se presentan en este trabajo están basadas en el estudio y desarrollo de herramientas alternativas para el procesamiento de imágenes a partir de algoritmos de procesamiento, aprendizaje automático y visión por computador.

### **Temas de Estudio e Investigación**

Los datos recopilados de la robótica y de los sensores relacionados con el cultivo pueden suponer grandes cantidades de información dependiendo de los sensores de los que disponga y de la integración con otros sistemas. Esto permitirá conseguir una mayor precisión en los sistemas de Machine Learning y, cuantos más sean los datos útiles con los que alimentemos el modelo, mejor será su aprendizaje y, por ende, sus predicciones.

Los aportes originales no solo tienen que ver con el manejo de la información, sino también con las aplicaciones innovadoras que se le puede dar al aprendizaje automático en visión por computadora y robótica, donde el ejemplo más claro se muestra en la posibilidad de disponer de un sistema de reciclaje automático. También se puede innovar respecto a la visión por computador para conseguir la realización de tareas específicas mediante dispositivos robóticos en procesos particulares de la industria local.

Respecto a la tolerancia a fallos, partiendo del sistema desarrollado previamente, se buscará mejorar la eficiencia en la detección de fallos para que el tiempo demandado por esta tarea sea despreciable respecto al tiempo de procesamiento del algoritmo.

En cuanto al análisis de los datos climáticos en zonas de cultivos, nos permitirá estudiar cuáles de las técnicas de aprendizaje automático logra adecuarse mejor para determinar posibles problemas, y por ende soluciones en cultivos futuros.

Finalmente, se espera poder determinar la atenuación de la radiación solar global, a partir de la clasificación de diferentes condiciones de cielo (despejado, parcial o totalmente nublado) y de variables meteorológicas de sencilla adquisición.

## **3. Resultados y Objetivos**

### **Resultados alcanzados:**

La detección y clasificación de objetos reciclables son líneas de estudio comenzadas recientemente, aunque, ya se cuenta con la implementación de los primeros modelos basados en la arquitectura de redes neuronales convolucionales (CNN). Estos modelos se desarrollaron en un entorno virtualizado obteniendo como resultado tasas de acierto cercanas al 75%.

Por otro lado, se continuaron con las pruebas desarrollando modelos que hacen uso de las técnicas de aprendizaje por transferencia (Transfer Learning), en donde se logró una mejora en los modelos iniciales elevando la tasa de acierto a un 80% para los modelos entrenados desde cero y casi un 92% en modelos basados en Transfer Learning. Además, se espera a lo largo del año realizar pruebas en distintos microcontroladores para comparar resultados.

Respecto a la implementación del sistema Smart IoT, se desarrolló una aplicación en un miniordenador Raspberry Pi 3 Model B+, en donde se hace uso del módulo de la cámara (pi camera) para tomar fotos en tiempo real y realizar la clasificación de dicha imagen determinando que tipo de objeto reciclable se encuentra en ella [14]. Al respecto se está evaluando el porcentaje de acierto y los tiempos de predicción. La captura de la imagen y posterior clasificación arrojó tiempos aproximados a los 10 segundos. Estos se pretenden mejorar usando una Raspberry Pi 4 con 8 GB de RAM.

En cuanto a las aplicaciones en robótica, actualmente se está trabajando con un robot móvil con cámara y un brazo robótico. Respecto al robot móvil, se consiguió

implementar el guiado autónomo mediante detección de líneas en imágenes usando procesamiento en tiempo real, este método tiene problemas en las curvas pronunciadas, por lo que deberá combinarse la técnica con otro algoritmo de control.

Por otra parte, se logró implementar una red sensores basado en IoT que permiten obtener información de magnitudes climatológicas, del estado del suelo y otras con el fin de a partir de la información obtenida generar alertas tempranas que serán enviadas a los usuarios. Esta información permitirá perfeccionar las técnicas de cultivo y optimizar la cosecha. En esta línea de trabajo se espera a lo largo del año realizar mejoras en el sistema tanto a nivel de hardware como de software.

Por último, se debe destacar que, en cuanto a la tolerancia a fallos, se concluyó con los estudios de doctorado del Profesor Montezanti, obteniendo muy buenos resultados en sistemas de cómputo de altas prestaciones. Respecto a esto, se continúa con la línea en el nuevo proyecto de investigación.

### **Objetivos esperados:**

- Promover la generación de conocimiento y el desarrollo de instrumentos que puedan aplicarse en la formación de recursos humanos para investigación.
- Fortalecer la actividad de investigación y vinculación que contribuya a remediar las problemáticas del territorio de influencia de la UNAJ.
- El objetivo principal de esta línea de investigación es desarrollar nuevas técnicas y obtener resultados favorables respecto a la detección de objetos y características del ambiente aplicando técnicas de visión por computadora y aprendizaje automático.
- Realizar el diseño y desarrollo de una metodología que permita tolerar fallos transitorios que se producen en las arquitecturas multicore (sistemas de múltiples procesadores), y que afectan especialmente la ejecución de aplicaciones paralelas de cómputo intensivo.

Se espera contribuir con el cuidado del medio ambiente, a través de la clasificación automática de objetos reciclables y la mejora de la producción agrícola mediante el análisis de variables climáticas a través de diferentes técnicas de Smart IoT.

## **4. Formación de Recursos Humanos**

Uno de los principales objetivos del Programa TICAPPS, dentro de la temática de las líneas de I/D presentadas en este trabajo, es la formación de recursos humanos, tanto de docentes investigadores como de estudiantes. Dentro de la temática de la línea de I+D, todos los miembros del proyecto participan en el dictado de asignaturas de la carrera de Ingeniería Informática de la UNAJ.

En este proyecto existe cooperación a nivel Nacional. Hay dos Doctores en Ingeniería, un Magister, un Especialista, cuatro Doctorandos y un integrante realizando su Maestría en temas relacionados.

Además, hay 3 estudiantes avanzados realizando las PPS de final de carrera en la temática. Actualmente, se encuentran en curso tres Tesis de Doctorado y tres becas de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (Becas EVC – CIN), relacionadas directamente con las líneas de I/D presentadas.

## **5. Bibliografía**

- [1]Mahmut Taha Yazici,Shadi Basurra and Mohamed Medhat Gaber, "Edge Machine Learning: Enabling Smart Internet of Things Applications". School of Computing and Digital Technology, Birmingham City University, Birmingham, UK
- [2]Leila Fatmasari Rahman, "Choosing your IoT Programming Framework: Architectural Aspects", 2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud
- [3] J. Osio, M. Cappelletti , G. Suárez, L. Navarro, F. Ayala, J. Salvatore , D. Alonso ,D.

Encinas, M. Morales, “Diseño de aplicaciones de IoT para la solución de problemas en el medio socio productivo”, UNSJ, San Juan, WICC 2019.

[4] Jorge Rafael Osio, Juan Eduardo Salvatore, Mauro Salina, Diego Miguel Montezanti, Nicole Denon, Santiago Doti, Lucas Olivera, Matías Busum Fradera, Daniel Alonso, Marcelo Angel Cappelletti, Diego Encinas, Martín Morales. “Tecnologías de IoT y aprendizaje automático para la solución de problemas en el medio productivo y el cuidado del medioambiente”. XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021, Chilecito, La Rioja), 2021.

[5] J. Osio, J. Salvatore, D. Alonso, V. Guarepi, M. Cappelletti, M. Joselevich, M. Morales, “Tecnologías de la información y las comunicaciones mediante IoT para la solución de problemas en el medio socio productivo”, UNNE, Ciudad de Corrientes, WICC 2018.

[6] J. Hurwitz, D. Kirsch, “Machine Learning for Dummies”, Ed. Wiley, 2018.

[7] Nikhil Buduma, “Fundamentals of Deep Learning”, Editorial O’reilly. 2017

[8] Aurelien Gerón, “Hands-On Machine Learning with scikit Learn & TensorFlow”, Editorial O’reilly, 2017

[9] D. Montezanti, A. De Giusti, M. Naiouf, J. Villamayor, D. Rexachs, E. Luque, “AMethodology for Soft Errors Detection and Automatic Recovery”, in Proceedings of the 15th International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS). ISBN: 978-1-5386-3250-5/17. IEEE, 2017, pp. 434

[10] J. Osio, J. Salvatore, E. Kunysz, D. Montezanti, D. Alonso, M. Morales, “Análisis de Eficiencia en Arquitecturas Multiprocesador para Aplicaciones de Transmisión y Procesamiento de Datos”, ITBA, CABA, WICC 2017

[11] J. Osio, D Montezanti, E. Kunysz, Morales M., “Análisis de eficiencia y tolerancia a fallo en Arquitecturas Multiprocesador para aplicaciones de procesamiento de datos”, UNNE, Corrientes, WICC 2018.

[12] J. Osio, D Montezanti, E. Kunysz, Morales M., “Determinación de la eficiencia y Estrategias de Tolerancia a Fallos en Arquitecturas Multiprocesador para aplicaciones de procesamiento de datos”, UNSJ, San Juan, WICC 2019.

[13] L Olivera, J Atia, L Amet, J Osio, M Morales, M Cappelletti, Uso de redes neuronales artificiales para la estimación de la radiación solar horaria bajo diferentes condiciones de cielo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 24, 232-243, 2020/12/30

[14] Aprendizaje automático aplicado al procesamiento de imágenes para la clasificación de objetos reciclables M Salina, JR Osio, MA Cappelletti, M Morales. XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)

[15] Ashwin Pajankar, Raspberry Pi Computer Vision Programming Second Edition, (2015).

[16] Mohammad Jamshidi y Patrick J. Eicker, Robotics and remote system for hazardous environments, Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos (1993)

[17] Lo E., Fain F., Osio J., Cappelletti M., Aróztegui W., “Machine learning aplicada a variables ambientales”, VII CONAIISI, 2020.

[18] Wilhelm Burger & Mark J. Burge, “Digital Image Processing”, Second Edition (2008).