

Uso de conjuntos difusos para cuantificar el potencial de cuerpos académicos desde la conformación de redes científicas de colaboración

Fuzzy sets implementation to quantify the potential for academic groups from the formation of scientific collaboration networks

Lucio Flores Payán^{1*}, Ricardo Pérez Mora¹

Flores Payán, L., Pérez Mora, R. Uso de conjuntos difusos para cuantificar el potencial de cuerpos académicos desde la conformación de redes científicas de colaboración. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 68: 70-77, mayo-agosto 2016.

RESUMEN

El establecimiento de redes de colaboración científica de Cuerpos Académicos, se presenta al paso del tiempo como un elemento estratégico para la generación y difusión de conocimiento. Es en este sentido que el análisis y estudio de estas redes y sus resultados se presentan de forma pertinente; sin embargo, es un fenómeno complejo y multidimensional. Es por esto que se requieren nuevas formas y herramientas para su estudio. El presente trabajo indaga en la teoría de la lógica difusa como elemento de análisis que permite de forma precisa una distinción en la cuantificación del potencial de los Cuerpos Académicos de forma multidimensional; se hace evidente el mayor potencial que tienen los cuerpos académicos que conforman redes de colaboración científica.

ABSTRACT

The establishment of networks of scientific collaboration of academic groups occurs like a strategic element for the generation and dissemination of knowledge. It is in this sense that the analysis and study of these networks and their results are presented in an appropriate

Palabras clave: grupos académicos, redes de colaboración, lógica difusa, conjuntos difusos, redes institucionales, producción de conocimiento.

Keywords: academic groups, networks, fuzzy logic, fuzzy sets, institutional networks, knowledge generation.

Recibido: 11 de febrero de 2015, aceptado: 28 de enero de 2016

¹ Departamento de Políticas Públicas, Universidad de Guadalajara.
* Autor para correspondencia: florespayan@hotmail.com

way, however, it is a complex and multidimensional phenomenon. This is why new methods and tools are required. This paper explores the theory of fuzzy logic as an element of analysis that allows to accurately distinguish in quantifying the potential of academic groups in a multidimensional way. It makes evident the greater potential of academic bodies that make scientific collaboration networks.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las sociedades actuales como un fenómeno social hace evidentes nuevas necesidades, que en mayor medida son canalizadas en elementos científico-tecnológicos, una reorganización de la base sociocultural anticipada por el reacomodo del mercado y su dependiente economía, todo esto demanda formas más integrales de generación de conocimiento científico y su pertinente difusión y propagación, de tal manera que faculte el entendimiento de estos comportamientos contemporáneos para la comprensión de este fenómeno social.

En ese sentido, la conformación de redes juega un rol central como estrategia consensada por los integrantes para potencializar la generación de conocimiento, transmisión de información y difusión de la influencia de algunas organizaciones en el ámbito social (Kossinets y Watts, 2009). El concepto de redes es utilizado en diferentes esferas y ámbitos, algunas principales son: social, político, tecnológico, industrial y en mayor medida cibernético.

La producción de conocimiento científico y tecnológico ha cobrado un papel fundamental en el mercado internacional y es señalado como uno de los

factores clave para la integración y competitividad dentro del contexto económico global (Banco Mundial, 2003). Es así que la conformación de redes en general y de las redes de colaboración académicas en particular cobra un alto valor, porque permite a los académicos y científicos trabajar con flexibilidad e integración.

El presente trabajo establece como hipótesis central la importancia que encuentra la integración de redes de colaboración en la esfera científica y académica, esto en términos de la generación de conocimiento, su difusión y divulgación, así como para la transmisión de información. Lo anterior bajo el supuesto de que a partir del intercambio de ideas como trabajo colaborativo se logra potencializar la generación de conocimiento.

Los llamados cuerpos académicos (CA) como una forma o modo colectivo de producir conocimiento pueden verse constituidos como tejidos académicos de trabajo, y de esta forma ser estudiados bajo los criterios de las redes para generación de conocimiento. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo elemental cuantificar el potencial que podrían alcanzar los cuerpos académicos promovidos por el Programa para el desarrollo profesional docente (PRODEP) en México, a partir de dos ejes analíticos: a) la construcción de redes y b) los elementos de investigación. Para alcanzar este objetivo, se desarrolló un Índice difuso del potencial de los cuerpos académicos (IDPca), que fue construido a partir de los elementos de la teoría de la lógica difusa, esto con la intención de determinar de forma más puntual y multidimensional los elementos mediante los cuales puede ser cuantificado el nivel de desarrollo que podrían alcanzar los CA a partir de la construcción de redes de colaboración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Jackson y Wolinsky (1996) exponen un procedimiento para la cuantificación de la utilidad de una red en términos de conectividad entre sus integrantes, para fines del presente trabajo se ha retomado esta propuesta adaptándola en términos de cuantificar la utilidad a partir de la producción y desarrollo de actividades de los CA, esto con la intención de hacer visible un comparativo entre el potencial de desarrollo que logran los CA que establecen redes de colaboración contra los que no hacen este tipo de redes.

En la revisión de literatura relacionada con el tema de redes, Salas y Murillo (2014) proponen una serie de supuestos para el análisis, que para fines del presente trabajo son retomados como elementos principales en los cuales se sustenta la construcción analítica y metodológica:

- El proceso considera la unión de más de dos agentes que desean formar, mantener o romper vínculos entre ellos (Jackson, 2005).
- Es necesario consentimiento mutuo, aunque la ruptura es unilateral pudiendo realizarse formal o informalmente (Carayol et al., 2008).
- Los agentes basan sus decisiones tanto en la utilidad inmediata que les generan los vínculos (Jackson, 2008; Carayol y Roux, 2009).
- Las redes son dinámicas y, por tanto, propensas a evolucionar (Jackson, 2005).

En el actual trabajo se utilizaron los datos generados a partir de la aplicación del cuestionario "Modos colectivos de producción de conocimiento en universidades Públicas Estatales" (UPE), mismo que se encuentra constituido por 628 observaciones con relación a las actividades y estado actual de los cuerpos académicos de 59 universidades de México —que son mostradas en los anexos de este trabajo—.

Se analiza el potencial de los cuerpos académicos desde del trabajo colaborativo y la conformación de redes a partir de dos ejes analíticos: Investigación y Gestión. Se pretende proponer un modelo analítico que faculte la medición cuantitativa del potencial de cada CA, la idea tiene fundamento en la proposición de una función de utilidad que integre los factores que influyan en el potencial de un CA:

$$\text{Potencial del CA} = f(\text{investigación}_i^n, \text{gestiones}_i^n)$$

La anterior función de utilidad es desarrollada con conjuntos difusos, para lo cual fueron contemplados seis indicadores que representan actividades de investigación y gestión desempeñadas por los CA y se muestran en la Tabla 1.

Los conjuntos difusos han sido utilizados de manera más puntual para encontrar soluciones en procesos de ingeniería, debido a la factibilidad de realizar el mesurado de información subjetiva e imprecisa a partir de la creación de un sistema de

Tabla 1. Indicadores utilizados para el cálculo del IDPca

Ejes de análisis	Indicadores	Ejes de análisis	Indicadores
Eje 1. Títulos académicos	1. Reconocimiento PRODEP	Eje 4. Actividades de Gestión	6. Actividades de vinculación <ul style="list-style-type: none"> • Vinculación con el sector social (organizaciones sociales, ONG) • Vinculación con el sector privado (empresa, industria) • Vinculación con el sector público (gubernamentales).
	2. Reconocimiento del Sistema Nacional de Investigadores (SNI)		
	3. Título de Doctorado		
Eje 2. Formación de recursos humanos	4. Estudiantes en apoyo en el CA		
Eje 3. Actividades de investigación	5. Tipo de actividades realizadas <ul style="list-style-type: none"> • Artículos en revistas indexadas • Artículos en revistas arbitradas • Capítulos de libro • Libros • Proyectos de investigación • Formación de grupos de investigadores • Patentes • Prototipos • Asesorías • Consultorías • Memorias en extenso • Dirección de tesis 		
		Eje 5. Intercambios académicos	7. Intercambios <ul style="list-style-type: none"> • Al extranjero • Al interior del país • En la entidad

Elaboración propia.

inferencia difusa (SID), el cual es conformado por un algoritmo de procesamiento de datos inexactos.

La relevancia de la creación de un SID es la posibilidad de la correspondencia no lineal entre

una o varias variables de entrada y una variable de salida, pasando por un proceso de transformación y recuperación de los datos (*fuzzificación-desfuzzificación*) (ver Figura 1).

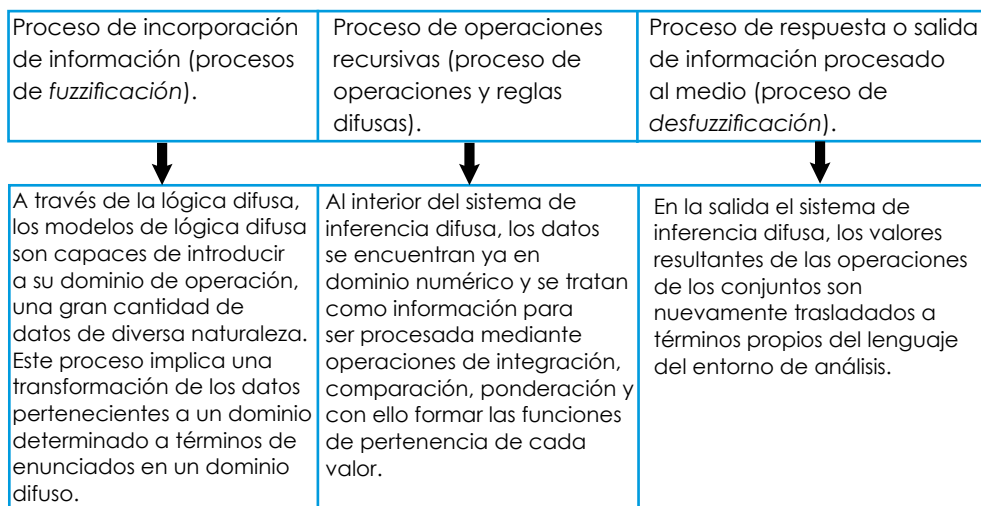


Figura 1. Etapas del sistema de inferencia difuso. Fuente: Flores y Camarena (2013).

Zadeh (1965) fue uno de los pioneros en el diseño y uso de la estructuración de conjuntos difusos, concibiéndolos como una colección de objetos, donde a cada uno de estos objetos le corresponde una función de membresía, la cual asigna un cierto grado de pertenencia a un conjunto definido. La función de pertenencia distingue un rango que puede ser un conjunto de números reales no negativos, convencionalmente formada entre 0 y 1 y de forma continua como se muestra en la Figura 2.

$$X \mu_A \rightarrow [1,0].$$

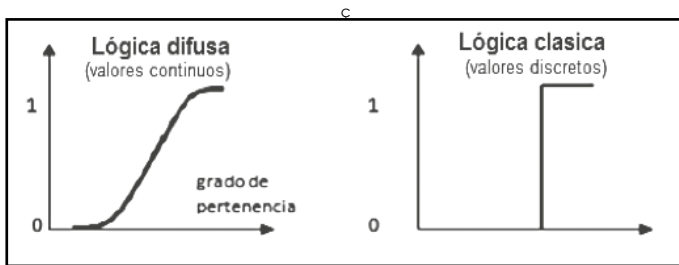


Figura 2. Lógica difusa vs. lógica clásica. Elaboración propia.

La representación matemática de un conjunto difuso cuando X es una colección de objetos denotados por x , $X=\{x_1, x_2, x_3, \dots\}$, así un subconjunto difuso A en X es un conjunto de pares ordenados:

$$A = \{x, \mu_A(x), |x \in U\}$$

En la investigación social la implementación de los conjuntos difusos ha sido realizada por autores como López et al. (2009), quienes realizan un modelo difuso para la descomposición y cuantificación multidimensional de la pobreza, asimismo, Flores Payán y García Batíz (2013) realizan la evaluación del programa público HÁBITAT, proponiendo un modelo basado en conjuntos difusos para la cuantificación del impacto que dicho programa alcanza en su población objetivo. De acuerdo con lo anterior, para el presente trabajo fueron construidos cinco sistemas de inferencia difusos (SID) para la cuantificación del potencial y la generación del IDPca, dichos SID se conformaron por los conjuntos referentes a cada uno de los ejes de análisis y sus particulares reglas difusas diseñadas a partir de tablas de verdad.

Para cada variable se construyó un conjunto difuso que hace uso de etiquetas lingüísticas para reflejar en un continuo el grado de potencial que puede alcanzar cada CA. Para fines explicativos, a continuación se detalla la construcción del

conjunto asociado al indicador de porcentaje de miembros pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), porcentaje de miembros que cuentan con reconocimiento PRODEP y porcentaje de miembros que cuentan con título doctoral de cada cuerpo académico.

La Figura 3 representa el conjunto difuso generado para la cuantificación del porcentaje de miembros pertenecientes al SNI de cada cuerpo académico y que está conformado por tres funciones de pertenencia, la etiqueta "malo" agrupa el más bajo porcentaje de miembros del SNI con relación al total de CA e igualmente para las otras dos funciones de pertenencia etiquetadas como "regular" y "buena".

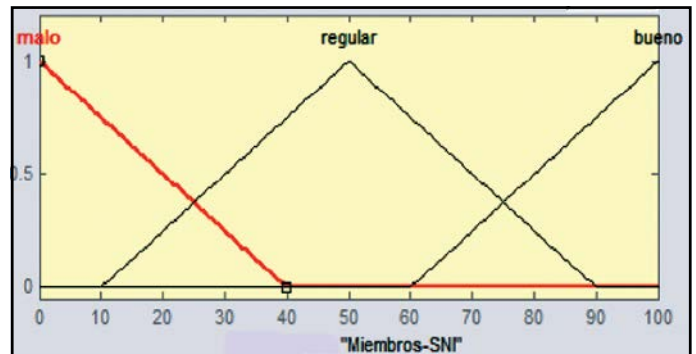


Figura 3. Conjunto difuso para el porcentaje de miembros en el SNI de los CA. Elaboración propia.

La integración de este tipo de conjuntos difusos perteneciente a cada indicador conformó el SID que se muestra en la Figura 4 y que representa el eje 1.

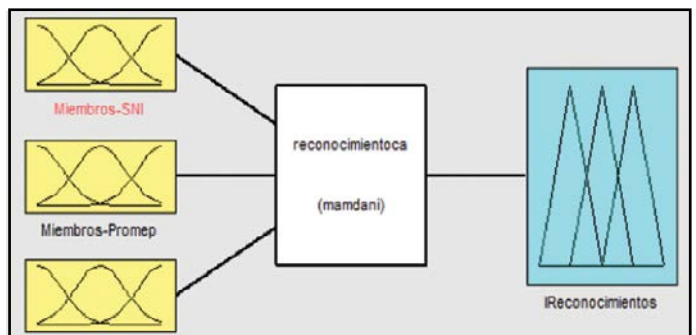


Figura 4. Sistema de inferencia difuso para el eje de Títulos Académicos. Elaboración propia.

A partir de la conformación de los cinco SID se generaron los IDPca, mediante el procedimiento de fuzziificación- defuzziificación se definió la salida. Para esta aplicación, el potencial de los CA se

valoró en cinco conjuntos de tipo triangular con las etiquetas “muy mala”, “mala”, “regular”, “buena” y “muy buena”, tal como se ilustra en la Figura 5.

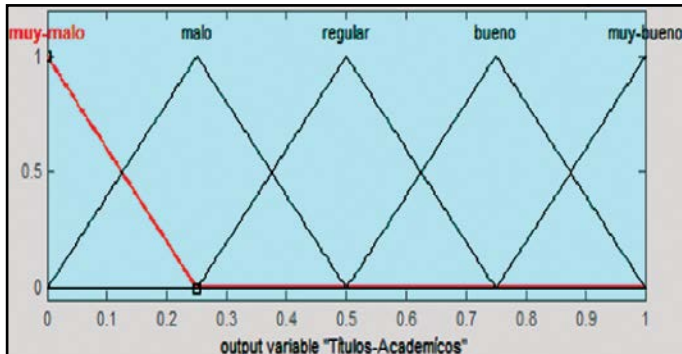


Figura 5. Variable de salida de SID. Elaboración propia.

Es pertinente hacer mención de los beneficios que supone la construcción de este tipo de conjuntos y en general del abordaje desde la teoría de la lógica difusa, posiblemente lo más significativo es su capacidad para transformar las variables que tradicionalmente se codifican dicotómicamente o por estratos, en un continuo que permite identificar diferentes matices en el análisis y por tal en los resultados obtenidos.

RESULTADOS

El análisis y cálculo del IDPca versó en el sentido de hacer el comparativo entre los cuerpos académicos que colaboran en red con algunos miembros de

otros cuerpos académicos y los que no establecen redes de colaboración, lo anterior bajo cuatro principales formas de red; redes de colaboración Institucionales, redes de colaboración estatales, redes de colaboración nacionales y las redes de colaboración internacionales.

La Tabla 2 muestra el IDPca para cada una de las 59 universidades involucradas diferenciado por el tipo de redes que establecen, donde el valor del potencial más elevado es el que se ubica en la universidad 14.

DISCUSIÓN

En la Figura 6 se muestra el porcentaje de cuerpos académicos que recaen bajo una escala de clasificación con base en el potencial obtenido, a partir del rango total se realiza una subclasificación equidistante considerando tres niveles de potencial: bajo potencial, potencial medio y alto potencial. Se percibe en el primer momento una concentración en la región central del país, donde los cuerpos académicos alcanzan mayor potencial; asimismo, es evidente que en la parte sur del país se encuentran los CA con menor potencial.

El cálculo del IDPca mediante el uso de SID permite también generar índices promedio multidimensionales, la Tabla 3 muestra el valor del $\rightarrow IDPca$ por tipo de red que establece cada CA si es que hacen redes.

Tabla 2. Potencial de los cuerpos académicos

Universidad	IDPca	Universidad	IDPca	Universidad	IDPca	Universidad	IDPca	Universidad	IDPca	Universidad	IDPca
1	0.3116	11	0.4587	21	0.3463	31	0.439	41	0.4416	51	0.3124
2	0	12	0.3864	22	0.3294	32	0.4052	42	0.4205	52	0
3	0.2883	13	0.4661	23	0.4097	33	0.3267	43	0.3511	53	0.3364
4	0	14	0.4839	24	0.4188	34	0.2957	44	0.4342	54	0.4418
5	0.3742	15	0.4539	25	0.4166	35	0	45	0	55	0.3958
6	0	16	0.3867	26	0.3259	36	0.3281	46	0.1728	56	0.3035
7	0.466	17	0.41	27	0.3588	37	0.3716	47	0.3638	57	0
8	0.2616	18	0.4266	28	0.3659	38	0.3659	48	0	58	0.311
9	0.4218	19	0.3989	29	0.4795	39	0.3542	49	0.2764	59	0.386
10	0.3557	20	0.4061	30	0.3608	40	0.2378	50	0		

Elaboración propia.



Figura 6. Grado de potencial de los CA. Elaboración propia.

Tabla 3. $\rightarrow IDPca$ por tipo de red conformada por los CA

	Redes institucionales	Redes estatales	Redes nacionales	Redes internacionales
Sí hacen redes	0.4032	0.4132	0.4076	0.4259
No hacen redes	0.3327	0.3568	0.3332	0.3477

Elaboración propia.

Resalta el hecho de que para los cuatro casos de tipos de redes el $\rightarrow IDPca$ es mayor en los CA que sí establecen una red de colaboración. Lo anterior faculta pensar la existencia del beneficio de la conformación de redes de colaboración. Igualmente se calculó el $\rightarrow IDPca$ por grado de consolidación de los CA, en donde es evidente el mayor potencial en los CA consolidados y que sí establecen redes de colaboración, por su parte el menor potencial recae en los CA en formación (Tabla 4). En este sentido se corrobora el beneficio de un nivel consolidado de trabajo al interior del CA, así como la conformación de redes de alguno de los cuatro tipos analizados.

El análisis permitió calcular el potencial promedio que tienen las universidades incluidas por área del conocimiento, para lo cual resaltan con mayor potencial los CA que realizan actividades

Tabla 4. $\rightarrow IDPca$ por grado de consolidación del CA

Grado de Consolidación del CA	Sí hacen redes	No hacen redes
1.- En formación	0.4403	0.3066
2.- En consolidación	0.445	0.3098
3.- Consolidado	0.4573	0.3272

Elaboración propia.

de investigación y gestión en el área agropecuaria particularmente y que al igual que todas las áreas establecen redes de colaboración (Tabla 5). Es evidente otra vez la confirmación del mayor potencial en los CA que establecen algún tipo de red de colaboración.

Tabla 5. Potencial por área del conocimiento y grado de consolidación de los CA

Grado de consolidación del CA	Área del conocimiento	Sí hacen redes	No hacen redes
1	Agropecuarias	0.5663	0.2911
	Sociales y Administrativas	0.3817	0.3055
	Salud	0.5063	0.2979
	Ingeniería y Tecnología	0.4692	0.2768
	Naturales y Exactas	0.4121	0.3196
	Educación, Humanidades y Artes	0.001	0.3033
2	Agropecuarias	0.5242	0.3777
	Sociales y Administrativas	0.4693	0.3379
	Salud	0.3733	0.2993
	Ingeniería y Tecnología	0.4724	0.3045
	Naturales y Exactas	0.4557	0.2837
	Educación, Humanidades y Artes	0.3591	0.2978
3	Agropecuarias	0.5154	0.3841
	Sociales y Administrativas	0.4806	0.3881
	Salud	0.5228	0.2971
	Ingeniería y Tecnología	0.4429	0.3592
	Naturales y Exactas	0.5016	0.2513
	Educación, Humanidades y Artes	0.4072	0.3293

Elaboración propia.

Tabla 6. Universidades contempladas para el estudio

Universidades				
1.-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	14.-Universidad Autónoma de Campeche	27.-Universidad Autónoma de Yucatán	40.-Universidad de la Sierra Juárez	53.-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
2.-Centro de Estudios Superiores de Sonora	15.-Universidad Autónoma de Chiapas	28.-Universidad Autónoma de Zacatecas	41.-Universidad de Occidente	54.-Universidad Juárez del Estado de Durango
3.-El Colegio de México	16.-Universidad Autónoma de Chihuahua	29.-Universidad Autónoma del Carmen	42.-Universidad de Quintana Roo	55.-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
4.-El Colegio Mexiquense, A. C.	17.-Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	30.-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	43.-Universidad de Sonora	56.-Universidad Pedagógica Nacional
5.-Escuela Nacional de Antropología e Historia	18.-Universidad Autónoma de Coahuila	31.-Universidad Autónoma del Estado de México	44.-Universidad del Caribe	57.-Universidad Popular de la Chontalpa
6.-Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía	19.-Universidad Autónoma de Guerrero	32.-Universidad Autónoma del Estado de Morelos	45.-Universidad del Istmo	58.-Universidad Tecnológica de la Mixteca
7.-Instituto Tecnológico de Sonora	20.-Universidad Autónoma de Nayarit	33.-Universidad Autónoma Indígena de México	46.-Universidad del Mar	59.-Universidad Veracruzana
8.-Instituto Tecnológico Superior de Cajeme	21.-Universidad Autónoma de Nuevo León	34.-Universidad Autónoma Metropolitana	47.-Universidad del Papaloapan	
9.-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	22.-Universidad Autónoma de Querétaro	35.-Universidad Autónoma Yucatán	48.-Universidad Intercultural de Chiapas	
10.-Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	23.-Universidad Autónoma de San Luis Potosí	36.-Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas	49.-Universidad Intercultural del Estado de México	
11.-Universidad Autónoma de Aguascalientes	24.-Universidad Autónoma de Sinaloa	37.-Universidad de Colima	50.-Universidad Intercultural del Estado de Tabasco	
12.-Universidad Autónoma de Baja California	25.-Universidad Autónoma de Tamaulipas	38.-Universidad de Guadalajara	51.-Universidad Intercultural Indígena de Michoacán	
13.-Universidad Autónoma de Baja California Sur	26.-Universidad Autónoma de Tlaxcala	39.-Universidad de Guanajuato	52.-Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo	

Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La cuantificación del potencial de los cuerpos académicos permite evidenciar la relevancia que tiene la construcción de redes de cooperación, en los casos analizados es notorio el incremento que se genera en la capacidad de acción de los CA que tienen relaciones con otros CA. A pesar de que en la esfera institucional es en donde se evidencian mayores diferencias, en los tres tipos de redes se visualizan mejores condiciones para los CA que sí establecen redes de cooperación.

El análisis presentado en este trabajo comprueba los planteamientos de la teoría de construcción de redes, que establece mejores niveles -en este caso- de producción y generación del conocimiento; es decir, la cooperación al interior de las universidades como al exterior entre CA, podrá propiciar mejoras en la generación de conocimiento científico.

El estudio de fenómenos sociales, y en específico el análisis y cuantificación del potencial de CA a partir de su productividad y la conformación de redes, ha encontrado una elemental distinción, de ser multidimensional y totalmente dinámico, pocas y cada vez menos veces explicado de forma estática y unidimensional. En este sentido el uso de la teoría de la lógica ha permitido en primer momento un análisis de forma multidimensional, así como mayor precisión en el cálculo del IDPca. Sin embargo, es pertinente resaltar, que el actual trabajo podrá alcanzar una mayor profundidad en el análisis, en tanto se puedan incluir en la metodología de cuantificación más ejes de análisis que puedan ser representativos del total de las actividades que realizan los Cuerpos Académicos en México y que es precisamente la continuidad que se seguirá en esta línea de investigación y queda como propuesta para futuros trabajos que complementen el presente y permitan abonar al conocimiento de la producción científica y el análisis de cuerpos académicos.

LITERATURA CITADA

- BANCO INTERNACIONAL DE RECONSTRUCCIÓN Y FOMENTO/BANCO MUNDIAL. *Construyendo Sociedades del Conocimiento: Nuevos Desafíos para la Educación Terciaria*. Washington, DC, EE. UU.: Autor, 2003.
- CARAYOL, N. y ROUX, P. Knowledge flows and the geography of networks: A strategic model of small world formation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 71(2): 414-427, 2009.
- CARAYOL, N. et al. Ineficiencias in a model of spatial networks formation with positive externalities. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 67(2): 495-511, 2008.
- FLORES, L. y CAMARENA, M. Evaluación de programas públicos en el marco de la realidad social, metodología basada en la lógica difusa como instrumento para el análisis de fenómenos sociales. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social-ReLMS*, 3(5): 8-23, 2013.
- FLORES PAYÁN, L. y GARCÍA BATÍZ, M. L. Evaluación de programas públicos mediante lógica difusa: el caso del Programa Hábitat. *Política y Cultura*, otoño 2013(40): 231-255, 2013.
- JACKSON, M. O. *Social and economic networks*. Princeton: Princeton University Press, 2008.
- JACKSON, M. O. The economics of social networks. En R. Blundell, W. Newey & T. Persson (Eds.), *Proceedings of the 9th World Congress of the Econometric Society* (1-56). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005.
- JACKSON, M. O. y WOLINSKY, A. A strategic model of social and economic networks. *Journal of Economic Theory*, 71(1): 44-74, 1996.
- KOSSINET, G. y WATTS, D. Origins of homophily in an evolving social network. *American Journal of Sociology*, 115(2): 405-450, 2009.
- LÓPEZ, A. et al. Descomposición de la pobreza multidimensional mediante el enfoque de conjuntos difusos: una aplicación para el México rural. *Documento de trabajo del CIDE-División de Economía*, 464, 2009.
- SALAS, I. y MURILLO, F. Las microinteracciones como el origen de las redes de cooperación. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social*, 4(7): 57-77, 2014.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3): 338-353, 1965.