

## APRENDIZAJE PROFUNDO EN APLICACIONES BIOMÉDICAS, AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

Lucas Olivera<sup>1,2</sup>, Mauro Salina<sup>1</sup>, Julissa Atía<sup>1,2</sup>, Nicole Denon<sup>1</sup>, Julián Gómez<sup>1</sup>, Jéssica Guzmán<sup>1</sup>, Carlos Schenone<sup>1</sup>, Jorge Osio<sup>1,3</sup>, Marcelo Cappelletti<sup>1,3</sup>, Ramiro Irastorza<sup>1,4</sup>, Martín Morales<sup>1,5</sup>

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

<sup>2</sup> Comisión de Investigaciones Científicas, Pcia. de Bs. As. (CICPBA), La Plata, (1900), Argentina.

<sup>3</sup> Grupo de Control Aplicado, Instituto LEICI (UNLP-CONICET), La Plata (1900), Argentina.

<sup>4</sup> Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos (CONICET), La Plata (1900), Argentina.

<sup>5</sup> Centro UTN CODAPLI-FRLP, La Plata (1900), Argentina.

e-mail: [lolivera.unaj@gmail.com](mailto:lolivera.unaj@gmail.com)

### Resumen

Las líneas de Investigación y Desarrollo aquí presentadas tienen como objetivo general el de generar conocimiento en cuanto a las nuevas herramientas de las Tecnologías de la Información y la Comunicación para una innovación tecnológica de avanzada aplicadas a la mejora de la calidad de vida. Conjuntamente, se propicia la formación de recursos humanos, tanto de docentes investigadores como de estudiantes, dedicados a entrenarse al máximo nivel en el campo de la Inteligencia Artificial, en particular, en el procesamiento de imágenes mediante técnicas de Aprendizaje Profundo, propendiendo al desarrollo de soluciones innovadoras y de calidad. Específicamente, las líneas de investigación que se describen en este trabajo son: - la evaluación de la salud ósea, lo cual involucra problemas inversos en imágenes de microondas; - la detección e identificación de diversas malezas que pueden afectar a la producción de cultivos de la región; - la detección y clasificación de objetos reciclables con el fin de contribuir con el cuidado del medio ambiente; - 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 como recurso energético.

**Palabras clave:** *Aprendizaje profundo, procesamiento de imágenes, aplicaciones.*

### Contexto

Las líneas de I/D presentadas en este trabajo 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

El concepto de Inteligencia Artificial (IA) se aplica a cualquier técnica que permita a las computadoras imitar la inteligencia humana a través de expresiones lógicas y esquemas abstractos [1]. Estas técnicas pueden ser utilizadas para modelar, identificar, optimizar, predecir y controlar el comportamiento dinámico de diferentes sistemas reales. Una de las áreas en donde se avanzó notablemente fue en la de detección de objetos y clasificación de imágenes. Esto se debe en su mayor parte al desarrollo de nuevas técnicas tanto de Machine Learning (Aprendizaje Automático) como de Deep Learning (Aprendizaje Profundo), 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) o el uso de GPU (Unidad de Procesamiento Gráfico) para el análisis de información. Este avance puede verse en distintas áreas como: medicina, seguridad, turismo, finanzas, robótica, entre otras. 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.

A continuación, se presenta un breve marco teórico de cada una de las áreas de estudio investigadas.

### **Evaluación de la salud ósea:**

La técnica de tomografía por microondas para obtener imágenes médicas ha despertado un gran interés en la última década, especialmente en aplicaciones de evaluación no invasiva y no ionizante de tejidos [2]. La aplicación que tiene mayor desarrollo en la actualidad es la de evaluación de cáncer de mama. Existen otras aplicaciones tales como la detección de accidentes cerebro vasculares y la evaluación de salud ósea [3]. La idea básica es “iluminar” el tejido con radiación electromagnética en microondas (frecuencias entre 100 MHz y 2 GHz de baja potencia) por medio de antenas emisoras. Estas antenas pueden funcionar también como receptoras, de este modo, el campo eléctrico dispersado es registrado en las mismas y luego mediante algoritmos de reconstrucción tomográfica se construye un mapa de las permitividades y conductividades de los tejidos evaluados resolviendo el denominado problema inverso. En tejidos óseos, esta tecnología se encuentra en reciente surgimiento y será la aplicación en que se enfocará esta línea de I/D. En los últimos años se han desarrollado muchos métodos estocásticos para la resolución del problema inverso, en particular, la utilización de redes neuronales ha tomado gran preponderancia [4].

### **Detección de malezas en cultivos de la región:**

El área de influencia de la UNAJ posee extensas zonas rurales, que cuentan con pequeños, medianos y grandes productores hortícolas, basados fundamentalmente en los cultivos intensivos, donde se busca maximizar la producción en espacios reducidos, utilizando un solo tipo de producto. Los cultivos pueden ser afectados por diferentes amenazas, como por ejemplo las plagas,

inundaciones, incendios, animales silvestres, entre otras. En particular, esta línea de investigación propone el uso de procesamiento de imágenes utilizando redes neuronales para la detección, reconocimiento y clasificación de una amenaza específica, como lo son las diversas malezas que pueden afectar a la producción y a los procesos de cosecha, ya que en algunos casos esto es un impedimento para acceder a los propios cultivos. Existe una gran diversidad de malezas que aparecen dependiendo principalmente de la zona geográfica y de la estación del año. La aparición de estos yuyos viene acompañada con la resistencia a herbicidas y la dificultad para controlarlos. En Argentina, actualmente existen 15 malezas registradas como resistentes a herbicidas (glisofato) según un listado del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [5]. Por lo tanto, es importante detectar rápidamente la manifestación de estas hierbas malas, para evitar su propagación y reducir su banco de semillas. Por ejemplo, a finales del año 2019 en la provincia de Córdoba el yuyo colorado ocupaba 18.2 millones de hectáreas, este número es mayor a las hectáreas de cultivo de soja y maíz. Entre las malezas que se proponen identificar se encuentran el yuyo colorado, la rama negra y la roseta. Las dos primeras son comunes en las plantaciones de soja, uno de los cultivos que más se produce en el país, mientras que la tercer maleza es común en huertas y tiene la característica de ser “muy molesta” debido a que sus flores tienen pequeñas púas, lo que hace que en algunas regiones también perjudique al turismo.

### **Reciclado de objetos:**

El reciclado de desechos es considerado de suma importancia para el cuidado del medioambiente en toda sociedad, debido a que, supone la reutilización de elementos u objetos ya utilizados, los que de otro modo serían desechados contribuyendo al aumento de la formación de basura y al daño ambiental permanente. En nuestro país, aunque se han

tomado medidas para fomentar el reciclado, solo un 24% de la población se esfuerza por separar los residuos para minimizar su generación y la contaminación. 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), para minimizar la cantidad de residuos que se generan diariamente en las zonas urbanas. De esta manera se pretende contribuir no solo al cuidado del medio ambiente, sin la intervención del usuario, sino también a generar conciencia en la población en relación con el reciclado y su importancia para reducir la contaminación.

#### **Estimación de la radiación solar:**

La energía solar constituye una fuente limpia y renovable con bajo impacto ambiental, disponibilidad en el sitio de consumo y sostenibilidad, la cual se presenta como uno de los recursos más importantes tendiente a sustituir las fuentes de energía no renovables (carbón, petróleo, gas natural), reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y proteger nuestro medio ambiente. El conocimiento preciso de la radiación solar en un determinado instante y lugar es un factor clave para la evaluación y dimensionamiento óptimo de sistemas con diferentes principios de operación, como los sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad y los colectores solares para el calentamiento de fluidos. A su vez, la radiación solar es un recurso fundamental en el diseño arquitectónico y en la agricultura.

El problema que se presenta es que no siempre es posible contar con datos experimentales de la radiación solar en los lugares de interés. A su vez, 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, o bien los cambios repentinos en el tipo de nubosidad (por ejemplo, nube opaca y gruesa en otra nube más tenue y fina, o la división de una nube grande en numerosas nubes de pequeño tamaño), producen 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, lo cual es una desventaja con respecto a los combustibles fósiles. Gracias al crecimiento de las capacidades de cálculo y al mejoramiento de los algoritmos implementados, en los últimos años se han comenzado a utilizar técnicas basadas en redes neuronales artificiales, como una buena alternativa para la estimación de la radiación solar con el mínimo error [6-8].

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

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 redes neuronales, que presenten alto rendimiento en la precisión de los resultados, con un bajo costo de cómputo, facilidad de implementación y buena velocidad de convergencia. Las herramientas desarrolladas serán aplicadas para:

- (a) la evaluación de la calidad ósea, a través de la resolución del problema inverso en Tomografía de Microondas.
- (b) la detección e identificación de malezas, las cuales pueden afectar a la producción de los cultivos intensivos de la región.
- (c) la detección y clasificación de objetos reciclables, con el fin de contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- (d) 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 como recurso energético.

### 3. Resultados y Objetivos

#### Resultados alcanzados:

La detección y clasificación de: malezas en cultivos; objetos reciclables; y diferentes condiciones de cielo, son líneas de estudio comenzadas recientemente.

Mientras que con respecto a la línea de investigación relacionada con la evaluación de la salud ósea, en el grupo se posee experiencia en el estudio de las propiedades dieléctricas de tejido óseo. En [9], estudiamos las propiedades dieléctricas de hueso trabecular humano en estado fisiológico *in vitro*. Uno de los resultados más llamativos fue la obtención de correlaciones negativas ( $R \approx -0,8$ ) entre la permitividad y la relación volumen óseo / volumen total (BV/TV) para frecuencias entre 700 MHz y 1200 MHz ( $p < 0,05$ ). En el trabajo reciente [10], se aplicaron las técnicas de diferencias finitas (FDTD) para la discretización de las ecuaciones de Maxwell y se simuló imágenes microtomográficas de tejido óseo trabecular en dos dimensiones. Se encontró que las propiedades dieléctricas efectivas podrían ser buenos predictores de la microestructura ósea trabecular. Más recientemente, estudiamos la sensibilidad del problema directo variando las propiedades del tejido óseo y de los tejidos circundantes en una potencial aplicación en el tobillo [11]. También se estudió el problema inverso utilizando algoritmos que se encuadran dentro de la estimación estocástica sin información de fase. Se utilizaron RNA para la evaluación de cilindros homogéneos y no homogéneos en dos dimensiones [12]. Por otro lado, también sin información de fase, se evaluó una potencial aplicación en tobillo (para determinación de salud ósea en el calcáneo) utilizando redes neuronales para resolver el problema inverso [13]. En este último caso, el modelo simplificado estimado

implicaba la estimación del centroide del calcáneo y un radio equivalente (considerándolo un cilindro), actualmente se propone estimar la geometría real.

#### Objetivos esperados:

Se espera aportar nuevos conocimientos relacionados con la evaluación de la salud ósea de manera no ionizante, a través de la reconstrucción de imágenes de microondas de modelos realistas de tobillo y/o muñeca humanos.

Se espera proporcionar información útil y contribuir a optimizar la producción de los cultivos intensivos, a partir de la detección, reconocimiento y clasificación de diferentes malezas, que pueden ser un impedimento para acceder a los cultivos, afectando a la producción de estos y a los procesos de cosecha.

Se espera contribuir con el cuidado del medio ambiente, a través de la detección, reconocimiento y clasificación de objetos reciclables, lo cual ayudará de manera significativa a la reutilización de elementos u objetos ya utilizados.

Se pretende 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, lo cual podrá proporcionar información sumamente útil para adaptar la producción de energía a la presencia de nubes, logrando así una optimización de la respuesta de los sistemas que hagan un aprovechamiento de la energía solar.

### 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, dedicados a entrenarse al máximo nivel en el campo de la Inteligencia Artificial, en

particular, en el procesamiento de imágenes mediante técnicas de Machine Learning como redes neuronales artificiales, propendiendo al desarrollo de soluciones innovadoras y de calidad, lo cual es de una relevancia evidente para el desarrollo tecnológico del territorio de la UNAJ.

El equipo de trabajo de las líneas de I/D que se presentan está conformado por cuatro docentes investigadores formados (tres Doctores y un Magister), cuatro docentes investigadores en formación, y tres estudiantes avanzados, todos autores de este artículo. Actualmente, se encuentran en curso tres Tesis de Doctorado y una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (Becas EVC – CIN), relacionadas directamente con las líneas de I/D presentadas.

A su vez, todos los miembros docentes autores de este trabajo, participan en el dictado de asignaturas de la carrera de Ingeniería Informática de la UNAJ.

## 5. Bibliografía

- [1] N. Nilsson. “Principles of Artificial Intelligence”, Springer-Verlag, New York (1980).
- [2] M. Pastorino. “Microwave imaging”. John Wiley & Sons, (2010).
- [3] P.M. Meaney et al. “Clinical microwave tomographic imaging of the calcaneus: A first-in-human case study of two subjects”. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 59 (12), pp.3304-3313, (2012). DOI: 10.1109/TBME.2012.2209202
- [4] L. Li et al.. “DeepNIS: Deep neural network for nonlinear electromagnetic inverse scattering”. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 67 (3), pp.1819-1825, (2019). DOI: 10.1109/TAP.2018.2885437
- [5] Listado de malezas resistentes en Argentina <http://www.senasa.gob.ar/casos-confirmados-de-malezas-resistentes-en-argentina>
- [6] Z. Pang, F. Niu, Z. O’Neill. “Solar radiation prediction using recurrent neural network and artificial neural network: A case study with comparisons”. *Renewable Energy*. Vol. 156. 279–289, (2020). DOI: [doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.042](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.042)
- [7] V. Çoban, S. Onar. In: Kahraman C. et al., “Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making”. *INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1029. Springer, (2020).
- [8] P. Neelamegam, V. Amirtham. “Prediction of solar radiation for solar systems by using ANN models with different back propagation algorithms”. *Journal of Applied Research and Technology* Vol. 14. 206–214, (2016). DOI: [doi.org/10.1016/j.jart.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.05.001)
- [9] R.M. Irastorza, E. Blangino, C.M. Carlevaro, F. Vericat. “Modeling of the dielectric properties of trabecular bone samples at microwave frequency”. *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 52, pp.439-447, (2014). DOI: [doi.org/10.1007/s11517-014-1145-y](https://doi.org/10.1007/s11517-014-1145-y)
- [10] R.M. Irastorza, C.M. Carlevaro, F. Vericat. “Is there any information on micro-structure in microwave tomography of bone tissue?”. *Medical Engineering & Physics*, Vol. 358, pp.1173-1180, (2013). DOI: [doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.12.014](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.12.014)
- [11] J.E. Fajardo, F. Vericat, G. Irastorza, C.M. Carlevaro, R.M. Irastorza. “Sensitivity analysis on imaging the calcaneus using microwaves”. *Biomedical Physics & Engineering Express*, Vol. 5 (4), pp.045039, (2019). DOI: [doi.org/10.1088/2057-1976/ab3330](https://doi.org/10.1088/2057-1976/ab3330)
- [12] J.E. Fajardo, J. Galván, F. Vericat, C.M. Carlevaro, R.M. Irastorza, “Phaseless Microwave Imaging of Dielectric Cylinders: an Artificial Neural Networks-Based Approach”, *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 166, pp.95-105, (2019). DOI: [10.2528/PIER19080610](https://doi.org/10.2528/PIER19080610)
- [13] J.E. Fajardo, F.P. Lotto, F. Vericat, C.M. Carlevaro, R.M. Irastorza, “Microwave tomography with phaseless data on the calcaneus by means of artificial neural networks”, *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 58 (2), pp.433-442, (2020). DOI: [10.1007/s11517-019-02090-y](https://doi.org/10.1007/s11517-019-02090-y)