



Conference: Interdisciplinary Congress of Renewable Energies, Industrial Maintenance, Mechatronics
and Information Technology
BOOKLET



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Modelo predictivo inteligente para la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico

Authors: ARELLANO-VALMAÑA, Fernando, RUZ-HERNANDEZ, Jose Antonio y PITALÚA-DÍAZ, Nun

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2019-191
BCIERMMI Classification (2019): 241019-191

Pages: 15
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Índice

Introducción

Metodología

➤ ANFIS

➤ Modalidad y técnica de entrenamiento

Resultados

Conclusión

Agradecimientos

Referencias

Introducción

- La creciente demografía global implica un aumento en la demanda energética, siendo insostenible si sólo se obtiene a través de recursos no renovables, llevando a un encarecimiento de los servicios.
- La energía solar es actualmente la fuente de mayor recurso mundialmente (Dudley, 2018).
- La obtención no supone daños al medio y su cantidad supera a cualquier otra energía considerada (Elshurafa et al., 2018).
- México tiene gran potencial en energía solar:
 - México
 $5.6 - 6.2 \text{ kWh/m}^2$
 - España
 $4.8 - 5.4 \text{ kWh/m}^2$
 - China
 $\approx 4.6 \text{ kWh/m}^2$

Introducción

▪ **Sistemas lineales**

- Capacidad de representar procesos lineales y no lineales (Kashyap et al., 2015).
- Estimar sistemas con dinámica interna desconocida superando métodos puramente estadísticos (Pitalúa-Díaz et al., 2019; Ruz-Hernandez et al., 2019).

▪ **ANFIS - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System**

- Combinación entre red neuronal y sistema difuso, permitiendo un entrenamiento y una convergencia al resultado más rápido (Boyaciglou et al., 2010; Leva et al., 2017; Wen-Tao et al., 2017).

Introducción

▪ **Objetivo**

- Estimar la potencia eléctrica de un sistema fotovoltaico (SFV) de 3.1kW ubicado en la ciudad de Hermosillo, Sonora usando las variables meteorológicas del sitio y un ANFIS como técnica inteligente en modalidad de predictor.

▪ **Importancia**

- Crucial en estudios de precisión o tareas de administración para evitar situaciones económicas o de pérdida de información.
- Aportación que logre mejoras en la eficiencia energética y futuros estudios basados en SFV.

Metodología

➤ ANFIS

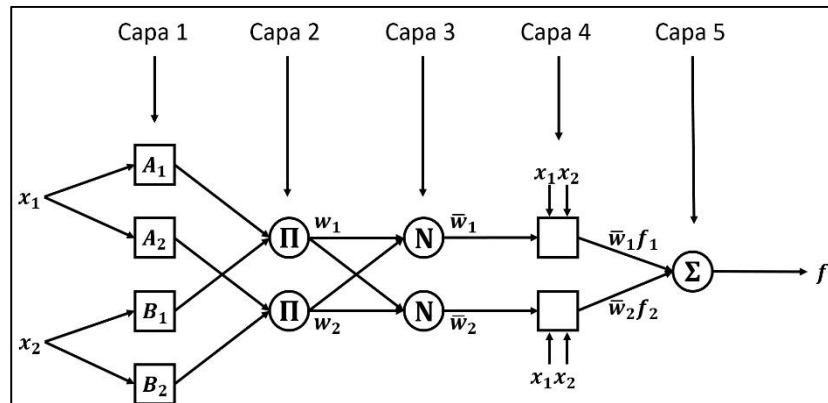


Figura 1 Estructura de un ANFIS.

- Fuzificación
- $w_i = \mu_{A_i}(x_1) \times \mu_{B_i}(x_2), \quad i = 1, 2. \quad (1)$
- Normalización
- Defuzificación
- $Salida\ total = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2)$

Metodología

➤ ANFIS

- **Entrenamiento híbrido**
 - Mínimos cuadrados para estimar hacia adelante y descendencia del gradiente (Ec. 1-3) para propagar el error hacia atrás (Jang, 1993).

$$E_P = \sum_{m=1}^L (T_{m,p} - O_{m,p}^L)^2 \quad (3)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial \alpha} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial E_P}{\partial \alpha} \quad (4)$$

$$\Delta \alpha = -\eta \frac{\partial E_P}{\partial \alpha} \quad (5)$$

Metodología

➤ Modalidad y técnica de entrenamiento

Variable	Simbología
Radiación solar	x_1
Dirección del viento	x_2
Humedad	x_3
Presión atmosférica	x_4
Temperatura	x_5
Velocidad del viento	x_6
Hora del día	x_7
Potencia eléctrica	y

Tabla 1 Simbología de las variables del modelo.

$$\hat{y}(k) = f(X(k-1), \hat{y}(k-2)) \quad (6)$$
$$X(k-1) = x_1(k-1), \dots, x_i(k-1)$$

Metodología

➤ Modalidad y técnica de entrenamiento

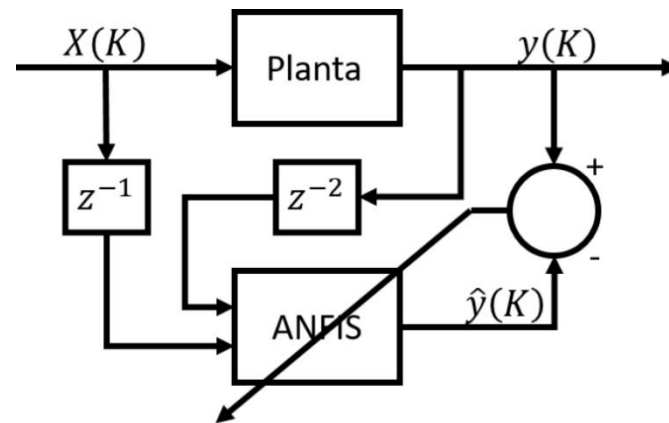


Figura 2 Esquema de entrenamiento.

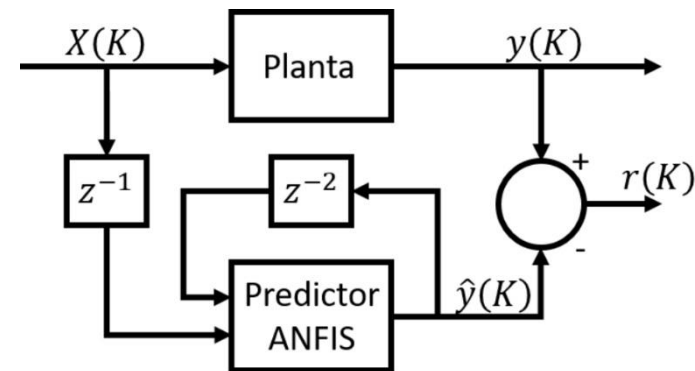


Figura 3 Esquema como predictor.

Metodología

➤ Modalidad y técnica de entrenamiento

Variable	Función de membresía	
	Cantidad	Tipo
Radiación solar	4	Triangular
Dirección del viento	3	Triangular
Humedad	3	Trapezoidal
Presión atmosférica	3	Triangular
Temperatura	3	Gaussiana
Velocidad del viento	3	Triangular
Hora del día	3	Triangular
Potencia eléctrica	4	Gaussiana

$$\left. \begin{aligned} s_1(K) &= f(x_1(K-1), x_2(K-1), x_3(K-1), y(K)) \\ s_2(K) &= f(x_4(K-1), x_5(K-1), y(K)) \\ s_3(K) &= f(x_6(K-1), x_7(K-1), y(K-2), y(K)) \\ s_4(K) &= f(s_1(K), s_2(K), s_3(K), y(K)) \end{aligned} \right\} (7)$$

Resultados

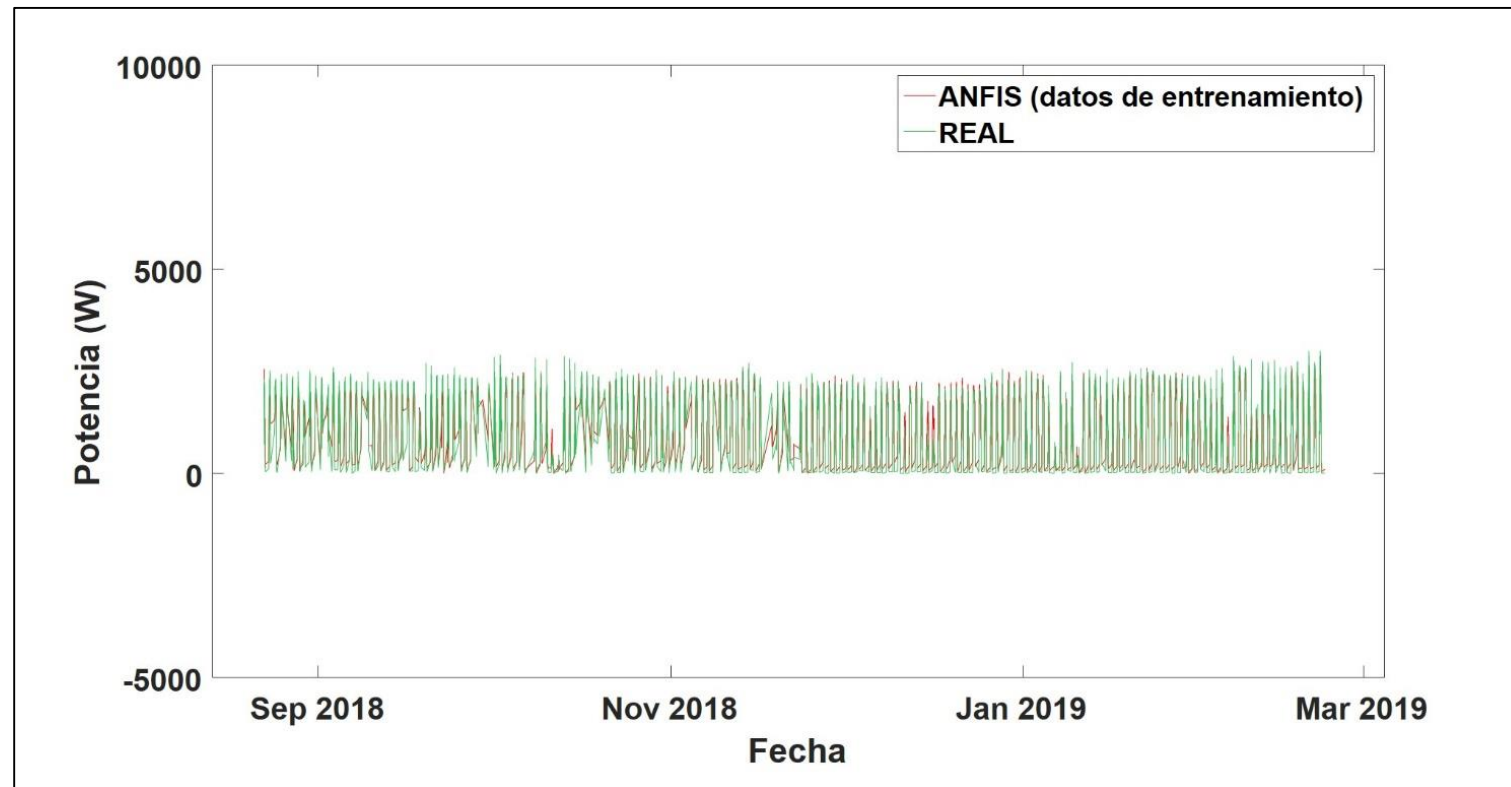


Figura 4 Comparación entre la potencia real y la estimación del ANFIS para los datos de entrenamiento.

Resultados

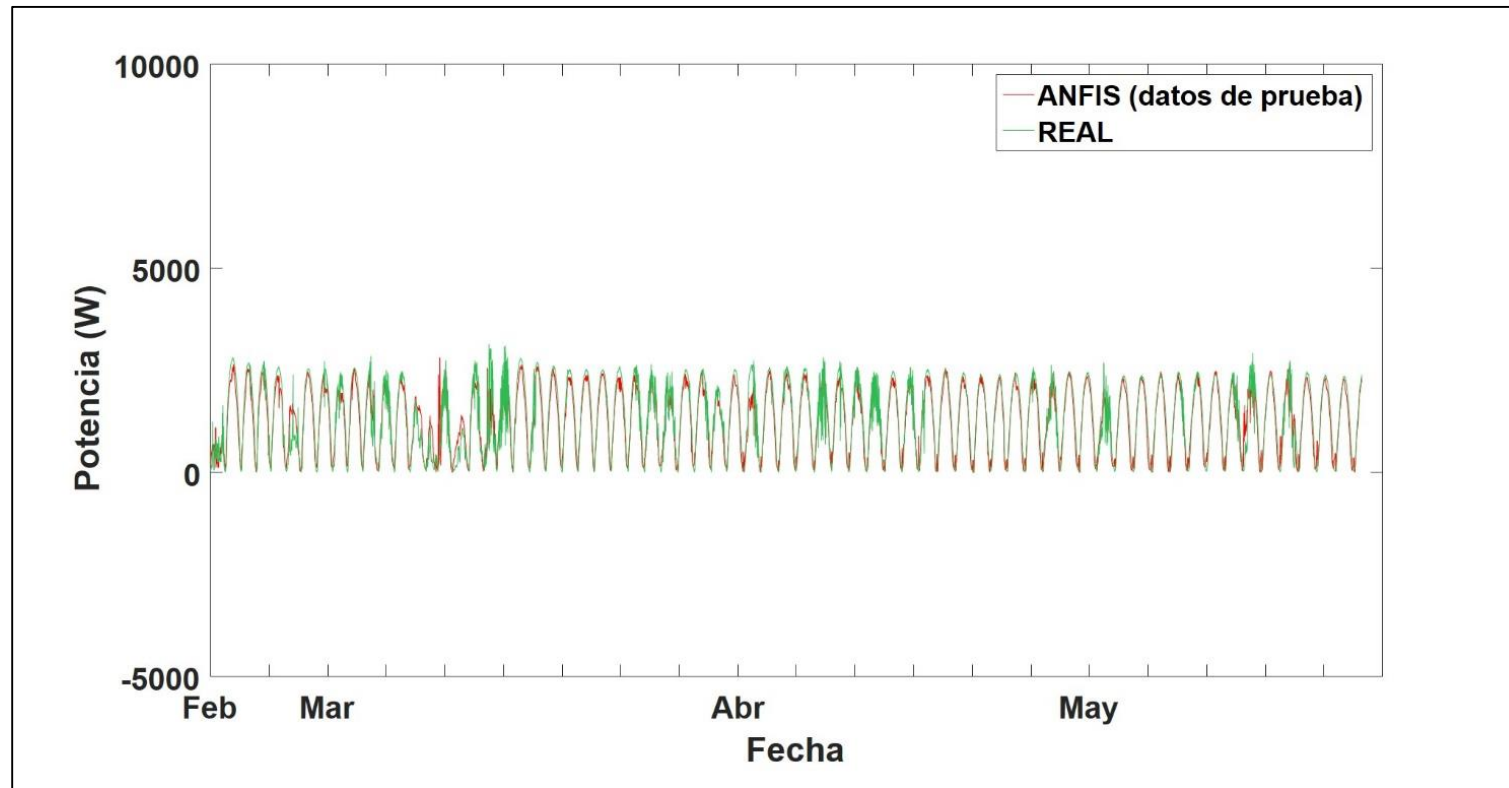


Figura 5 Comparación entre la potencia real y la estimación del ANFIS para los datos frescos.

Resultados

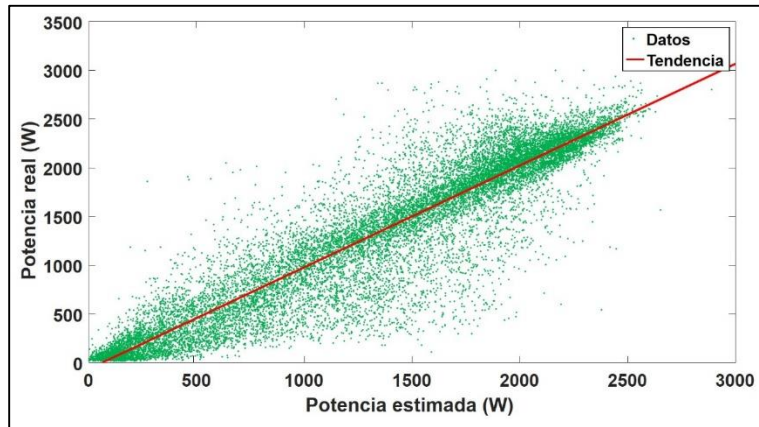


Figura 6 Gráfica de dispersión (datos de entrenamiento).

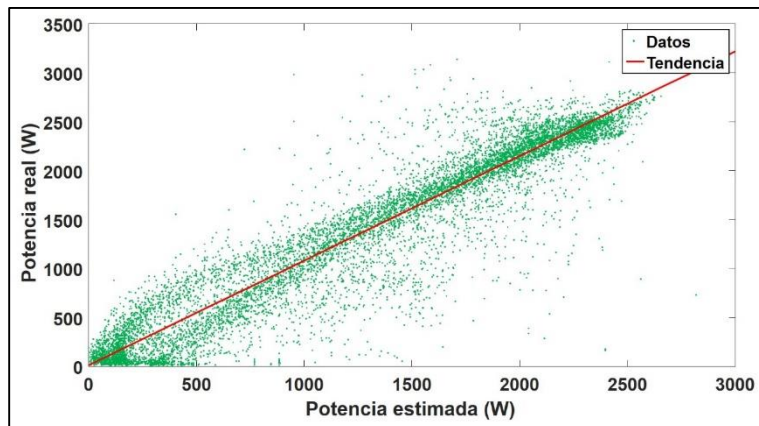


Figura 7 Gráfica de dispersión (datos frescos).

$$MAE = \frac{\sum_{s=1}^N |P_m - P_e|}{N} \quad (8)$$

$$MAPE_{\%} = \frac{\sum_{s=1}^N \left| \frac{P_m - P_e}{\max(P_m) - \min(P_m)} \right|}{N} \cdot 100 \quad (9)$$

Método	Entrenamiento	Prueba
R^2	0.9662	0.9742
MAE	207.3163 W	218.6996 W
MAPE _%	6.9211 %	6.9851 %

Tabla 2 Resultados de valores de precisión.

Conclusión

Se demostró que el ANFIS logra una estimación exitosa de la potencia eléctrica en un SFV, alcanzando un coeficiente de determinación de 97.42%, así como un 6.9851% de error entre la lectura real y la estimada por el sistema inteligente.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR) y a la Universidad de Sonora (UNISON) por el apoyo para el desarrollo de este trabajo. De igual manera, se reconoce al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo con el programa de beca para maestría y la beca de movilidad 291249.

Gracias por su atención

Referencias

Boyacioglu, M. A., & Avci, D. (2010). An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7908–7912. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2010.04.045>

Dudley, B. (2018). BP energy outlook 2040. *BP Plc2*. Disponible en <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>

Elshurafa, A. M., Albardi, S. R., Bigerna, S., & Bollino, C. A. (2018). Estimating the learning curve of solar PV balance-of-system for over 20 countries: Implications and policy recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 196, 122–134. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.06.016>

Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>

Kashyap, Y., Bansal, A., & Sao, A. K. (2015). Solar radiation forecasting with multiple parameters neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 825–835. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.04.077>

Leva, S., Dolara, A., Grimaccia, F., Mussetta, M., & Ogliari, E. (2017). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network forecasting of photovoltaic output power. *Mathematics and Computers in Simulation*, 131, 88–100. <https://doi.org/10.1016/J.MATCOM.2015.05.010>

Pitalúa-Díaz, N., Arellano-Valmaña, F., Ruz-Hernandez, J. A., Matsumoto, Y., Alazki, H., Herrera-López, E. J., ... Velázquez-Contreras, E. F. (2019). An ANFIS-Based Modeling Comparison Study for Photovoltaic Power at Different Geographical Places in Mexico. *Energies*, 12(14), 2662. <https://doi.org/10.3390/en12142662>

Ruz-Hernandez, J. A., Matsumoto, Y., Arellano-Valmaña, F., Pitalúa-Díaz, N., Cabanillas-López, R. E., Abril-García, J. H., ... Velázquez-Contreras, E. F. (2019). Meteorological Variables' Influence on Electric Power Generation for Photovoltaic Systems Located at Different Geographical Zones in Mexico. *Applied Sciences*, 9(8), 1649. <https://doi.org/10.3390/app9081649>

Wen-Tao, Z., Shuai, W., & Xin-Hui, D. (2017). Research of power prediction about photovoltaic power system: Based on BP neural network. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 18(4), 1614–1623. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Moisa/publication/323144140_SUSTAINABLE_DEVELOPMENT_THROUGH_CONVENSION_TO_ORGANIC_AGRICULTURE_-_IMPLICATIONS_ON_THE_FINANCIAL_INDICATORS_OF_FIRMS/links/5c25f7bfa6fdccfc706d4a64/SUSTAINABLE-DEVELOPMENT-THROUGH-C



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)