

## Utilización de técnicas subsimbólicas de la inteligencia artificial para la generación de energías limpias

D. Martín Morales<sup>1,2</sup>, Marcelo A. Cappelletti<sup>1,3</sup>,  
Waldo Hasperué<sup>1,4</sup>, Leandro J. Charlier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería y Agronomía,  
Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ)

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (UTN, FRLP)

<sup>3</sup>Grupo de Estudio de Materiales y Dispositivos Electrónicos (GEMyDE) -  
Fac. Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

<sup>4</sup>Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) – Fac. Informática, UNLP

[martin.morales@unaj.edu.ar](mailto:martin.morales@unaj.edu.ar), [mcappelletti@unaj.edu.ar](mailto:mcappelletti@unaj.edu.ar),  
[whasperue@unaj.edu.ar](mailto:whasperue@unaj.edu.ar), [leandrocharlier@gmail.com](mailto:leandrocharlier@gmail.com)

### Resumen

La polución ambiental acumulada durante las últimas décadas sumado a la constante disminución de los recursos naturales de fuentes de energía no renovables, hacen que la conversión de energía sea uno de los problemas más importantes a resolver a nivel mundial. Sobre este punto, la línea de investigación que se presenta se basa en la utilización de técnicas de inteligencia artificial subsimbólica para el estudio de sistemas físicos relacionados con aplicaciones ambientales para la generación de energías limpias. En particular, se propone el estudio de celdas solares multijunturas para aplicaciones terrestres y espaciales, con el propósito de obtener diseños óptimos de estos dispositivos con una relación costo-eficiencia por encima de las obtenidas actualmente. Estos dispositivos constituyen una de las tecnologías más prometedoras para generar energía de forma no contaminante

y eficiente para aplicaciones domésticas, industriales y en vehículos espaciales.

La utilización de técnicas subsimbólicas de la inteligencia artificial como instrumentos de cálculo y análisis, posibilita reproducir resultados experimentales, realizar estudios sobre sistemas, procesos, propiedades o parámetros físicos difíciles de medir de manera experimental, permitiendo reducir los tiempos y los costos de los ensayos.

**Palabras clave:** *Inteligencia artificial subsimbólica. Celdas solares multijunturas. Modelización. Simulación. Diseño y optimización.*

### Contexto

Se presenta una línea de Investigación que es parte del Proyecto de Investigación Orientado PIO CONICET-UNAJ 2015-2016, denominado “Utilización de

métodos numéricos y de técnicas subsimbólicas de la inteligencia artificial para la generación de energías limpias y la evaluación de la salud ósea”, de la Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ). Se trata de un proyecto que se encuentra en su etapa inicial y cuenta con financiamiento de CONICET.

El proyecto tiene como objetivo el estudio de sistemas físicos relacionados con aplicaciones ambientales para la generación de energías limpias y con aplicaciones biomédicas para la evaluación de la salud ósea. Estos sistemas representan un gran impacto en el desarrollo tecnológico y en la mejora de la calidad de vida de la humanidad.

En el tema existe un convenio de colaboración en actividades de Investigación y Postgrado con el Grupo de Estudio de Materiales y Dispositivos Electrónicos (GEMyDE) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

## **Introducción**

### **Inteligencia Artificial Subsimbólica**

El comportamiento de un determinado sistema físico puede ser descrito a partir de modelos matemáticos formulados a través de ecuaciones diferenciales con condiciones de contorno e iniciales determinadas, cuyas incógnitas representan las magnitudes de interés. Tales modelos representan generalmente una simplificación de la realidad, dado que son obtenidos a partir de aproximaciones, sin embargo, si las variables a despreciar tienen poco peso en el sistema, serán una buena representación del sistema real.

Obtener la solución exacta de manera analítica puede presentar una gran dificultad, debido a la complejidad

natural de las ecuaciones diferenciales o a los inconvenientes que pueden ocurrir con las condiciones de contorno o iniciales.

En los últimos años, el crecimiento de las capacidades de cálculo y el mejoramiento de los algoritmos implementados han convertido a la simulación numérica en una etapa indispensable a la hora de estudiar cualquier tipo de sistema.

En este sentido, las técnicas subsimbólicas de la inteligencia artificial constituyen herramientas poderosas para resolver tales ecuaciones y obtener soluciones muy aproximadas a las soluciones exactas. De esta manera, es posible reproducir resultados experimentales; realizar estudios sobre sistemas, procesos, propiedades o parámetros físicos difíciles de medir de manera experimental reduciendo los tiempos y los costos de los ensayos; analizar, predecir y controlar la respuesta de un sistema determinado bajo diferentes condiciones de operación, con el fin de diseñar el sistema de manera eficiente para obtener la respuesta deseada de una aplicación específica; etc.

El campo denominado Inteligencia Artificial Subsimbólica (AI: Artificial Intelligence) [1], incluye técnicas tales como: Redes Neuronales Artificiales (ANN: Artificial Neural Network), Lógica Difusa (FL: Fuzzy Logic), Sistema de Inferencia Difuso basado en Redes Adaptativas (ANFIS: Adaptive Network based Fuzzy Inference System), Algoritmos Genéticos (GA: Genetic Algorithms), Optimización por Enjambre de Partículas (PSO: Particle Swarm Optimization) y Minería de Datos (DM: Data Mining). Una de las características de estas técnicas es que son del tipo caja negra, es decir que no permiten obtener una función explícita de las variables físicas involucradas. Sin embargo, ellas tienen el potencial para

realizar mejores, más rápidas y más prácticas predicciones que cualquier otro método tradicional. Son capaces de encontrar correlaciones entre datos diversos y han mostrado ser sumamente útiles en áreas tales como ingeniería, análisis de suelos, análisis climático, ecología, análisis genético, robótica, economía, medicina y comunicación, entre otras.

En particular, recientemente, técnicas subsimbólicas de inteligencia artificial se están utilizando cada vez más en aplicaciones relacionadas con la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables de energía, por ejemplo para la determinación de parámetros físicos de celdas solares [2-4].

### **Celdas solares multijunturas**

El gran potencial de energía solar disponible se presenta como un recurso muy importante tendiente a sustituir las fuentes de energía no renovables (carbón, petróleo, gas natural) y reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, con el propósito de proteger nuestro medio ambiente y mejorar la calidad de vida de la humanidad. En este sentido, las celdas solares para la generación de energía eléctrica, son desarrollos cada vez más prometedores. Estos dispositivos convierten la luz solar directamente en electricidad sin pasar por un ciclo térmico, es decir que pueden proveer potencia casi permanentemente a un bajo costo operativo. Es una forma "limpia" de producir electricidad dado que la interacción de las celdas solares con el medio ambiente, en cuanto a los daños que puedan ocasionar, es considerablemente menor que la producida por los generadores de energía convencionales utilizados hoy en día.

Sin embargo, desafortunadamente aún hoy la energía obtenida de las celdas

solares resulta costosa. Todavía existe una enorme brecha entre el potencial de energía solar disponible y su real aprovechamiento, debido principalmente a la modesta densidad de energía de la radiación, las bajas eficiencias de conversión de las celdas solares y al costo de los materiales requeridos. Mejorar la relación costo-efectividad es una tarea que despierta gran interés y es todo un desafío científico.

En la actualidad, casi el 90% de las celdas solares disponibles en el mercado mundial están basadas en la tecnología de silicio mono- y poli-cristalino, la cual consiste en dispositivos de simples junturas p-n. Si bien es una tecnología probada, confiable y de larga vida útil, ya se han logrado eficiencias máximas cercanas al 25%, valor muy próximo a su límite teórico calculado por Shockley-Queisser en base a argumentos de balance detallado de energía, de 31% bajo 1 sol de iluminación y 40.8% bajo la máxima concentración de soles [5]. La razón fundamental de este límite es que sólo los fotones incidentes con una energía superior a la de la banda prohibida del semiconductor (bandgap) pueden liberar un electrón que contribuirá a la corriente eléctrica. Los fotones con energía menor se pierden (el semiconductor es transparente para ellos).

Durante los últimos años, nuevos conceptos han permitido superar las eficiencias mencionadas previamente, a partir del desarrollo de celdas solares basadas en nuevos materiales fotovoltaicos y nuevos procesos de fabricación. Una de ellas es mediante la utilización de dos o más celdas solares, apiladas una encima de la otra, subdividiendo el espectro solar en diferentes rangos de energía. Con esta idea es que surgen las celdas solares tipo tandem o multijunturas (MJSC: Multi-Junction Solar Cells), las cuales se

forman a partir de dos o más sub-celdas de materiales con diferente bandgap, separadas entre sí por juntas tipo túnel, para facilitar el flujo de electrones entre ellas. Las sub-celdas son colocadas en orden descendente de acuerdo a su bandgap. La sub-celda ubicada en la parte frontal del dispositivo captura los fotones de más alta energía y deja pasar el resto de los fotones hacia abajo para ser absorbidos por las sub-celdas con menores bandgap. De esta manera, cada sub-celda absorbe una porción diferente del espectro solar, mejorando el rendimiento en comparación con las celdas individuales separadas. Estos dispositivos tienen entre sus ventajas una alta sensibilidad en un amplio rango de longitudes de onda y un excelente rendimiento. En el límite teórico, cuando la MJSC esté compuesta por un número infinito de sub-celdas, los cálculos establecen una eficiencia máxima del 68.2% y del 86.8% bajo 1 sol y bajo la máxima concentración de soles, respectivamente [6], muy superior a las celdas de simple junta, lo que implica que más juntas aumentan su eficiencia pero al mismo tiempo se incrementan rápidamente tanto el costo como su complejidad de fabricación.

En particular, las MJSC basadas en semiconductores compuestos III-V representan hoy en día el estado del arte de la tecnología solar fotovoltaica (por ejemplo: GaInP/GaInAs/Ge o GaInP/GaAs/Ge). Recientemente han sido obtenidas eficiencias de conversión record por encima del 41 % para 454 soles de iluminación [7].

En consecuencia, con esta línea de investigación del proyecto, pretendemos contribuir al estudio de las MJSC con diferentes características constructivas y diferentes condiciones de operación, tanto para aplicaciones terrestres como espaciales, con el fin de obtener una

relación costo-eficiencia mejorada de las mismas. El estudio de estos dispositivos requiere de un profundo conocimiento de los aspectos teóricos concernientes a sus propiedades de interés y a los parámetros que gobiernan los cambios de dichas propiedades.

## **Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación**

- Estudio de diferentes métodos de inteligencia artificial subsimbólica aplicados al análisis de dispositivos fotovoltaicos, considerando ventajas y desventajas de cada uno, viabilidad y factibilidad de implementación, procedimiento, etc..
- Utilización de técnicas subsimbólicas de la inteligencia artificial para el análisis de MJSC basadas en heterojuntas de semiconductores compuestos III-V, variando los principales parámetros a ser considerados durante la fase de diseño de los dispositivos: densidades de portadores, espesores de las regiones que lo conforman, materiales, tipo y número de juntas, y condiciones de operación, tanto para aplicaciones terrestres como espaciales, con la finalidad de diseñar y optimizar dispositivos con mayores eficiencias y tolerancia a la radiación.

## **Resultados y Objetivos**

- Determinar, a través de técnicas subsimbólicas de la inteligencia artificial, parámetros físicos no conocidos de las celdas solares multijuntas y de las sub-celdas que las componen, basadas en diferentes materiales, estructuras, y condiciones

de operación, tanto para aplicaciones terrestres como espaciales.

- Obtener modelos analíticos de gran utilidad para el diseño de dispositivos con características específicas para optimizar la relación costo-beneficio;
- Predecir el comportamiento de la celda solar para diferentes temperaturas e irradiancias;
- Fomentar la generación de recursos humanos en esta línea de investigación, donde se conjuga la física de los dispositivos, y la informática a través del desarrollo de herramientas computacionales.

## Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo de la línea de investigación que se presenta está conformado por tres docentes investigadores (Morales, Cappelletti y Hasperué) y por un estudiante de quinto año de la carrera Ingeniería en Informática de la UNAJ (Charlier), autores de este artículo. Actualmente se encuentran en curso una Tesis de Posgrado (Morales) y una Tesina de Grado (Charlier) relacionadas directamente con la línea de investigación presentada.

Dado que se trata de una línea de Investigación con características multidisciplinarias, se abre una puerta para la inclusión de docentes investigadores y estudiantes que deseen desarrollarse en estas aplicaciones relacionadas con la informática y el medio ambiente.

## Referencias

[1] Nilsson N., “Principles of Artificial Intelligence”, Springer-Verlag, ISBN 3-540-11340-1, New York (1980).

[2] Dkhichi F. et al, “Determination of Solar Cell Parameters using Neural Network Trained by Steepest Descent Algorithm”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 4 pp. 121-125 (2014).

[3] Ospino Castro A. et al, “Modelado y simulación de un panel fotovoltaico empleando técnicas de inteligencia artificial”, Ingeniería Energética Vol. XXXV, pp.225-233 (2014).

[4] Salem F. et al, “Parameters estimation of photovoltaic modules: comparison of ANN and ANFIS”, Int. J. Industrial Electronics and Drives, 1 pp. 121-129 (2014).

[5] Shockley W., Queisser H.J., Journal of Applied Physics, 32, pp. 510-519 (1961).

[6] Yastrebova N.V., Centre for Research in Photonics, University of Ottawa (2007).

[7] Guter W. et al., “Current-matched triple-junction solar cell reaching 41.1% conversion efficiency under concentrated sunlight”, Applied Physics Letters 94, pp. 223504 (2009).