

Controlador difuso para compensación de variaciones de peso en bandas transportadoras

Fuzzy controller for weight variation compensation on conveyor belts

Robinson Jiménez-Moreno¹

Javier Eduardo Martínez Baquero²

Resumen: En el presente documento se muestra el diseño de un controlador difuso tipo II con el cual se realiza compensación de variaciones de peso en bandas transportadoras, controladas por un motor. Las variaciones de peso en el material se han establecido con una variabilidad de ± 0.5 Kg. Para el ajuste de la velocidad de la banda se emplea la propiedad de variación del rango de cada función de pertenencia para que se acople a las variaciones de peso, donde el ajuste de la velocidad de la banda es el parámetro de retroalimentación del sistema. El sistema genera una compensación por variaciones de peso para que se mantenga regulada la velocidad de la banda, sin importar las variaciones de peso de cada unidad trasferida, logrando de esta manera el objetivo esperado. La respuesta del sistema retroalimentado, donde se incluyen variaciones de peso, muestra que no varía la respuesta de control que es el efecto deseado ante los cambios.

Palabras clave: compensación, control difuso, banda transportadora, motor, velocidad.

Punto de inflexión es una revista de acceso abierto revisada por pares. © 2018 El autor (es). Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Como citar este artículo / To reference this article:

Jiménez-Moreno, R. & Martínez Baquero, J. E. (2025). Controlador difuso para compensación de variaciones de peso en bandas transportadoras. *Punto de inflexión (innovación)*, 1(1), pp.33–41. DOI <https://doi.org.10.22579/30286425.1009>

¹ Doctor en Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, robinson.jimenez@unimilitar.edu.co

² Magister en Tecnología Educativa y Medios Innovadores para la Educación, Universidad de los Llanos, Colombia, jmartinez@unillanos.edu.co

Abstract: This paper presents the design of an II-type fuzzy controller aimed at compensating for weight variations in conveyor belts controlled by a motor. The established weight variations in the material are ± 0.5 Kg. For the belt speed adjustment, the range variation property of each membership function is used to match the weight variations, where the belt speed adjustment is the system's feedback parameter. It is essential to highlight that the system generates compensation for weight variations to keep the belt speed regulated regardless of the weight variations of each transferred unit, thus achieving the expected objective. The feedback system's response, including weight variations, shows that the control response, which is the desired effect of the changes, does not vary.

Keywords: compensation, fuzzy control, conveyor belt, motor, speed.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de bandas transportadoras a nivel industrial es muy común, por lo cual, es necesario identificar sus parámetros de funcionamiento y control [1]. Uno de estos parámetros es el sistema de control o regulación de velocidad [2], de forma que se logre ajustar al valor requerido sin importar variaciones propias de la banda.

Hoy en día los esquemas de control presentan desarrollos frente a las técnicas clásicas, mediante la inclusión de algoritmos de lógica difusa basados en conocimiento de experto. Por ejemplo, en [3] se expone el control del núcleo de energía en un reactor nuclear mediante un algoritmo fuzzy-PI. Estas técnicas de control permiten su combinación con diferentes algoritmos de inteligencia artificial [4][5] y una amplia aplicabilidad en sistemas no lineales [6][7]. Las aplicaciones van desde vehículos eléctricos [8], granjas eólicas [9] y control de microredes de distribución eléctrica [10], entre otras.

Si bien el control difuso tipo Mamdani y Takagi-Sugeno [11] es el más difundido, las aplicaciones de los modelos de lógica difusa tipo II han sumado aplicaciones [12-15], lo que se emplea también en el control de motores [16]. Los sistemas de lógica difusa [17][18] tipo II permiten añadir un margen de tolerancia a las variaciones del modelo [19][20], sea por ruido, por los rangos de los sensores o por las condiciones de operación.

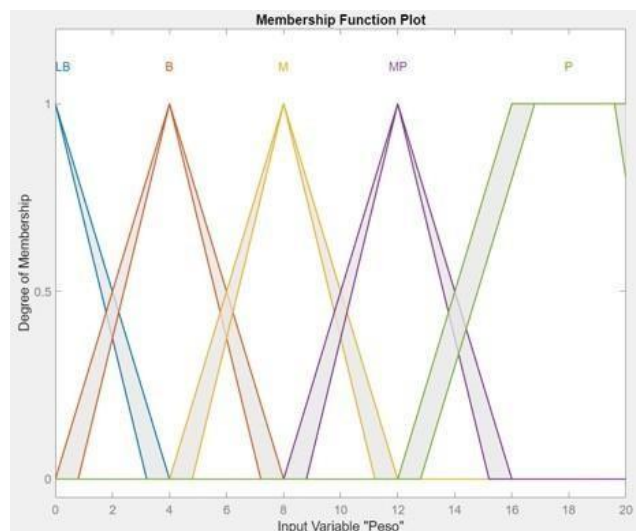
En este artículo se presenta un control difuso tipo II asociado a una banda transportadora controlada por motor y cuya variación de peso en el material que transporta presenta una variabilidad del $\pm 0,5$ Kg. El documento presenta cuatro apartados: la presente introducción, el segundo expone el modelo difuso, el tercero presenta los resultados de control y, el cuarto, describe las conclusiones alcanzadas.

2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

La velocidad de la banda es ajustada por medio un controlador difuso tipo 2, donde se emplea la propiedad de variación del rango de cada función de pertenencia para que se acople a las variaciones de peso. El punto de ajuste de la velocidad de la banda es el parámetro de retroalimentación del sistema. El propósito es generar una compensación por variaciones de peso para que se mantenga regulada la velocidad de la banda sin importar las variaciones de peso de cada unidad transferida.

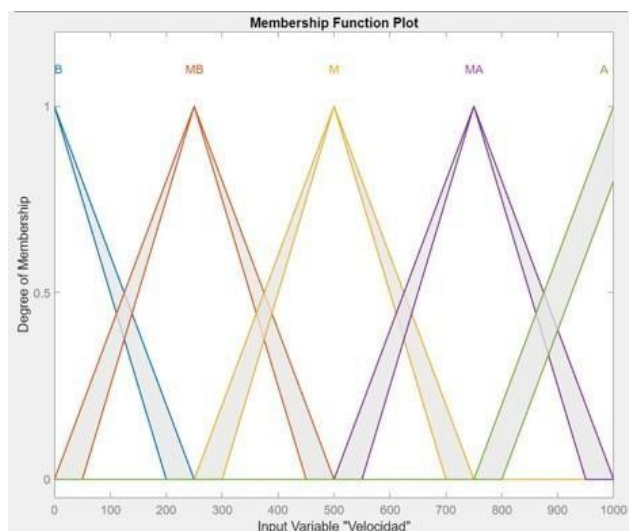
La Figura 1 ilustra la función de pertenencia de la entrada difusa de peso, donde el universo de discurso va hasta 20 Kg y se presenta una tolerancia en la medición de $\pm 0,5$ Kg, que define el rango de apertura de cada función de pertenencia, y cubre las características de peso liviano bajo (LB), bajo (B), medio (M), medio pesado (MP) y pesado (P).

Fig. 1 Entrada difusa de peso



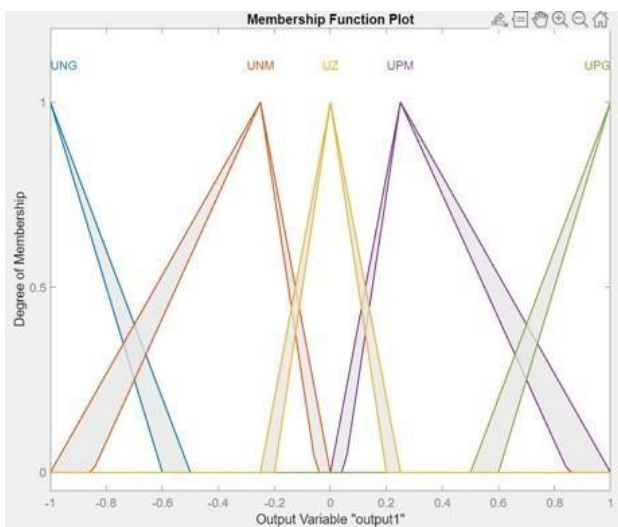
La Figura 2 ilustra la función de pertenencia de la entrada difusa de velocidad, que realmente corresponde a la diferencia entre la velocidad actual y la deseada por el operario. El universo de discurso va hasta 1000 rpm, y define el rango de apertura de cada función de pertenencia, que cubre las características de cambios de velocidad así: baja (B), media baja (MB), media (M), media alta (MA) y alta (A).

Fig. 2 Entrada difusa de velocidad



La Figura 3 ilustra la función de pertenencia de la salida difusa del actuador para control de velocidad del motor. El universo de discurso va hasta 1000 rpm, el cual define el rango de apertura de cada función de pertenencia, que cubre las características de cambios de velocidad así: negativo grande (NG), negativo medio (NM), cero (Z), positivo medio (PM) y positivo grande (PG).

Fig. 3 Salida difusa al actuador



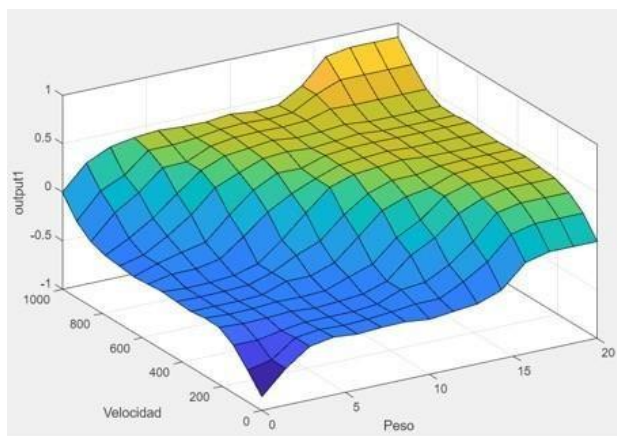
La Tabla 1 ilustra la relación entrada-salida de los conjuntos difusos que determina el conjunto de reglas que rigen el comportamiento de la velocidad de la banda transportadora.

TABLA I Reglas difusas de control

Reglas difusas	LB	B	M	MP	P
B	UNG	UNM	UNM	UNM	UZ
MB	UNM	UNM	UNM	UZ	UPM
M	UNM	UNM	UZ	UPM	UPM
MA	UNM	UZ	UPM	UPM	UPM
A	UZ	UPM	UPM	UPM	UPG

De la aplicación de la base de reglas al sistema de inferencia se obtiene la superficie de control del modelo simulado. La Figura 4 ilustra dicha superficie y evidencia un comportamiento continuo y suavizado, acorde a una estrategia de control convencional.

Fig. 4 Comportamiento de una población



3. RESULTADOS

Las Figuras 5 a la 7 ilustran la respuesta del sistema retroalimentado, incluyendo variaciones de peso. Se puede observar que no varía la respuesta de control que es el efecto deseado ante los cambios de peso.

Fig. 5 Regulación de velocidad con una carga liviana

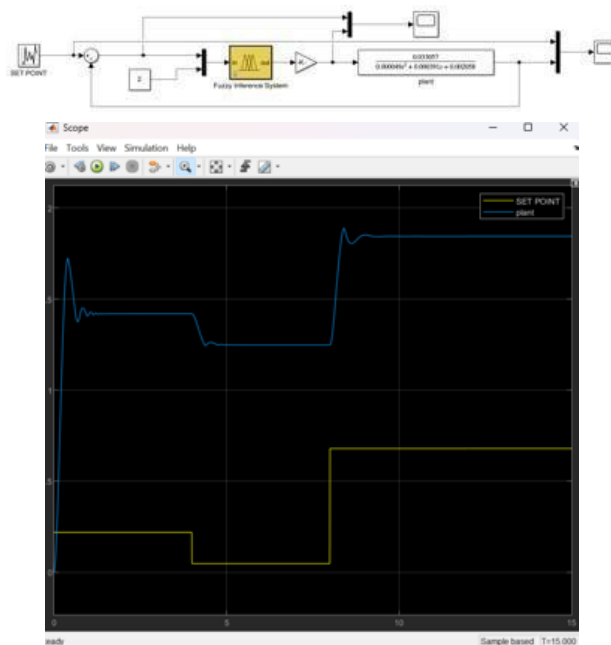


Fig. 6 Regulación de velocidad con una carga media

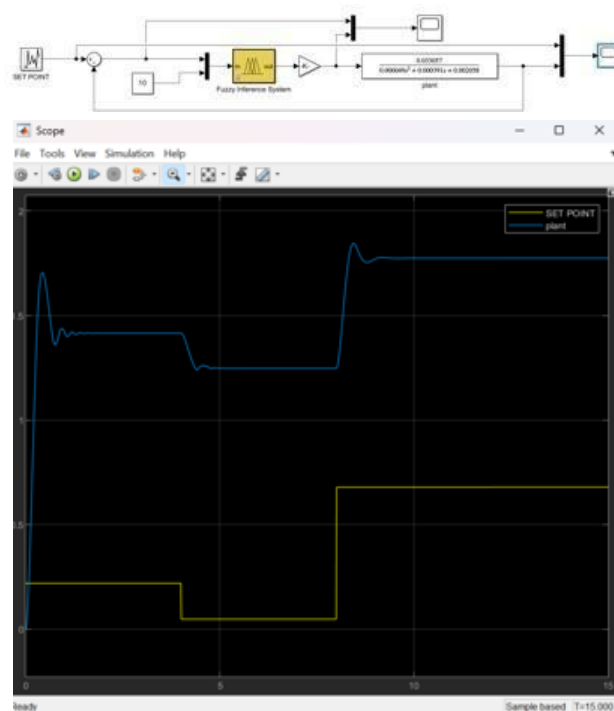
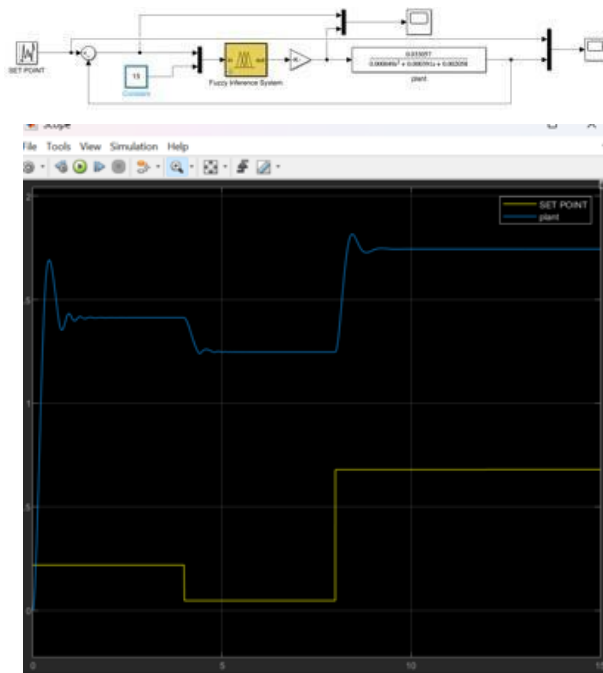
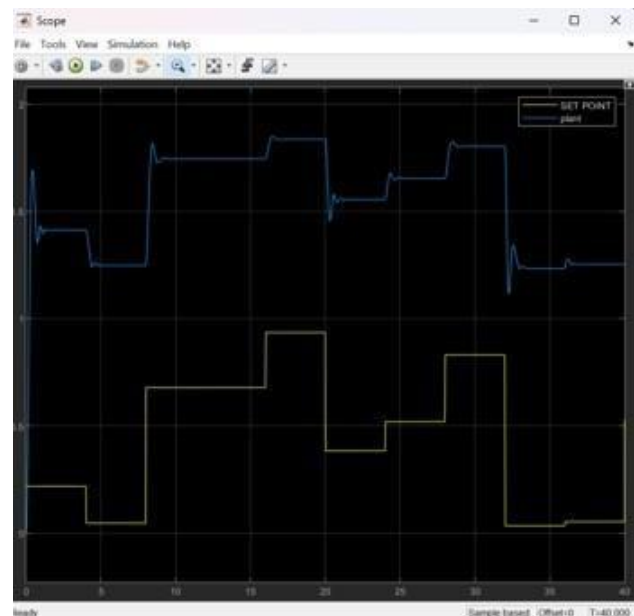


Fig. 7 Regulación de velocidad con una carga medio pesada.



La Figura 8 ilustra la respuesta del sistema de control a variaciones constantes del punto de referencia de velocidad. Se ha adicionado un *offset* a la salida de la planta para visualización y comparación de la acción de control.

Fig. 8 Respuesta a cambios de referencia de velocidad de entrada



4. CONCLUSIONES

La velocidad de la banda es ajustada por medio un controlador difuso tipo II, donde se emplea la propiedad de variación del rango de cada función de pertenencia, para que se acople a las variaciones de peso.

El sistema genera una compensación por variaciones de peso para que se mantenga regulada la velocidad de la banda, sin importar las variaciones de peso de cada unidad transferida.

Se resalta cómo los esquemas de control actualmente desarrollados incluyen algoritmos de lógica difusa basados en conocimiento de

experto, cuyas técnicas de control permiten su combinación con diferentes algoritmos de inteligencia artificial y una amplia aplicabilidad en sistemas no lineales.

La función de pertenencia de la salida difusa del actuador para el control de velocidad del motor presenta un universo de discurso que va hasta 1000 rpm, definiendo el rango de apertura de cada función de pertenencia, permitiendo así cubrir las características de cambios de velocidad.

REFERENCIAS

- [1] Chunyu Yang, Lingchao Bu, Bin Chen, Energy modeling and online parameter identification for permanent magnet synchronous motor driven belt conveyors, *Measurement*, Volume 178, 2021, 109342, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109342>.
- [2] J. Ji, C. Miao, X. Li and Y. Liu, "Research on speed control algorithm of belt conveyor based on controllable parameter PSO-PID," 2020 7th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), *Changsha*, China, 2020, pp. 2136-2140, doi: 10.1109/ICISCE50968.2020.00419.
- [3] Debasis Acharya, Ankur Rai, Dushmanta Kumar Das, Optimal rule based fuzzy-PI controller for core power control of nuclear reactor, *Annals of Nuclear Energy*, Volume 194, 2023, 110118, ISSN 0306-4549, <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2023.110118>.
- [4] Han Zhang, Liangkun Wang, Weixing Shi, Seismic control of adaptive variable stiffness intelligent structures using fuzzy control strategy combined with LSTM, *Journal of Building Engineering*, Volume 78, 2023, 107549, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107549>.
- [5] Muhammad Taimoor, Xiao Lu, Wasif Shabbir, Chunyang Sheng, Neural network observer based on fuzzy auxiliary sliding-mode-control for nonlinear systems, *Expert Systems with Applications*, Volume 237, Part A, 2024, 121492, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121492>.
- [6] Yifan Hu, Wenhui Liu, Baoping Ma, Event-trigger-based composite adaptive fuzzy control for nonlinear time-varying state constraint systems with asymmetric input saturation, *European Journal of Control*, 2023, 100892, ISSN 0947-3580, <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2023.100892>.
- [7] Wenting Song, Shaocheng Tong, Fuzzy optimal tracking control for nonlinear underactuated unmanned surface vehicles, *Ocean Engineering*, Volume 287, Part 1, 2023, 115700, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115700>.
- [8] Wanmin Li, Haitong Xu, Xiaobin Liu, Yan Wang, Youdi Zhu, Xiaojun Lin, Zhixin Wang, Yugong Zhang, Regenerative braking control strategy for pure electric vehicles based on fuzzy neural network, *Ain Shams Engineering Journal*, 2023, 102430, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102430>.
- [9] Alireza Rouhanian, Hossein Aliamooei-Lakeh, Saeed Aliamooei-Lakeh, Mohammadreza Toulabi, Improved load frequency control in power systems with high penetration of wind farms using robust fuzzy controller, *Electric Power Systems Research*, Volume 224, 2023, 109511, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109511>.

- [10] Nourhan A. Maged, Hany M. Hasanien, Essamudin A. Ebrahim, Marcos Tostado-Véliz, Rania A. Turkey, Francisco Jurado, Optimal Real-time implementation of fuzzy logic control strategy for performance enhancement of autonomous microgrids, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 151, 2023, 109140, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109140>.
- [11] Hua Zheng, Wen-Bo Xie, Anh-Tu Nguyen, Dong Qu, A model reconstruction approach for control synthesis of Takagi-Sugeno fuzzy systems, *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 469, 2023, 108640, ISSN 0165-0114, <https://doi.org/10.1016/j.fss.2023.108640>.
- [12] Hadi Delavari, Ali Sharifi, Adaptive reinforcement learning interval type II fuzzy fractional nonlinear observer and controller for a fuzzy model of a wind turbine, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 123, Part B, 2023, 106356, ISSN 0952-1976, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106356>.
- [13] Hamed Yadegari, Jalil Beyramzad, Esmaeel Khanmirza, Magnetorquers-based satellite attitude control using interval type-II fuzzy terminal sliding mode control with time delay estimation, *Advances in Space Research*, Volume 69, Issue 8, 2022, Pages 3204-3225, ISSN 0273-1177, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.01.018>.
- [14] Prakash Chandra Sahu, Sonalika Mishra, Ramesh Chandra Prusty, Sidhartha Panda, Improved-salp swarm optimized type-II fuzzy controller in load frequency control of multi area islanded AC microgrid, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 16, 2018, Pages 380-392, ISSN 2352-4677, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2018.10.003>.
- [15] Hituraj Sahu, Ramakalyan Ayyagari, Interval Fuzzy Type-II Controller for the Level Control of a Three Tank System, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 49, Issue 1, 2016, Pages 561-566, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.114>.
- [16] Pratap Anbalagan, Young Hoon Joo, Stabilization analysis of fractional-order nonlinear permanent magnet synchronous motor model via interval type-2 fuzzy memory-based fault-tolerant control scheme, *ISA Transactions*, 2023, ISSN 0019-0578, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.08.021>.
- [17] T. Deepa, D. Subbulekshmi, and S. Angalaeswari, "Modeling, analysis, and design of a fuzzy logic controller for sustainable system using MATLAB," in *Power Converters, Drives and Controls for Sustainable Operations*, 2024, pp. 731–747. doi: 10.1002/9781119792918.ch24.
- [18] R. Wang, D. X. Gao, and Y. J. Zhang, "Finite time command filtered adaptive fuzzy control for a twin roll inclined casting system," *Metalurgija*, vol. 63, no. 1, pp. 17–20, 2024, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85168783576&partnerID=40&md5=1509a3f0b55abfaba760f364528516ca>

-
- [19] K. Shiev, S. Ahmed, N. Shakev, and A. V Topalov, "Trajectory control of manipulators using an adaptive parametric type-2 fuzzy CMAC friction and disturbance compensator," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 586, 2016, pp. 63–82. doi: 10.1007/978-3-319-14194-7_4.
- [20] V. Azimi, M. B. Menhaj, and A. Fakharian, "Tool position tracking control of a nonlinear uncertain flexible robot manipulator by using robust H_2/H_∞ controller via T–S fuzzy model," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 40, no. 2, pp. 307–333, 2015, doi: 10.1007/s12046-015-0354-x.