

# RNA-AP: Redes Neurales Artificiales con Aprendizaje Profundo

Juan C. Vázquez<sup>1</sup>, Leticia Constable<sup>1</sup>

Depto. de Ingeniería en Sistemas de Información / Facultad Regional Córdoba / Universidad Tecnológica Nacional

<sup>1</sup>{jcjvazquez, leticiaconstable}@gmail.com

## RESUMEN

Este proyecto se adentrará en las técnicas de aprendizaje profundo (*Deep Learning*) de redes neurales artificiales, que en los últimos años ha producido importantes avances en la Inteligencia Artificial a nivel mundial. El aprendizaje profundo ha tenido alto y positivo impacto en aplicaciones de reconocimiento de imágenes, pero también ha tenido resonantes fracasos debido a que no se entiende con claridad su funcionamiento interno. El proyecto intentará, por un lado obtener el conocimiento necesario para desarrollar software de experimentación y aplicación, y por otro, entender la teoría subyacente, el por qué esta técnica funciona mejor que las anteriores, cuáles son sus bondades y limitaciones, en qué campos es aplicable y en cuáles no, y en lo posible, hacer algún aporte significativo a la teoría.

**Palabras clave:** redes neurales artificiales, aprendizaje profundo, aplicaciones.

## CONTEXTO

El proyecto es parte del recientemente conformado Grupo GA<sup>2</sup>LA (Grupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Aprendizaje Automático, Lenguajes y Autómatas) de la Facultad Córdoba de la UTN.

Desde el año 2004, en el Laboratorio de Investigación de Software del Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, sede de GA<sup>2</sup>LA, se ha desarrollado una secuencia de proyectos sobre redes neurales artificiales que han generado productos y aplicaciones que han sido transferidos (muchos de ellos en cooperación con investigadores de CONICET) a numerosos centros de investigación en diversas locaciones en América Latina, a empresas comerciales y a gobiernos municipi-

pales de Argentina y Brasil. En estos proyectos se han utilizado redes neurales artificiales de perceptrones multicapa con entrenamiento por retropropagación de errores, con aplicaciones a las ciencias sociales, a los negocios y a la ingeniería de software.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial como rama de estudio dentro de la Informática, ha buscado desde sus orígenes lograr un comportamiento inteligente de las computadoras mediante gran cantidad de métodos y técnicas que pueden englobarse básicamente en dos estrategias principales:

- a) El llamado *enfoque simbólico*, intenta emular la forma en la cual se cree que las personas piensan, utilizando diversas versiones de la Lógica (proposicional, de predicados, rebatible, modal, temporal, difusa, etc.) para especificar hechos y relaciones causales entre ellos, que representen la realidad en un dominio determinado. Luego, a través procesos de inferencia con rígida justificación formal, que usen razonamiento deductivo (monótono o no monótono) y/o inductivo, se puede interrogar al modelo del mundo así generado, para obtener *respuestas inteligentes* a los problemas planteados. Básicamente este abordaje supone que la *inteligencia* surge de extensas bases de conocimiento y razonamientos que las utilizan. Los sistemas expertos son productos típicos generados por este enfoque.
- b) La segunda estrategia suele denominarse *enfoque sub-simbólico*; aquí se engloban gran cantidad de teorías, modelos, técnicas y herramientas que emulan la forma en que la naturaleza ha resuelto a lo largo de milenios los problemas naturales, ya sea si-

mulando su método de *selección natural* (computación evolucionaria, autómatas celulares, programación evolutiva, algoritmos genéticos y otros) o modelando matemática y computacionalmente sus soluciones más relevantes (sistemas conexionistas, sistemas inmunológicos, estrategias de enjambre, etc.).

Una de las ventajas del enfoque simbólico es que puede explicar cómo arriba a sus conclusiones, lo que en algunos dominios como la medicina es de fundamental importancia para que los usuarios adopten como buenas las soluciones logradas y confíen en ellas.

Dentro del enfoque sub-simbólico, destacan los sistemas conexionistas que emulan la arquitectura del sistema nervioso de los animales, y en particular, de su órgano principal: el cerebro; una inmensa cantidad de unidades simples de procesamiento de señales (las neuronas) intrincadamente conectadas enviándose mensajes y colaborando para soportar el pensamiento. Cabe aclarar aquí, que los modelos matemáticos de las redes neuronales que componen el cerebro y sus partes, son una metáfora muy simplificada del complicadísimo mecanismo biológico real, el cual aún no termina de comprenderse por completo. Se piensa bajo este esquema, que la *inteligencia* es una *característica emergente* de esta complejidad extrema puesta a funcionar.

Los modelos de redes neurales artificiales (RNA) y las técnicas asociadas, se engloban actualmente en lo que ha dado en llamarse **aprendizaje automático** (*machine-learning* en inglés) e intervienen en muchos dispositivos y procesos usuales de la sociedad moderna (búsquedas de Internet, teléfonos inteligentes, traducción automática de lenguaje escrito y hablado, filtrado de contenidos en redes sociales, reconocimiento de imágenes y su clasificación, por nombrar solo algunos).

El interés por las RNA en la Inteligencia Artificial, ha pasado históricamente por tres etapas distintas:

1) La primera ola inicia en a fines de la década de 1950 con la presentación del “perceptron” por Rosenblat, un modelo de red

de dos capas de neuronas del tipo McCulloch-Pitts, que se desempeña como clasificadora de patrones simples.

2) La segunda comienza en 1982 con las redes autoasociativas de Hopfield, utilizando aprendizaje hebbiano, y por la propuesta de un algoritmo general de aprendizaje (Rumelhart-1986) sobre redes multicapa de perceptrones con propagación unidireccional: la retropropagación de errores (*back-propagation* en inglés); intensa actividad de investigación y desarrollo siguen a estas propuestas, generándose gran cantidad de modelos distintos de neuronas, arquitecturas de conexionado y métodos de funcionamiento, con aplicaciones más o menos destacadas.

3) La tercera ola, en la cual la comunidad IA considera que actualmente nos encontramos, surge de estudios realizados por Hinton y su equipo publicados en 2006 en la revista *Science*, sobre una jerarquía de representaciones de datos (desde las de más bajo nivel morfológico, hasta abstracciones de mayores niveles) logradas a través de *autocodificadores*, que aportan luz sobre cómo están haciendo su trabajo las RNA durante un proceso de reconocimiento de imágenes, y que mejoran el comportamiento del algoritmo de retropropagación de errores enormemente. Estos hallazgos dan nacimiento al **aprendizaje profundo** (*Deep Learning* en inglés), que se consolida como tecnología emergente en el campo de las redes neurales artificiales con una serie de trabajos del mismo Hinton (hoy en Google) y de LeCun (hoy en Facebook) que les valen numerosos premios en competiciones de IA a nivel mundial, desde finales de 2010.

A partir de aquí los avances en los últimos pocos años son tan rápidos, y los éxitos obtenidos en igualar capacidades reservadas hasta ahora solo a los humanos son tan impresionantes, que empresas como Google, Microsoft, Facebook y otras han iniciado programas de investigación a gran escala y desarrollo de aplicaciones, bajo este nuevo paradigma de aprendizaje profundo. Incluso hace no mucho, Google ha hecho de dominio

público una librería de software (*Tensor-Flow*), para implementar redes neurales con aprendizaje profundo.

En la Facultad Córdoba de la UTN, iniciamos en 2004 un proyecto sobre el estudio de relaciones que suponíamos debían existir entre el funcionamiento del algoritmo de aprendizaje por retropropagación de errores en redes neurales multicapa de perceptrones, y la evolución espacio-temporal de los autómatas celulares unidimensionales; también se ensayaron redes de Hopfield siguiendo la evolución de los patrones de activación de sus elementos durante su reconocimiento de caracteres. El proyecto 25/E078 tuvo moderado éxito, como resulta del informe técnico presentado en 2005, ya que se encontró la relación buscada sólo durante el entrenamiento de un tipo particular de problemas de conversión de números entre bases numéricas, bajo una codificación de las seis ideadas, de la evolución sufrida por los pesos sinápticos durante el aprendizaje de la red.

El conocimiento logrado durante este proyecto y el software desarrollado, propició la generación de una línea de investigación que se consolidó con el desarrollo de nuevos proyectos siguiendo los temas planteados (proyectos 25/E128 y 25/E174) y sobre nuevas temáticas y aplicaciones de las RNA y de técnicas asociadas (prevención de incendios forestales en la provincia de Córdoba, cálculo del índice de riesgo para la salud de la vivienda urbana, determinación de implicaciones textuales dentro de documentos escritos, y otros).

Asimismo se establecieron convenios de cooperación con el Instituto de Investigaciones Geo-Históricas de CONICET, con grupos de otras universidades y con centros de I+D; se desarrollaron entrenadores de redes neuronales y redes ya entrenadas para su aplicación en ciencias sociales y en la industria local de software, desarrollos que fueron documentados, se obtuvo sobre ellos derechos de autor y se transfirieron a empresas, centros de investigación en Argentina, Brasil, Paraguay, Cuba, Colombia y a gobiernos municipales de Argentina y

Brasil para su aplicación. También los proyectos sirvieron de base para la concreción de tesis de grado de becarios alumnos, para la introducción a la investigación de becarios graduados, y se generaron ideas sobre tesis de especialidad, maestría y doctorado, algunas de las cuales ya finalizaron exitosamente y otras que aún están en desarrollo.

Todo esto se concretó “*montados en la segunda ola*” de interés de la Inteligencia Artificial sobre las redes neurales artificiales.

## **2. LINEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

El grupo GA<sup>2</sup>LAtiene como ejes para su funcionamiento líneas de investigación, a saber:

- Autómatas y Lenguajes Formales
- Procesamiento de Lenguaje Natural
- Aprendizaje Automático

El proyecto presentado aquí enmarca en la tercera línea de I+D.

## **3. RESULTADOS OBTENIDOS / ESPERADOS**

A la luz de los avances y éxitos de las nuevas técnicas de aprendizaje profundo ya comentadas, en el presente proyecto queremos indagar sobre los conceptos y herramientas que están dando lugar a la tercera ola de interés sobre las RNA, lograr conocimiento teórico-práctico sobre el tema y desarrollar software que lo implemente, con distintos objetivos a saber:

- a) Académicos: la temática es interesante por sí misma y está relacionada directamente con las cátedras de Inteligencia Artificial de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información y con la de Análisis Numérico y Cálculo Avanzado de la carrera de Ingeniería Industrial; además se relaciona indirectamente con temáticas de las cátedras de Sintaxis y Semántica del Lenguaje, de Matemática Discreta y de Análisis Matemático. Los integrantes del equipo de investigación propuesto participamos en algunas de estas cátedras.
- b) Investigación: se pretende actualizar el conocimiento que ya tenemos sobre redes

neurales y entender los fundamentos de las técnicas agrupadas en el aprendizaje profundo, y la forma de aplicarlos.

- c) Transferencias: en anteriores proyectos se han desarrollado productos de redes neurales artificiales tradicionales, que han sido transferidos; los usuarios están actualmente solicitando actualizaciones, modificaciones y capacitación sobre estos productos para producir mejoras, internacionalizarlos y adaptarlos a nuevas aplicaciones reales. Por otro lado, otros proyectos actualmente en desarrollo en nuestra unidad académica que usan redes neurales tradicionales (dirigidos por anteriores becarios e integrantes de nuestros anteriores proyectos), colaborarán con el presente y serán también receptores de estos nuevos conocimientos y herramientas desarrolladas.

Con estos objetivos en mente, el proyecto intentará:

- Obtener conocimiento sobre las técnicas de aprendizaje profundo: sobre sus fundamentos, sobre qué tipos de arquitecturas de redes neurales son aplicables, qué modelos de neuronas y funciones de activación utilizan, para qué tipo de tareas son útiles y para cuales no lo son, y cómo funcionan los algoritmos de aprendizaje por retropropagación de errores en cascadas de autocodificadores u otros modelos sugeridos para su implementación.
- Identificar y comprender el significado de la *jerarquía de representaciones de datos* que obtiene el aprendizaje profundo, cómo funciona el proceso de extracción de características no supervisada de los datos (desde las de más bajo nivel en las primeras capas de las redes, hasta las abstracciones de más alto nivel en las superiores) que sustentan esa jerarquía y la forma de visualizarlas.
- Desarrollar software que implemente el aprendizaje profundo para problemas diseñados de testeo y establecer cómo determinar su efectividad y la de sus posibles alternativas, para comparación.
- Generar software de entrenamiento de redes neurales artificiales con aprendizaje profundo de propósito general y especiali-

zarlo, de ser posible, para el caso particular de la metodología DRVS del IIGHI-UNNE-CONICET y desarrollar un módulo de producción RVS con las redes ya entrenadas, para actualizar las transferencias realizadas.

## 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Se prevé tener durante el transcurso del proyecto becarios alumnos de grado, prácticas supervisadas de alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información y eventualmente becarios graduados. Sobre los becarios alumnos, se hará un seguimiento de su desempeño académico tratando de apoyarlos en su carrera y asegurando que el proyecto no influya negativamente sobre la misma.

El proyecto será ofrecido a la Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Córdoba de UTN y al Doctorado en Ingeniería en Sistemas de Información, para servir de asiento de posibles tesis. El profesor Juan Giró, integrante consultor del proyecto, es docente de la Maestría citada.

Se prevé para todos los integrantes, efectuar capacitación interna respecto de los temas bajo investigación y se procurarán becas para los mismos, para que anualmente puedan acceder al menos a un curso de posgrado.

Es intención del proyecto, generar ideas para una nueva tesis de doctorado en Ingeniería en Sistemas de Información que tiene intenciones de desarrollar la Ing. Constable. Por otro lado, se prevé que la temática de investigación impulse la culminación de la tesis doctoral en curso del Ing. Arcidiácono sobre reconocimiento de imágenes (*Reconocimiento e Identificación de Patrones Morfológicos de Fibra Textil mediante un algoritmo de Memoria Jerárquica Temporal*) y de la tesis de maestría, también en curso, del Esp. Ing. Gualpa sobre ingeniería de software (*La planificación de entregas (release planning) en proyectos de desarrollo y mantenimiento de software, soportada por*

métodos cuantitativos multicriterio para la toma de decisiones).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson J. (2007), *Redes Neuronales*, Alfaomega Grupo Editor, D.F., México.
2. Araujo B. (2006), *Aprendizaje Automático: conceptos básicos y avanzados*, Pearson, Madrid, España.
3. Del Brío M., Sanz Molina A. (2006), *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*, Ra-Ma., Zaragoza, España.
4. Deolalikar V. (2002), *A Two-Layer Paradigm Capable of Forming Arbitrary Decision Regions in Input Space*, IEEE Transactions on Neural Network, Vol. 13, #1, pp. 15-21.
5. Hinton G., Salakhutdinov R. (2006), *Reducing the Dimensionality of Data with Neural Network*, Science, Vol. 313, pp. 504-507.
6. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. (2017), *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Network*, Communications of ACM, June 2017, Vol. 60 – Nr 6 – pp. 84-90, U.S.A.
7. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. (2015), *Deep Learning*, Nature, Vol. 521, pp. 436-444.
8. LeCun Y., Botton L., Genevieve B., Müller K. (1998), *Efficient BackProp*, en *Neural Network: tricks of the trade*, Springer, Berlin, Germany.
9. Rojas, Meichtry, Ciuffolini, Vazquez, Castillo (2008), *Repensando de manera holística el riesgo de la vivienda urbana precaria para la salud: un análisis del enfoque de la vulnerabilidad sociodemográfica*, Revista Salud Colectiva, Vol. 4 / Nro. 2, Buenos Aires, Universidad Nacional de Lanús y Asociación Civil Salud Colectiva Centro de Estudios para la Salud.
10. Rumelhart D. y McClelland J. (1986), *Parallel Distributed Processing*, Vol. 1: *Foundations*, MIT Press.
11. Tang J., Deng C. y Huang G., *Extreme Machine Learning for Multilayer Perceptron*, IEEE Transaction on Neural Network and Learning Systems, Vol. 27, Nr. 4, pp. 809-821, April-2016, IEEE.
12. Vázquez, J.C. (2009), *Unificación de Modelos Evolutivos*, Congreso de Inteligencia Computacional Aplicada, Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina.
13. Castillo, J., Cardenas, M., Medel, R., Casco, O., Navarro, M. & Gutierrez, S. "SISTEMA PARA PREDICCIÓN DE INCENDIOS APLICADO A LA PROVINCIA DE CÓRDOBA". (2016). XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, WICC 2016, Entre Ríos, Argentina.
14. Juan C. Vázquez, Julio Javier Castillo, Marina E. Cardenas, María del Carmen Rojas. "Modelo Computacional empleando Redes Neuronales Artificiales para la estimación del Riesgo para la Salud de la Vivienda Urbana". WICC 2011 – XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Mayo de 2011. Fecha: 5 Y 6 DE MAYO DE 2011 Rosario, SANTA FE, ARGENTINA.