

Sistema de lógica difusa. Una aplicación a la percepción empresarial*

Liliana Adriana Mendoza Saboya**

Recibido: abril de 2009 - Aprobado: mayo de 2009

RESUMEN

Este trabajo es una aplicación, en el ámbito social, de los elementos de lógica difusa. Particularmente, se presentan los resultados de un estudio previo que realizó el Grupo de Perdurabilidad Empresarial de la Universidad del Rosario en 318 empresas colombianas. La aplicación se efectúa sobre la percepción de los actores de empresa acerca de la autonomía y la eficiencia de los trabajadores; además se muestra una simulación cuando el sistema autonomía-eficiencia ha iterado pocas y muchas veces.

Palabras clave: autonomía, eficiencia, lógica difusa, reglas, simulación.

ABSTRACT

This work is an application in the social scale of the elements of fuzzy logic. Particularly, this work takes the results of a previous study performed by the GIPE at the University of Rosario at 318 Colombian companies. The reach prepares an application on the perceptions of business actors, about the autonomy and efficiency of the employees in a company. Additionally, it shows a simulation in which the system autonomy-efficiency has iterating many times and them the results.

Key words: Autonomy, efficiency, fuzzy logic, fuzzy ruler, simulation.

Para citar este artículo: Mendoza, L. (2009), "Sistema de lógica difusa. Una aplicación a la percepción empresarial". En Revista Universidad & Empresa, Universidad del Rosario, 17: 252-270.

* La información tomada para este trabajo es producto del proyecto de investigación "Condiciones para la perdurabilidad empresarial", que ha venido desarrollando la Facultad de Administración desde 2005 a través del Grupo de Investigación en Perdurabilidad Empresarial (GIPE), que hace parte del Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad (CEEP). El equipo investigador está conformado por Luis Fernando Restrepo, Ángel Rodrigo Vélez, Carlos Eduardo Méndez, Hugo Alberto Rivera y Liliana Mendoza. Contacto: www.urosario.edu.co/administracion/investigacion/ceep.htm

** Economista, Msc. en Dirección y Gerencia de Empresas. Vinculada al Laboratorio de Modelamiento y Simulación del Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad (CEEP) de la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario. Contacto: lilianaa.mendoza@urosario.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo partió de la consolidación de la organización como un sistema inmerso en un sistema complejo gobernado por las acciones humanas, por lo cual se encuentra impregnado de la inexactitud, vaguedad y ambigüedad.

Los sistemas empresariales funcionan por las interacciones de varios elementos: internos como los trabajadores, proveedores, accionistas, clientes, entre otros; y externos como el gobierno, el mercado, la comunidad, etc. Dichas interacciones llevan a la empresa a perdurar en el tiempo, bajo determinados signos mínimos; o la llevan a morir cuando los signos bajan a niveles insostenibles.

Se tendrán en cuenta dos aspectos relevantes de dichos sistemas: la autonomía y la eficiencia de los empleados. Por un lado, el concepto de autonomía se toma del estudio realizado por Dodd y Ganster en 1996, el cual se refiere al “grado de independencia y libertad que tiene un trabajador para programar y desarrollar una tarea”.¹ Y por otro lado, la eficiencia se define como la consecución de objetivos teniendo en cuenta los recursos utilizados y el producto obtenido.

La hipótesis central radica en que la autonomía de un empleado está relacionada con su eficiencia en la empresa; no obstante esa relación causal se traduce en una realimentación del comportamiento del empleado y hace que su nivel de eficiencia sea causa de una futura autonomía en la empresa.

Particularmente, el estudio de las organizaciones es el estudio de las relaciones entre personas y de las relaciones de personas con el entorno. Dentro del estudio de las organizaciones se encuentra el estudio del pensamiento de las personas que trabajan en ellas o que tienen un papel concreto, tales como los dueños de la empresa, los gerentes o presidentes responsables de los resultados, los gerentes de división o departamento, también llamados subgerentes, o los técnicos y profesionales que desarrollan actividades específicas para el objeto de la empresa, entre otros funcionarios. En este sentido, para estudiar el objeto de las organizaciones es necesario el estudio del pensamiento empresarial, por lo cual es importante tener en cuenta que las técnicas tradicionales de estadística y matemática lineal no escriben el espectro del fenómeno empresarial, sino que dan una aproximación puntual o funcional de su comportamiento, y de un fenómeno en general.

¹ Traducción de la autora. Ver Hackman y Oldman (1976: 258).

En esta medida es necesario contar con herramientas complementarias, como la lógica difusa, que tiene la virtud de identificar los resultados de un fenómeno no lineal sin olvidar las circunstancias en las que se dan y sus características cualitativas.

II. APLICACIÓN

La Universidad del Rosario, a través de su Grupo de Investigación en Perdurabilidad Empresarial,² desarrolló un instrumento para medir la percepción de un conjunto de 318 actores de empresa;³ en la muestra el 48% son directores, gerentes y gerentes generales.

Tabla 1. Descripción de la muestra

<i>Cargo que ocupa en la empresa</i>	<i>%</i>
Propietario	1,57
Presidente	0,31
Director	13,52
Gerente	28,93
Gerente general	5,35
Jefe de sección	3,46
Coordinador	1,89
Profesional	11,01

El estudio de percepción del Grupo de Perdurabilidad evaluó 47 aspectos sobre la muestra mencionada.⁴ No obstante, en este estudio se tomarán dos aspectos en particular, la autonomía y la eficiencia.

La autonomía es la capacidad de tomar decisiones cuyos resultados se asumen, y la eficiencia es la consecución de los objetivos de una actividad determinada. Según estas directrices se proponen dos situaciones que involucran tanto autonomía como eficiencia:

Afirmación 1: “La empresa es efectiva cuando faculta a sus empleados y les da autonomía para intervenir en la solución de problemas”. Esta situación está orientada hacia la autonomía como promotora de la efectividad de los empleados.

Afirmación 2: “El reconocimiento del desempeño y esfuerzo de los empleados propicia la identidad y cohesión social”. La orientación de esta afirmación es que el reconocimiento de la efectividad de los empleados contribuye al desarrollo de la persona como ser humano, con identidad y relaciones interpersonales.

² El grupo GIPE está formalmente registrado en Colciencias (2009) con categoría A.

³ El instrumento también fue utilizado para el desarrollo de la investigación titulada “Aproximación al modelo de pensamiento empresarial: diferencia entre la alta dirección y nivel operativo”, presentada por la autora para optar al título de Maestría en Dirección y Gerencia de Empresas de la Universidad del Rosario, en octubre de 2008.

⁴ El instrumento es producto de la investigación en perdurabilidad que ha venido desarrollando la Facultad de Administración desde 2005, a través del CEEP.

A cada una de las 318 personas se les capturó por medio de una escala likert la percepción sobre dichas afirmaciones, la escala está construida en forma tal que la calificación de 1 es una percepción de desacuerdo y la calificación 5 es una percepción de total de acuerdo.

Entre los resultados se destaca que: el 83% está de acuerdo con que la autonomía contribuye a la eficiencia en una empresa, mientras que el 9,1% no lo considera así. De otro lado, el 91% aceptó que el reconocimiento de los resultados del empleado aporta a su desarrollo, y el 2,3% no está de acuerdo con esta afirmación.

Para identificar el tipo de pensamiento que tienen los participantes de este estudio se requiere identificar el resultado de la conjunción de las percepciones de las dos afirmaciones.

A. Reglas difusas

Para describir el comportamiento en conjunto de la percepción de las dos afirmaciones, se proponen las siguientes reglas:

Regla 1: *si* la percepción de la afirmación 1 es baja y la percepción de la afirmación 2 es baja, *entonces* el pensamiento directivo es poco humanista.

Regla 2: *si* la percepción de la afirmación 1 es alta o la percepción de la afirmación 2 es baja, *entonces* el pensamiento directivo es poco humanista.

Regla 3: *si* la percepción de la afirmación 1 es baja y la percepción de la afirmación 2 es alta, *entonces* el pensamiento directivo es medianamente humanista.

Estas reglas están construidas bajo la óptica de que la participación activa del empleado proporciona resultados a la empresa, y ello hace que la empresa trate a sus colaboradores como personas y no como recursos.

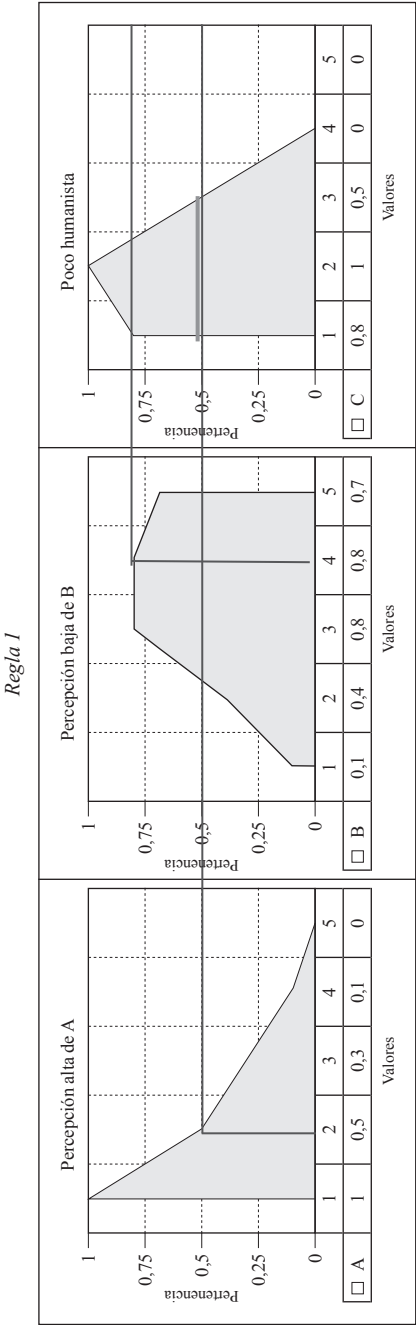
Para recrear el comportamiento del pensamiento de un actor de empresa se proponen las siguientes combinaciones de percepción:

Tabla 2. Calificación de afirmaciones 1 y 2

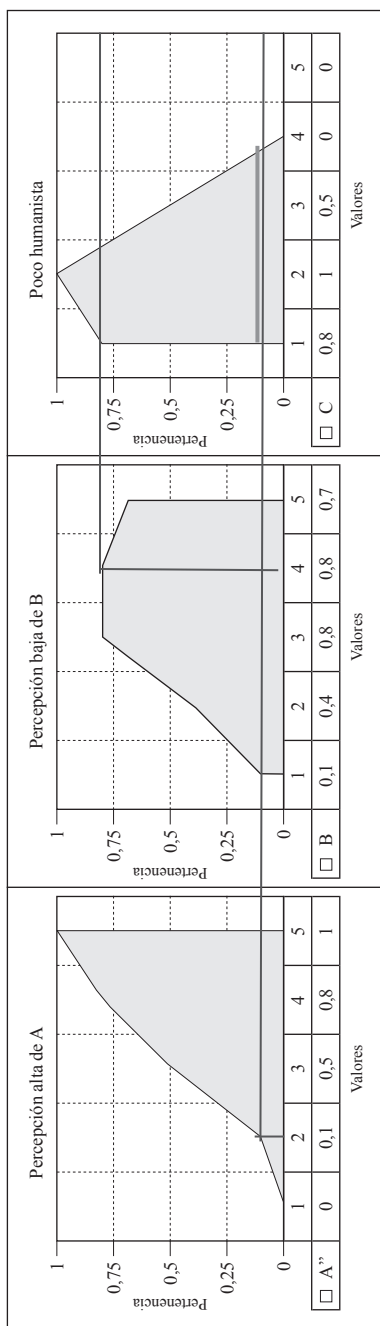
Combinación	Calificación		
	Uno	Dos	Tres
Afirmación 1	2	4	5
Afirmación 2	4	2	3

Para la inferencia de la combinación 1 acerca del pensamiento empresarial se tienen los siguientes gráficos según las reglas mencionadas:

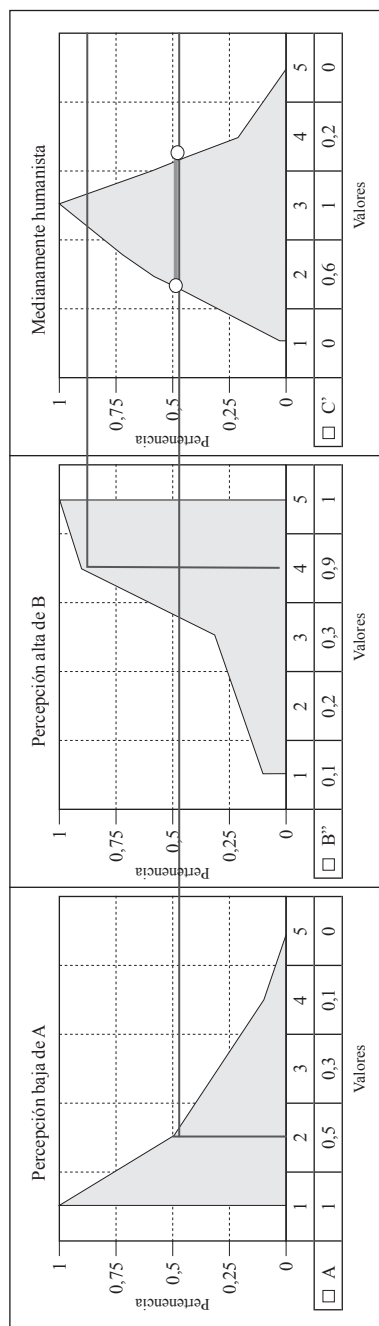
Figura 1. Reglas difusas



Regla 2



Regla 3



En la figura 2 se observa el proceso de inferencia por medio del método Mamdani (max-min).

Los valores de pertenencia para cada regla de la combinación 1 son:

- Regla 1: 0,5
- Regla 2: 0,5
- Regla 3: 0,48

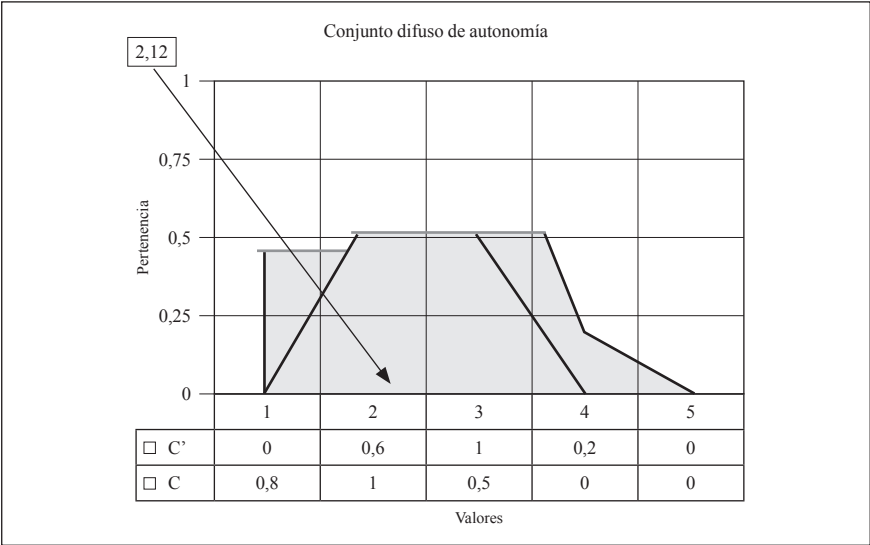
Usando el promedio ponderado sobre los resultados de la figura 2 se tiene un valor del pensamiento empresarial humanista.

(1)
$$PEH = \frac{0,45 * 1,375 + 0,5 * 2,8}{0,45 + 0,5} = 2,12$$

Para la combinación 1, cuando un empresario o directivo califica la percepción sobre la afirmación: “La empresa es efectiva cuando faculta a sus empleados y les da autonomía para intervenir en la solución de problemas”, con 2; y la afirmación: “El reconocimiento al desempeño y esfuerzo de los empleados propicia la identidad y cohesión social”, con 4; bajo un sistema de pensamiento como el dibujado con las tres reglas de la figura 1, se determina el pensamiento humanista con 2,12, calculado con la ecuación (1).

De la misma forma, para la combinación 2 se tienen las siguientes pertenencias y su valor de pensamiento es 2,26:

Figura 2. Inferencia por método Mamdani



Regla 1:	0,375
Regla 2:	0,375
Regla 3:	0,125

Y en el caso de la combinación 3 se tienen las siguientes pertenencias y su valor de pensamiento es 1,8.

Regla 1:	0,08
Regla 2:	0,08
Regla 3:	0,00

De las tres combinaciones el mayor nivel de pensamiento humanista lo tienen las empresas que contesten en la afirmación “1” con 4, y en la afirmación “2” con 2. En la muestra solamente una empresa obtuvo dicho resultado; 13 empresas obtuvieron un nivel de pensamiento de 2,12 y 3 mostraron un nivel de 1,8. La percepción más común es 4 en ambas afirmaciones, combinación con la que se obtiene un nivel de pensamiento de 1,8, muy por debajo de la combinación 4-2. En este sentido, los resultados de la muestra de empresas indican que el nivel de pensamiento humanista es medio, y que regularmente las empresas incentivan la eficiencia a través de la autonomía y apoyan las relaciones personales a través del reconocimiento del esfuerzo de los empleados.

Identificado el nivel de pensamiento humanista de la muestra tomada, a continuación se desarrolla el comportamiento del sistema compuesto por autonomía y eficiencia.

B. Conjuntos difusos

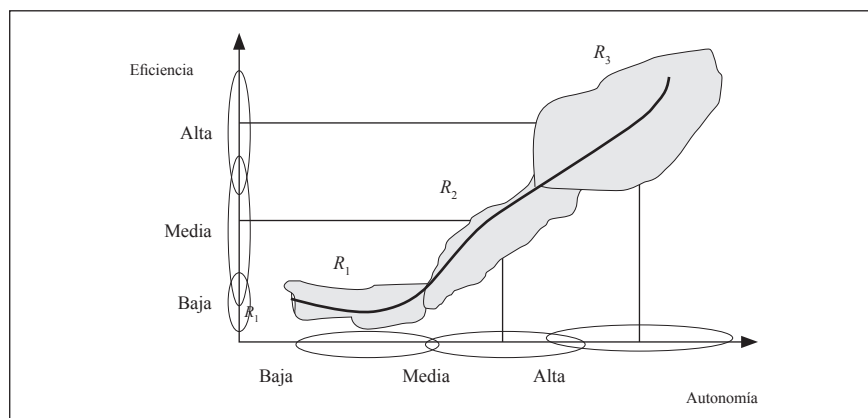
Los sistemas basados en reglas difusas tienen tres elementos: un conjunto de reglas que representan la dinámica para comprender el sistema, la información de entrada y la información de salida. Estos elementos se obtienen a través de la experiencia del observador o de la intuición que se tenga del funcionamiento del sistema.⁵ La transferencia de información de una condición hacia una conclusión se realiza por medio de una función que indica la relación entre las observaciones de entrada y las de salida. Para describir dichas relaciones entre las entradas y las salidas se utilizan las reglas lingüísticas de *si - entonces*.

Particularmente, se observa la autonomía de los empleados a través de una escala alta, media y baja, como datos de entrada del sistema; y las observaciones de salida son la eficiencia en el trabajo, segmentadas en alta, media y baja.

⁵ “la percepción humana del sistema [...] se basa en la experiencia, conocimientos, observación empírica, intuición, el conocimiento de la física del sistema, o un conjunto de preferencias subjetivas. El observador humano por lo general pone este tipo de conocimientos en forma de un conjunto de incondicional, así como en las proposiciones condicionales del lenguaje natural”. Traducción de la autora, ver Ross (2004: 250-251).

Una función no lineal de esta relación puede ser la siguiente:

Figura 3. Parches borrosos



Cada parche⁶ que se muestra de la figura 3 representa una regla lingüística, y cada regla es una relación entre un conjunto de entrada y un conjunto de salida. Este tipo de relaciones difusas describen un sistema no lineal.⁷ La unión de las relaciones o de los parches se denomina relación de transferencia del sistema difuso.

El sistema mencionado está formado por las siguientes reglas lingüísticas:

Si autonomía es baja entonces eficiencia es baja.

Si autonomía es media entonces eficiencia es media

Si autonomía es alta entonces eficiencia es alta.

Y los conjuntos difusos de la autonomía con los cuales se construyeron las reglas difusas de la figura 4 son los siguientes:

Autonomía baja entre 0 y 2.

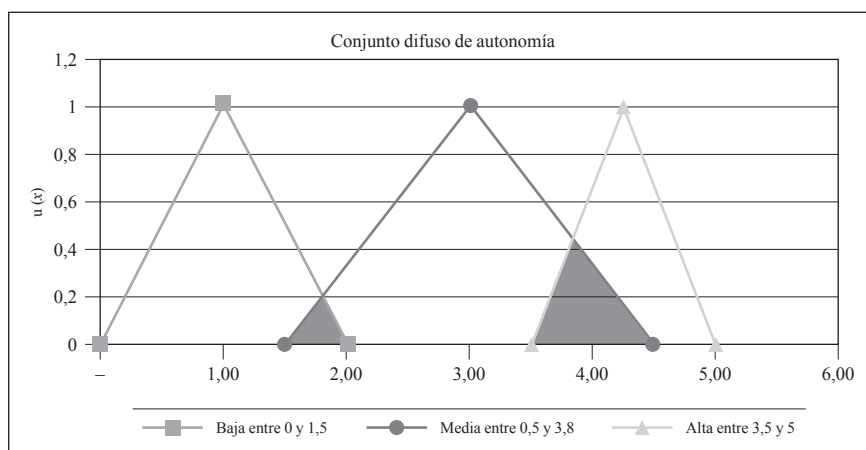
Autonomía media entre 1,5 y 4,5.

Autonomía alta entre 3,5 y 5.

⁶ “En general, todos los parches, incluidos los que representan las relaciones, se superponen debido a la ambigüedad en sus definiciones”. Traducción de la autora, ver Ross (2004: 252).

⁷ “La no linealidad de la ciencia es inherente a la interdisciplinariedad de la misma, que ha impactado tradicionalmente tanto a las ciencias, matemáticas e ingeniería, como a las ciencias sociales”. Traducción de la autora, ver National Research Council Staff (1997: 5).

Figura 4. Conjuntos difusos de autonomía

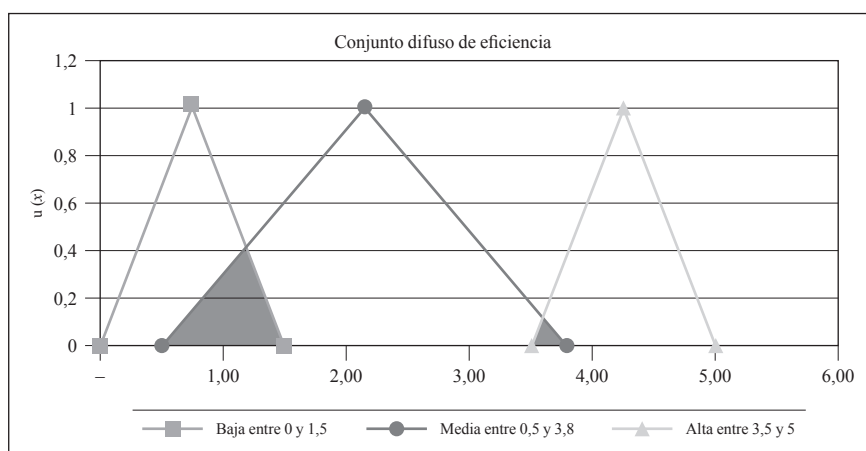


Dodd y Ganster en 1996 diferenciaron la autonomía en dos categorías: alta y baja. No obstante, para la observación de los comportamientos medios es importante dar tres categorías: alta, media y baja.

Y los conjuntos difusos que describen la eficiencia de la figura 5 son los siguientes:

Eficiencia baja entre 0 y 1,5.
Eficiencia media entre 0,5 y 3,8.
Eficiencia alta entre 3,5 y 5.

Figura 5. Conjuntos difusos de eficiencia

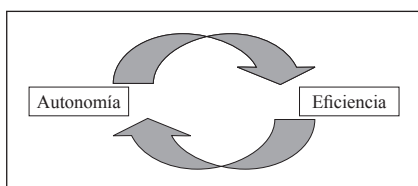


Con las reglas y los conjuntos definidos se construye el sistema de realimentación positiva.

C. Sistema

En la figura 6 se tiene el sistema compuesto por la percepción del empresario sobre la autonomía y eficiencia del empleado.

Figura 6. Sistema de autonomía - eficiencia



El comportamiento del sistema indica que la percepción de la eficiencia del empleado está relacionada con la percepción de la autonomía que este tiene en su trabajo; pero además la autonomía se ve afectada por la eficiencia. Para este sistema se cuenta con dos juegos de reglas difusas.

Las reglas difusas que enseñan la relación con la eficiencia, dada una autonomía, son:

Si la autonomía es menor a 2 entonces la eficiencia es menor a 1,5.

Si la autonomía está entre 1,5 y 4,5 entonces la eficiencia está entre 0,5 y 3,8.

Si la autonomía está entre 3,5 y 5 entonces la eficiencia está entre 3,8 y 5.

Y las reglas difusas para mostrar la relación con la autonomía dada una eficiencia son:

Si la eficiencia es menor a 1,5 entonces autonomía es menor a 2.

Si la eficiencia está entre 0,5 y 3,8 entonces autonomía está entre 1,5 y 4,5.

Si la eficiencia está entre 3,8 y 5 entonces autonomía está entre 3,5 y 5.

Al plasmar este sistema en una simulación, en la figura 7 se observa que la primera iteración parte de la autonomía, con una calificación de 4,90, la cual constituye un condicionante, y a esta autonomía le corresponde una eficiencia mayor a 3,8 pero menor a 5; en este caso la calificación para la eficiencia fue de 4,59, y corresponde a la llamada conclusión de la regla borrosa. En la segunda iteración el condicionante es la eficiencia de la iteración uno y la conclusión es la autonomía de la iteración dos.

Figura 7. Iteraciones

=+SI(C19<\$C\$10,DISTR.NORM.INV(B19,\$E\$10,\$F\$10);SI(Y(C19>\$C\$11,C19<\$D\$11),DISTR.NORM.INV(B19,\$E\$11,\$F\$11);SI(Y(C19>\$C\$12,C19<\$D\$12),DISTR.NORM.INV(B19,\$E\$12,\$F\$12);0)))			
	A		
18		AUTONOMIA	EFICIENCIA
19	1	4,90	4,59
20	2	4,25	4,40
21	3	2,91	3,11
22	4	2,90	3,10
23	5	2,81	3,06
24	6	3,11	3,20
25	7	4,02	4,88
26	8	4,35	4,50
27	9	2,91	3,11
28	10	3,40	3,34
29	11	3,43	3,35
30	12	3,52	3,40

Tras comenzar con una autonomía de 4,9, después de 22 iteraciones, el sistema se comporta como en la figura 8:

Es decir, en las primeras 18 iteraciones la eficiencia presenta un comportamiento medio pero superior a 3, y a partir de la iteración 19 la eficiencia cae a un nivel bajo.

Figura 8. Iteraciones de eficiencia

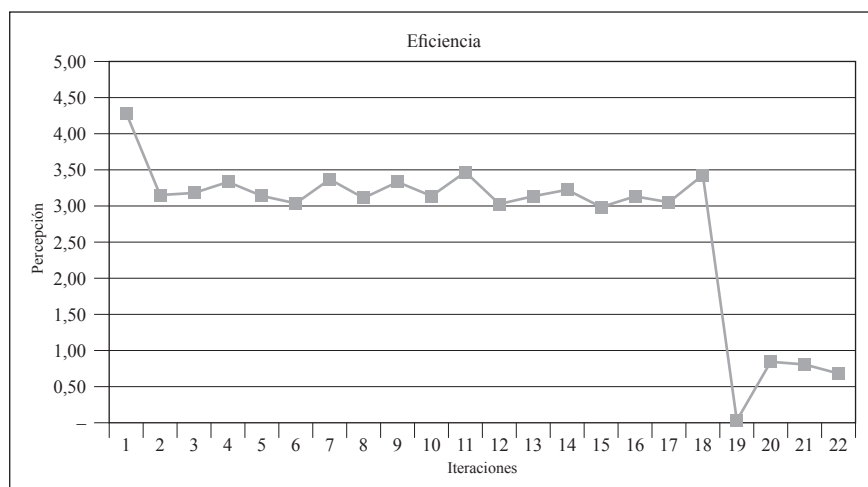
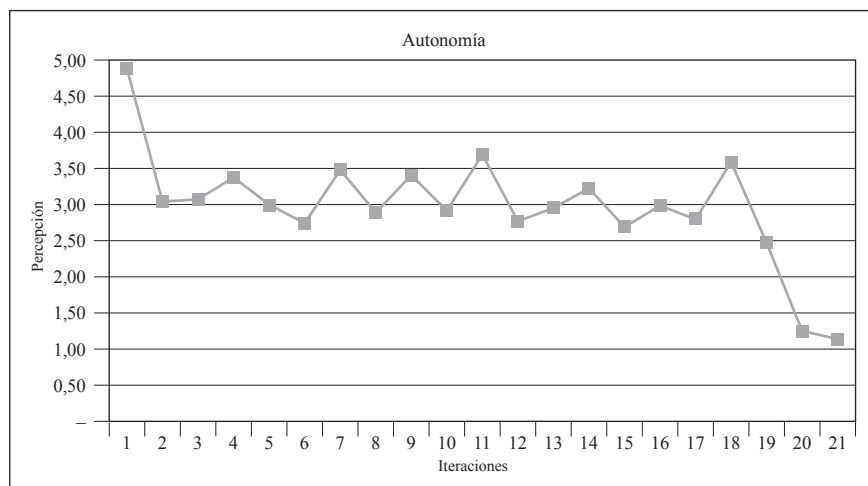


Figura 9. Iteraciones de autonomía



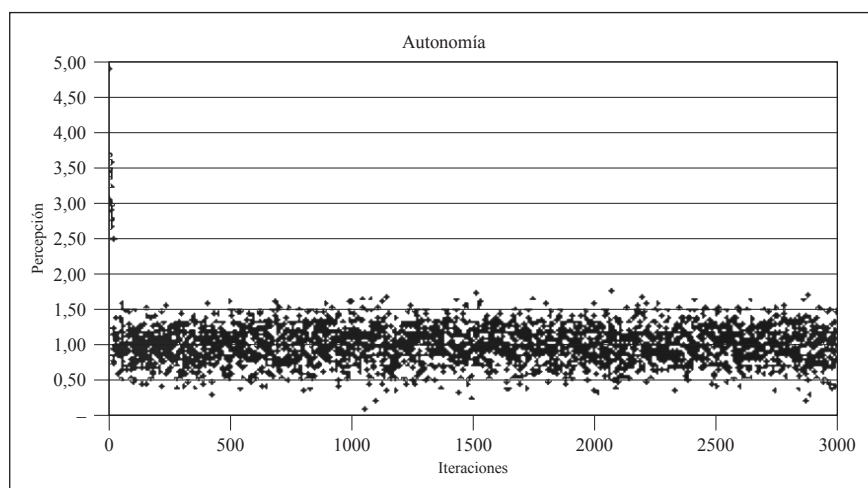
Análogamente, en la figura 9 la autonomía es media pero superior a 2,5, pero a partir de la iteración 19 el nivel de autonomía se registra como bajo.

Los resultados al simular con pocas iteraciones dejan ver que tanto la eficiencia como la autonomía se deterioran con el tiempo, es decir, una empresa puede mostrar una percepción positiva acerca de justifi-

car la autonomía de los empleados como consecuencia de la eficiencia y viceversa, pero si no interviene en un momento dado la eficiencia va a disminuir y por ende la autonomía también.

El resultado de una simulación de 3.000 iteraciones se observa en las figuras 10 y 11.

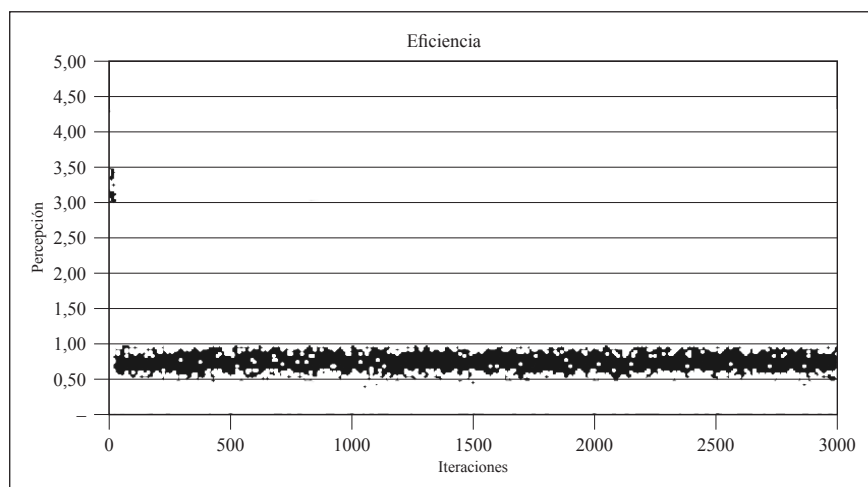
Figura 10. Tres mil iteraciones de autonomía



Aquí se identifica que después de la iteración 50 la autonomía cae a niveles muy bajos, y no regresa a ser ni media ni alta.

Del mismo modo, la eficiencia puede ser media en las primeras iteraciones, pero en condiciones continuas y después de 50 iteraciones el nivel es bajo, y no se recupera.

Figura 11. Tres mil iteraciones de eficiencia



Al analizar un diagrama de dispersión de la autonomía y la eficiencia, como el de la figura 12, se observan tres zonas: baja-baja, media-media y alta-alta.

Se identifica que cuando la eficiencia de los trabajadores es baja la autonomía es baja y, cuando la eficiencia es alta la autonomía es alta o viceversa. Este tipo de comportamiento es natural, dado que las empresas no pueden arriesgar sus recursos dando

autonomía a un empleado que no es eficiente en sus actividades, pero sí pueden confiar y dar autonomía a una persona que muestra resultados eficientes.

Para finalizar la comprensión del sistema propuesto por la autonomía y la eficiencia, a continuación se presentan las figuras 13, 14 y 15, que muestran los resultados de tres simulaciones, con 3.000 iteraciones cada una.

Figura 12. Diagrama de dispersión

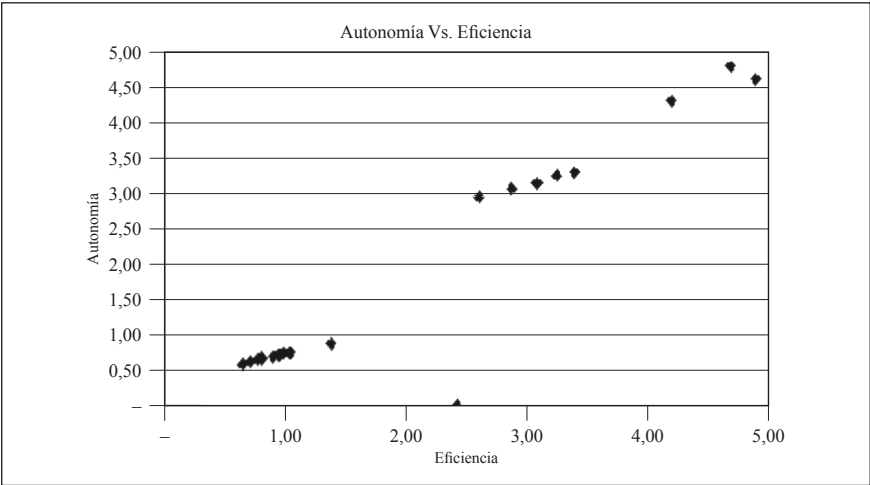


Figura 13. Simulación uno

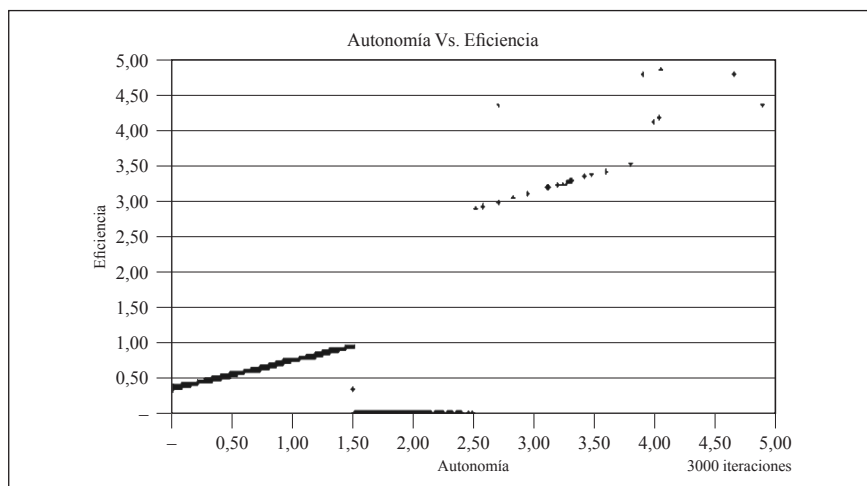


Figura 14. Simulación dos

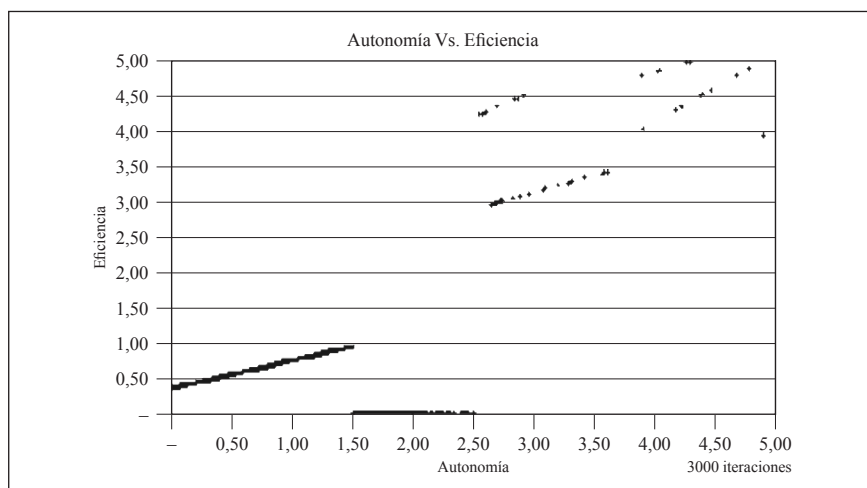
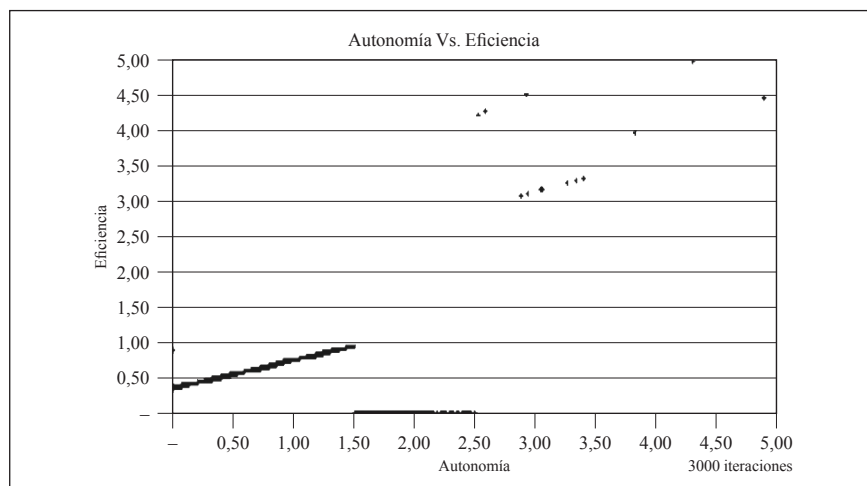


Figura 15. Simulación tres



En general, se observa que cuando la autonomía de los empleados es menor a 1,5, la eficiencia es menor a 1; si la autonomía está entre 1,5 y 2 la eficiencia es 0; cuando la autonomía está entre 2,5 y 3,75 la eficiencia puede tomar cualquier valor entre 2,8 y 3,6; y si la autonomía es mayor a 4,0 la eficiencia es mayor a 4.

En los diagramas de dispersión se observa el atractor que sigue el sistema cuando se repiten determinadas combinaciones tanto de autonomía como de eficiencia. Si una empresa dibuja su sistema de autonomía - eficiencia por debajo del atractor, entonces la autonomía con la que cuentan sus empleados no es responsable de la eficiencia. Pero si por el contrario la empresa se ubica por encima del atractor, está potencializando la poca

autonomía para lograr mayor eficiencia en los empleados.

III. CONCLUSIONES

La percepción constituye una herramienta para describir la asociación entre dos conjuntos difusos, como son los niveles de autonomía y eficiencia.

Las empresas de la muestra tienen un tipo de pensamiento empresarial poco humanista, solamente las empresas que después del proceso de desdifusificación tienen un nivel mayor a 1,8 dan indicios de contar con sus empleados para la obtención de resultados.

Bajo condiciones constantes una empresa puede desmejorar su efi-

ciencia si da, en repetidas ocasiones, autonomía a sus empleados; pero lo más oportuno es monitorear las actividades del empleado después de determinados resultados, con el fin de que no se desmejore la eficiencia. Si por el contrario la empresa no hace algún tipo de inspección es posible que los niveles de eficiencia caigan debido a una total autonomía; y una vez que la eficiencia caiga es necesario que la empresa baje los niveles de autonomía, pero es posible que aun así no se recupere la eficiencia del empleado.

El sistema compuesto por la percepción de autonomía y eficiencia de los empleados es circular, y el resultado de la una depende del resultado de la otra. Aunque los parches borrosos muestran una relación creciente, se observa un atractor hacia tomar valores bajos en cada variable, lo cual indica que este sistema requiere tener algún elemento perturbador que lo mantenga en niveles altos, tanto de eficiencia como de autonomía. Es posible que este perturbador pueda consistir en un controlador de la autonomía.

El atractor del sistema autonomía - eficiencia indica que la probabilidad de obtener eficiencia baja con autonomía baja es mayor que la probabilidad de obtener eficiencia alta con autonomía alta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albi, E. (1992), "Evaluación de la eficiencia pública: el control de la eficiencia del sector público". En: *Hacienda Pública Española*, 120: 300-305.
- Dodd, N. y Ganster, D. (1996), "The Interactive Effects of Variety, Autonomy, and Feedback on Attitudes and Performance". En: *Journal of Organizational Behavior*, 7(4): 329-347
- Hackman, J. y Oldman, G. (1976), "Motivation through the Design of Work: Test of the Theory". En: *Organization Behavior and Human Performance*, 16: 250-279.
- Mamdani, E. y Assilian, S. (1975), "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller". En: *International Journal of Man Machine Studies*, 7 (1): 1-13.
- National Research Council Staff (1997), *Nonlinear Science*, Washington, D.C.: National Academies Press.
- O'Connor, J. (1998), *Introducción al pensamiento Sistemico*, Barcelona: Urano.

Ross, T. (2004), *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, 2.^a ed., New York: John Wiley & Sons.

Zadeh, L. (1965), "Fuzzy Sets". En: *Information & Control*, 8: 338-353.-