

Red de coautoría de investigadores ambientalistas

Co-authorship network of environmental researchers

LÁMBARRY, Fernando¹

LLANOS, Luis F.²

Resumen

El objetivo fue comprender las estructuras topológicas de las redes de coautorías de los investigadores ambientalistas niveles 2, 3 y eméritos de México. Se apoyó en el uso de la teoría de redes de coautoría, en particular en las métricas de topología. Los investigadores bajo estudio, aunque publican colectivamente, configuraron una red de coautoría fragmentada con un componente principal con propiedades que se explican por el modelo de *mundo pequeño*. Se sugiere fomentar la colaboración científica disciplinaria e interdisciplinaria.

Palabras clave: teoría redes, red fragmentada, centralidad, mundo pequeño

Abstract

The objective was to analyze the topological structure of the co-authorship network of the environmental researchers' levels 2, 3 and emeritus of Mexico. For this purpose, the research method was based on the network theory and specifically on topology metrics. The researchers under study, although they publish collectively they form a fragmented co-authoring network with a main component with properties that are explained by the small world model. It is suggested to promote disciplinary and interdisciplinary scientific collaboration.

key words: network theory, fragmented network, centrality, small world

1. Introducción

En México, ser investigador nacional es una distinción otorgada por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), que es el órgano rector para el desarrollo de la investigación científica y tecnológica del país (Conacyt, 2014), la distinción es el resultado de la calidad y cantidad de sus publicaciones. Pero más allá de esta distinción para los investigadores mexicanos, una de las políticas del gobierno mexicano es la promoción y el fortalecimiento de grupos de investigación inter y multidisciplinarios, así como la creación de redes de investigación prioritarias en el sector de ciencia, tecnología e investigación (Conacyt, 2014).

Una de las formas más populares de analizar las redes de investigación, desde un punto de vista académico, es a través de la coautoría de las publicaciones resultantes de su investigación. Colectivamente, los científicos que

¹ Docente investigador. Departamento. Escuela Superior de Comercio y Administración. Instituto Politécnico Nacional. flambarry@ipm.mx

² Profesor investigador. Facultad de economía y negocios. Universidad Anáhuac. luis.llanos@anahuac.mx

coautorizan forman una red de coautoría (Kumar, 2015a, Newman, 2004a). La cual, para su comprensión, ha sido estudiada a través de herramientas de análisis de redes sociales caracterizadas por sus propiedades topológicas y patrones de colaboración (Newman, 2001, 2004a; Barabasi y Albert, 1999). Además de la reciente complejidad e interdisciplinariedad de las investigaciones (Baker, 2014), que ha causado en los científicos una tendencia natural de colaboración y asociación multidisciplinaria (Lee y Bozeman, 2005; Abramo, D'Angelo, y Di Costa, 2009; De Stefano, Fuccella, Prosperina y Zaccarin, 2013; Aghakhani, Lagzian y Hazarika, 2013), en donde la coautoría en las publicaciones puede explicarse por estructuras de red basadas en la teoría de la centralidad (Newman, 2001, 2004a; Barabasi y Albert, 1999 ; Burt, 1992; Freeman, 1979).

No obstante esta perspectiva de análisis, la investigación de las redes de coautoría es un tema en desarrollo en la literatura internacional, todavía incipiente en países como México. Algunos ejemplos de artículos mexicanos son: Cárdenas (2016a) en donde se identifican que no existe equidad de género en la participación de mujeres en la investigación, así como que el 10%, de investigadores analizados trabajan en coautoría en la producción científica. Cárdenas, et al. (2016b) en donde observa que los investigadores en la Red Ambiental (REMA) trabajan individualmente, por lo que sugiere que se modifiquen las políticas con el fin de promover el trabajo colaborativo. En particular, a diferencia de otras disciplinas, los patrones de coautoría científica ambientalista han sido escasamente estudiados.

Por tanto, este estudio amplía la investigación previa de las redes de coautoría en ciencias ambientales enfocándose en las publicaciones de los miembros de los niveles 2, 3 y eméritos que son los más distinguidos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México. Para lograr esto, el método de investigación se basó en la teoría de redes e implicó el análisis topológico de la estructura y la centralidad de redes de coautoría.

1.1. Bases teóricas de las redes de coautoría científica

El estudio del complejo fenómeno social de la colaboración científica comenzó sistemáticamente en 1960 (Glanzel y Schubert, 2004). A partir de ello, se han citado en la literatura muchas razones que fomentan la coautoría en el trabajo de investigación. Una de las ventajas más recurrentes de la autoría conjunta, a diferencia del trabajo de un solo investigador, es la producción de un mayor impacto en la investigación en términos del número de publicaciones y de su eficacia (Glanzel y Schubert, 2001; Lee y Bozeman, 2005; Ponomariov y Boardman 2010). Otra de las tendencias es el aumento de la coautoría multidisciplinaria (Lopaciuk 2016; De Stefano et al., 2013; Kronegger et al., 2011; Acedo et al., 2006; Laband y Tollison, 2000), incluso en el número de coautores (Goyal et al., 2006; Wuchty et al., 2007) y de artículos en coautoría, especialmente los internacionales (Bukvova, 2010; Adams et al., 2005).

Existe evidencia de que los grados y tipos de colaboración difieren de un país a otro, y de disciplina en disciplina; Por ejemplo, Newman (2004a), al analizar tres redes científicas colaborativas: física, matemática y biología, concluyó que los autores estaban separados entre cinco y seis grados, muy agrupados y con una alta probabilidad de colaboración, aunque con diferencias estadísticas significativas con respecto al número de coautorías por artículo; mientras que en física de alta energía era significativamente mayor, el biomédico era el que tenía el valor más bajo. Liberman y Wolf (2010) descubrieron que los antropólogos y los matemáticos publican individualmente a diferencia de los físicos y, especialmente, los biotecnólogos que generalmente incluyen a todos los participantes del grupo de laboratorio, mientras que Yu Cheng Wah Hen, Piew Tan y Fai Fok (2013) afirman que la colaboración de los investigadores en Malasia es más dominante en las disciplinas duras que en las ciencias sociales.

Sin embargo, el estudio de las propiedades topológicas de las redes de coautoría en ciencias ambientales no se ha analizado con la profundidad que se han analizado otras ciencias, sino con enfoques correlacionales de métricas de centralidad y de coeficientes de agrupación del impacto científico para la ecología del

comportamiento (Pike, 2010) o bien, Sameer y Jariah, (2014) para la productividad de los científicos de la tierra en la India. Del mismo modo, para el contexto de los científicos mexicanos, solo existe el estudio de González-Brambila (2014) dentro del ámbito de las ciencias sociales, donde concluye que las redes densas están asociadas con un menor rendimiento de los investigadores en términos de la productividad científica. Sin embargo, el número de enlaces en el tiempo mejora, lo que sugiere que las políticas científicas debieran alentar la colaboración, especialmente la interdisciplinaria, que en particular resulta ser la más productiva. Todos los términos topológicos se analizan en detalle en los siguientes párrafos.

1.2. Propiedades topológicas de las redes

Newman ha sido considerado el primero en investigar las propiedades topológicas de las grandes redes de coautoría a través de la aplicación de herramientas de análisis de redes sociales (Newman, 2001a, 2001b, 2004b), y de las propiedades de su estructura y dinámica (Newman, 2003). Las propiedades topológicas de una red pueden determinarse global y localmente, aunque ambas están interrelacionadas. La métrica de las propiedades de nivel global revela la estructura general de la red; la concentración de autoridad, control u otros recursos dentro de la red, mientras que a nivel local, indica la influencia y el prestigio de los actores individuales en la red. Las propiedades topológicas más recurrentes analizadas en las redes son las descritas en los siguientes párrafos.

Modelos de mundo pequeño y de escala libre: los patrones de colaboración generalmente se explican por dos modelos teóricos clásicos: *el pequeño mundo* de Watts y Strogatz (1998) y el *de escala libre* de Barabási y Albert (2002, 1999). En el modelo de mundo pequeño, las redes tienen una alta conectividad nodal, una longitud de ruta media baja y un coeficiente de agrupación relativamente alto, en comparación con las medidas en redes aleatorias (Barabási y Albert, 2002, 1999; Watts y Strogatz, 1998). Mientras que el modelo de escala libre explica los patrones de las grandes redes que exhiben enlaces preferenciales y una distribución de grado que sigue la ley del poder de Lotka (1926), conforme las ecuaciones 1 a 3 (Barabási y Albert, 2002).

$$y = \frac{c}{x^n} = P(k) \sim \frac{1}{k^\gamma} \text{ para } 1 < \gamma < 3 \text{ o bien } 1 < n < 3 \tag{1}$$

$$n = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \tag{2}$$

$$C = \frac{1}{\sum_{x=1}^{P-1} \frac{1}{x^n} + \frac{1}{(n-1)P^{n-1}} + \frac{1}{2P^n} + \frac{n}{24(P-1)^{n+1}}} \tag{3}$$

Dónde, y es el número de autores que producen x artículos (x es la producción científica o número de artículos producidos, por lo que x puede tomar el número 1, 2,3,...n contribuciones por autor), n exponente, C es la constante de la función de Lotka, donde N es el número de pares de datos observados, X es el log x (base 10), Y es el log y (base 10), P es el número total de datos observados (Gobeia, 2005).

Componente y diámetro: el componente es el conjunto de nodos conectados de tal manera que cualquier nodo aleatorio en el conjunto puede alcanzar otro nodo aleatorio (Newman, 2004a, 2004b). Al realizar estudios comparativos entre varias redes de coautoría, Kretschmer (2004) concluyó que, en promedio, el tamaño del componente más grande es superior al 40% del número de nodos en la red. El diámetro de un grafo es la distancia más grande entre dos nodos de la red.

Coeficiente de cohesión: o transitividad C_i de un nodo cuantifica cuánto está agrupado o interconectado con sus vecinos (Albert y Barabasi, 2002; Watts y Strogatz, 1998), mientras que el coeficiente de una red \bar{C} representa el promedio de los coeficientes de agrupación de todos los nodos en la red (Watts y Strogatz, 1998), conforme a las ecuación 4 y 5.

$$C_i = \frac{a_i}{k_i(k_i-1)/2} \tag{4}$$

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \tag{5}$$

Donde, a_i es el número de aristas conectadas al nodo i y k_i es el grado del nodo i .

Densidad: la densidad d de una red g indica el número de aristas r en relación con los máximos posibles ($\max r$). Un alto nivel de colaboración hace que la red sea más densa, en contraste, una menor colaboración da como resultado una menor densidad (Otte y Rousseau, 2002). La densidad de una red no dirigida se define en las ecuaciones 6 y 7.

$$\max r = \frac{n(n-1)}{2} \tag{6}$$

$$d(g) = \frac{2r}{n(n-1)} \tag{7}$$

Centralización: si bien la centralidad se refiere a la posición de los nodos en las redes, la centralización se refiere al conjunto de toda la estructura de una red, por lo que esta métrica se fundamenta en las diferencias entre la centralidad de los nodos más centrales y la de todos los demás C_x (Freeman, 1979), conforme a la Ecuación 8.

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n [C_x(p^*) - C_x(p_i)]}{\max \sum_{i=1}^n [C_x(p^*) - C_x(p_i)]} \tag{8}$$

Dónde, n es el número de nodos, $C_x(p_i)$ una de las medidas de centralidad de un nodo, $C_x(p^*)$ representa el valor máximo que puede tomar $C_x(p_i)$ para cualquier nodo de la red, y el denominador representa la suma máxima posible de las diferencias en el nodo central de la red.

La red resulta compacta en la medida en que las distancias entre los pares de nodos que la conforman son pequeñas. El índice de la centralización de la red se determina a partir de alguna de las tres diferentes medidas de la centralidad de un nodo

Centralidad: de intermediación, cercanía y grado: para la centralidad hay tres métricas clásicas y de uso común: grado, cercanía e intermediación, a través de ella, los actores más importantes se identifican por su posición estructural (Borgatti, 2005; Otte y Rousseau, 2002; Freeman, 1979).

El grado de centralidad C_D o simplemente el grado de un nodo es el número de aristas que se le atribuyen, sin tener en cuenta la intensidad de la conexión. De esta manera, es la medida más simple e intuitiva de la actividad potencial de comunicación del nodo (Freeman, 1979). Entonces, el grado de un nodo p_i es simplemente el número de nodos $p_j (i \neq j)$ adyacentes (Nieminen, 1974) y se calcula como el grado o número de adyacencias para el nodo p_k , Ecuación (9). Mientras que la distribución del grado es, por lo tanto, la probabilidad P_k de que un nodo elegido aleatoriamente tenga el grado k .

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k) \quad (9)$$

La centralidad de la cercanía C'_c se basa en el grado en que un nodo está cerca de los otros nodos de la red, es la distancia promedio más corta por la cual un actor determinado se separa de todos los otros nodos en una red (Lu y Feng, 2009). Aquí, un nodo se considera central en la medida en que puede evitar el control potencial de los demás. La independencia de un nodo está determinada por su cercanía a todos los demás nodos en la red (Freeman, 1979). En realidad, es una medida de descentralidad o centralidad inversa, ya que crece a medida que los puntos se separan, y la centralidad en este contexto significa cercanía, es decir, es el promedio de la distancia recíproca total del nodo lejano a cada uno de los otros nodos en la red (Lu y and Feng, 2009). Matemáticamente se calcula con la Ecuación 10, en donde $d(p_i, p_k)$ es la distancia más corta de dos nodos, que une a todos los p_i de la geodésica con p_k

$$C'_c(p_k) = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n d(p_i, p_k)} \quad (10)$$

Finalmente, la centralidad de la intermediación C_B se define como la frecuencia con la que un nodo se encuentra entre otros pares de nodos en la geodésica que los conecta (Freeman, 1979). Es una medida que indica el potencial de un nodo para controlar la comunicación, por lo que a menudo forman puentes entre los componentes de la red (Otte y Rousseau, 2002). Se calcula con la Ecuación 11.

$$C_B(p_k) = \sum_{i < j}^n b_{ij}(p_k) \quad (11).$$

2. Metodología

El objetivo de este estudio fue analizar las propiedades topológicas de la red de coautoría de los investigadores ambientales en México. La metodología utilizada se basó en la utilizada por Kumar y Mohd (2014) e involucró tres fases:

1. Recopilación y clasificación de datos: en una primera actividad se identificaron los Investigadores Nacionales de los niveles 2, 3 y emérito de México de las disciplinas, en total hubo 88 investigadores activos, de quienes mediante consulta pública el 2 de enero de 2017 al Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos personales (INAI) se consiguió la productividad de artículos durante el período entre 2012

y 2016. Debido a que no existe una categorización particular en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para las ciencias ambientales, la identificación de investigadores en este campo implicó la partición de la lista de investigadores miembros de enero a diciembre de 2016, en disciplinas relacionadas con el estudio del medio ambiente. Ahora bien, la segmentación por líneas de investigación “necesariamente lleva consigo una dosis de subjetividad y hay que entenderlo como orientativo” (Martínez, 1995, pp. 38), por lo que el proceso incluyó una serie de actividades reiterativas de discusión, clarificación y clasificación de corrientes de pensamiento por parte de los investigadores, el cual no está exento de controversias, debido tanto por la definición de los mismos segmentos como por el propio encuadre de los autores a clasificar (Luque, Frías y Maraver, 1994). De esta forma, se identificaron seis disciplinas: 1. Climatología (D_Cl), 2. Desarrollo sostenible (D_So), 3. Ecología (D_Ec), 4. Medio ambiente (D_Ma), 5. Oceanografía (D_Oc), 6. Tecnología ambiental (D-Ta) y 7. Otras especialidades (D_Ot). La conjunción de todos ellos finalmente formó la categoría de ambientalista.

2. Preparación de la base de datos: cada uno de los artículos se verificó en las revistas donde fueron publicados y validados en términos de los coautores participantes, creando así una base de datos con un total de 3,642 publicaciones, de las cuales 3,537 corresponden a artículos en co -autorización y 105 de autorías únicas (Anexo Tabla A1). Se identificaron un total de 4,751 autores, de los cuales 4,663 son coautores. En algunos de ellos implicaba corregir la desambiguación de los nombres de los autores, es decir, se verificaron los registros para ver las variaciones de los nombres de los autores, así como los caracteres incorrectos de la propia base de datos de Conacyt. Sin embargo, la desambiguación del nombre del autor sigue siendo una limitación y un problema no resuelto de los estudios bibliométricos (Tang y Walsh, 2010), siempre existe la posibilidad de que “F.Lambarry” se refiera a “Fernando Lambarry” o “Franco Lambarry”. La forma de desambiguarte fue validar la afiliación institucional de los autores.

3. El análisis estadístico fue descriptivo, mientras que para el análisis topográfico de la red, implicó el cálculo de métricas de los coeficientes de topología, descritos en el subtítulo anterior, de las redes ambientales, utilizando Cytoscape.

3. Resultados

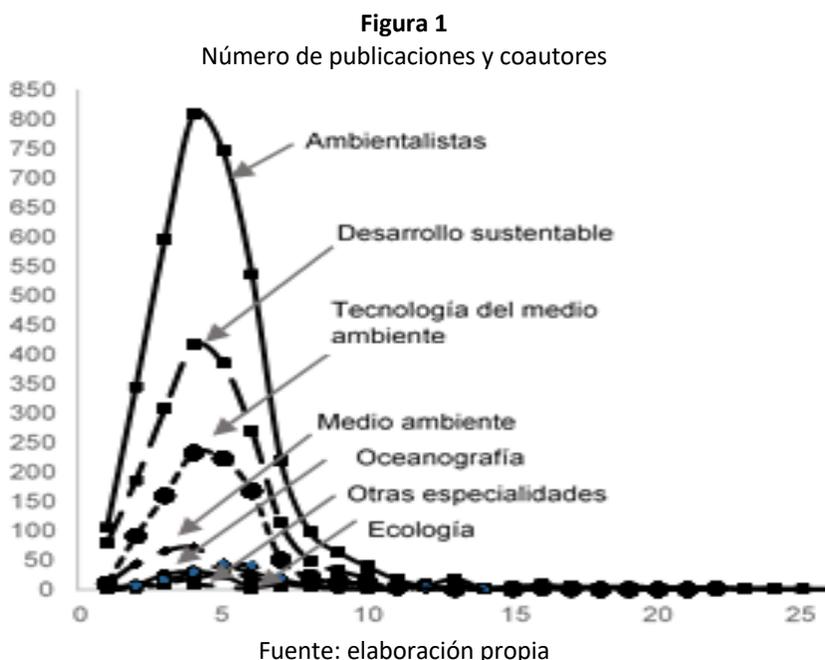
Fueron identificados 88 investigadores nacionales en ciencias ambientales, todos ellos en 7 campos disciplinarios diferentes. De estos, 65 son de nivel dos, el nivel tres tiene 22 y solo uno, emérito. La disciplina de tecnología ambiental (D_Ta) es la que tiene el mayor número de investigadores, con un total de 40. Sin embargo, la ecología (D_Ec) es donde está el único investigador emérito y también es el único de esta disciplina (Anexo Tabla A1).

3.1. Productividad de los investigadores

Con respecto a las publicaciones de los investigadores, un volumen importante de publicaciones escritas en coautoría se distingue en los primeros tres años de análisis (2012 a 2014), mientras que las publicaciones de un autor individual no presentan una tendencia uniforme; incluso el investigador más destacado de las ciencias ambientales, el emérito, solo ha publicado en colaboración con otros especialistas. Sin embargo, los últimos dos años (2015 y 2016) revelan, en ambas formas de publicación, una disminución en la productividad, que se debe en gran medida a la falta de actualización de las publicaciones por parte de los investigadores en el sistema Conacyt.

Además, el desarrollo sostenible (D_So) y el medio ambiente (D_Ma) muestran valores atípicos de hasta 49 coautores por publicación. La primera disciplina, aunque tiene siete investigadores con distinción SIN, cuenta con una gran diversidad de coautores en sus publicaciones, esto puede explicarse por alguna reciprocidad colaborativa por ser la disciplina con la mayor cantidad de publicaciones, mientras que el medio ambiente (D_Ma) está en tercer lugar. En este sentido, todas las disciplinas tienen artículos con más de 10 coautores, a

excepción de la ecología (D_Ec) con un máximo de cinco colaboradores y la climatología (D_Cl) hasta nueve (Figura 1).



Sin embargo, el 97% del total de publicaciones de científicos ambientales se llevan a cabo en coautoría, mientras que el 3% restante individualmente. Estos porcentajes son muy cercanos en seis de las siete disciplinas, excepto ecología (D_Ec), donde el investigador publica todos sus artículos de manera colaborativa (ver Tabla 1).

En promedio, cada uno de los investigadores publica ocho artículos al año, aunque desde una perspectiva particular por disciplina se observa que el investigador emérito colabora en cinco publicaciones anuales, lo que contrasta con el desarrollo sostenible (D_So), que es una de las disciplinas que tiene el número más bajo de investigadores nacionales con siete, solo por encima de la oceanografía (D_Oc) que tiene seis y ecología (D_Ec) uno. Sin embargo, desarrollo sostenible (D_So) es donde se producen más artículos con un total de 1,901, lo que representa el 52% del total de publicaciones de esta ciencia; de ellos 1,823 en coautoría (que representan el 50% del total producido en colaboración) versus 78 individualmente. Derivado de lo anterior, el desarrollo sostenible (D_So) tiene el promedio más alto de publicaciones por investigador nacional en el período con 4 y el que tiene el mayor número de coautores por artículo.

Por debajo del desarrollo sostenible (D_So), con respecto al número de publicaciones, está la tecnología ambiental (D-Ta) con 993 y es la disciplina que concentra el mayor número de investigadores con 40, que representan el 45% de todos los científicos y el 27% del total de coautorías, lo que la convierte en la segundo con la mayor cantidad de trabajo colaborativo en ciencias ambientales. En tercer lugar está la disciplina del medio ambiente (D_Ma), que con el 17% de los investigadores nacionales en este campo, contribuye con el 8% del total de publicaciones en coautoría. En este sentido, el desarrollo sostenible (D_So) es la única área ambiental que contribuye de manera sensible con respecto a la totalidad de los artículos publicados individualmente con 2.9%. De esta manera, se concluye que los investigadores ambientales publican en forma colaborativa.

3.2. Métricas y propiedades topológicas de la red

Las propiedades topológicas a nivel global revelan la estructura general de la red, sus métricas revelan la concentración de autoridad, control u otros recursos dentro de la red. Las propiedades a nivel local ayudan a comprender la influencia y el prestigio de los actores individuales en la red. La Tabla 1 resume las métricas

locales y globales tanto de la red de investigadores nacionales de ciencias ambientales como de las redes disciplinarias que la componen.

Tabla 1
Características y métricas topográficas de las redes ambientalistas

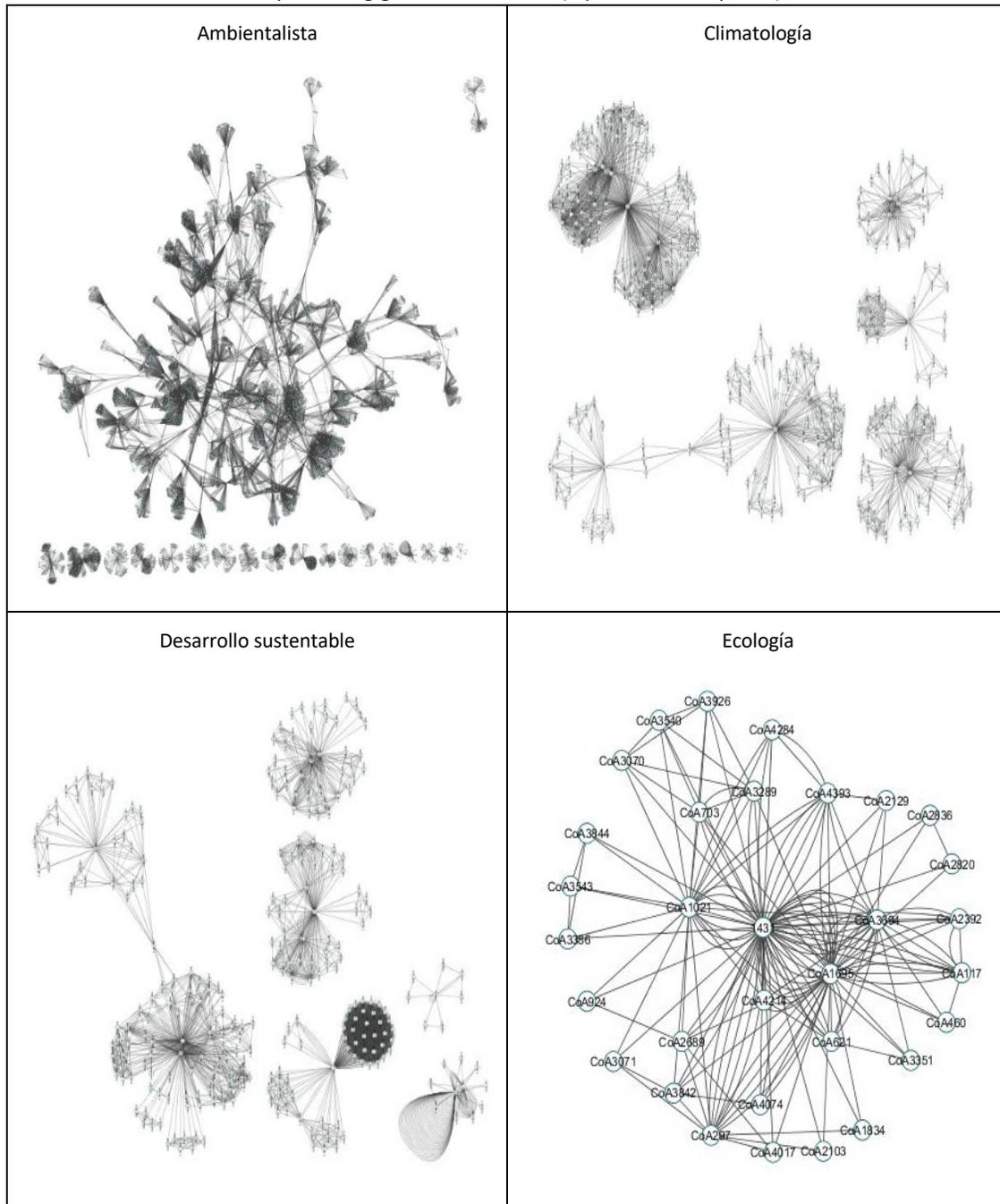
Métricas/Áreas	Total	D_Cl	D_So	D_Ec	D_Ma	D_Oc	D_Ta	D_Ot
Características								
Total SNI	88 100%	6 7%	7 8%	1 1%	15 17%	10 11%	40 45%	9 10%
Número de artículos	3,642	110	1,901	22	315	119	993	182
Número de autores	4,751	297	278	32	1,057	393	2,110	584
Artículos autor único	105 2.88%	4 3.64%	78 4.10%	0 0%	10 3.17%	1 0.84%	10 1.01%	2 1.10%
Artículos en coautoría	3,537 97.12%	106 96.36%	1,823 95.90%	22 100%	305 96.83%	118 99.16%	983 98.99%	180 98.90%
Prom. autores por artículo	8.49	5	14.79	2.75	14.3	6.75	8.86	7
Prom. artículos por autor	3.77	4.05	3.74	2.40	4.09	3.86	3.70	4.59
Red								
Nodos	4,751	297	278	32	1,057	393	2,110	584
Componentes	20	5	6	1	9	9	9	4
Tamaño componente mayor	3,884 83.7%	103 34.7%	123 44.2%	1 100%	602 57%	121 30.8%	1757 83.3%	466 79.8%
Propiedades globales								
Exponente de Lotka	1.37 R=0.698	0.749 R=0.454	0.879 R=0.527	0.465 R=0.336	1.20 R=0.625	1.16 R=0.643	1.13 R=0.649	1.02 R=0.568
Coefficiente de cohesión	0.897	0.896	0.918	0.838	0.936	0.917	0.886	0.903
Diámetro	15	4	4	2	8	4	11	9
Centralización	0.049	0.318	0.281	0.339	0.211	0.178	0.056	0.209
Densidad	0.002	0.029	0.039	0.214	0.013	0.021	0.004	0.017
Propiedades locales								
Coefficiente de cohesión	0.897	0.895	0.917	0.837	0.935	0.917	0.886	0.903
Grado prom.	14.80	12.49	17.55	10.875	17.36	10.47	14.09	12.91
Intermediación prom.	0.004	0.016	0.019	0.026	0.009	0.02	0.005	0.009
Cercanía prom.	0.215	0.502	0.507	0.569	0.377	0.513	0.234	0.299
Prom. trayectoria más corta	6.06	2.07	2.11	1.78	3.13	2.04	5.311	3.92

Nota: D_Cl: Climatología, D_So: Desarrollo sostenible, D_Ec: Ecología, D_Ma: Medio ambiente, D_Oc: Oceanografía, D_Ta: Tecnología ambiental, D_Ot: Otras especialidad medioambientales. Prom. = Promedio

Fuente: elaboración propia

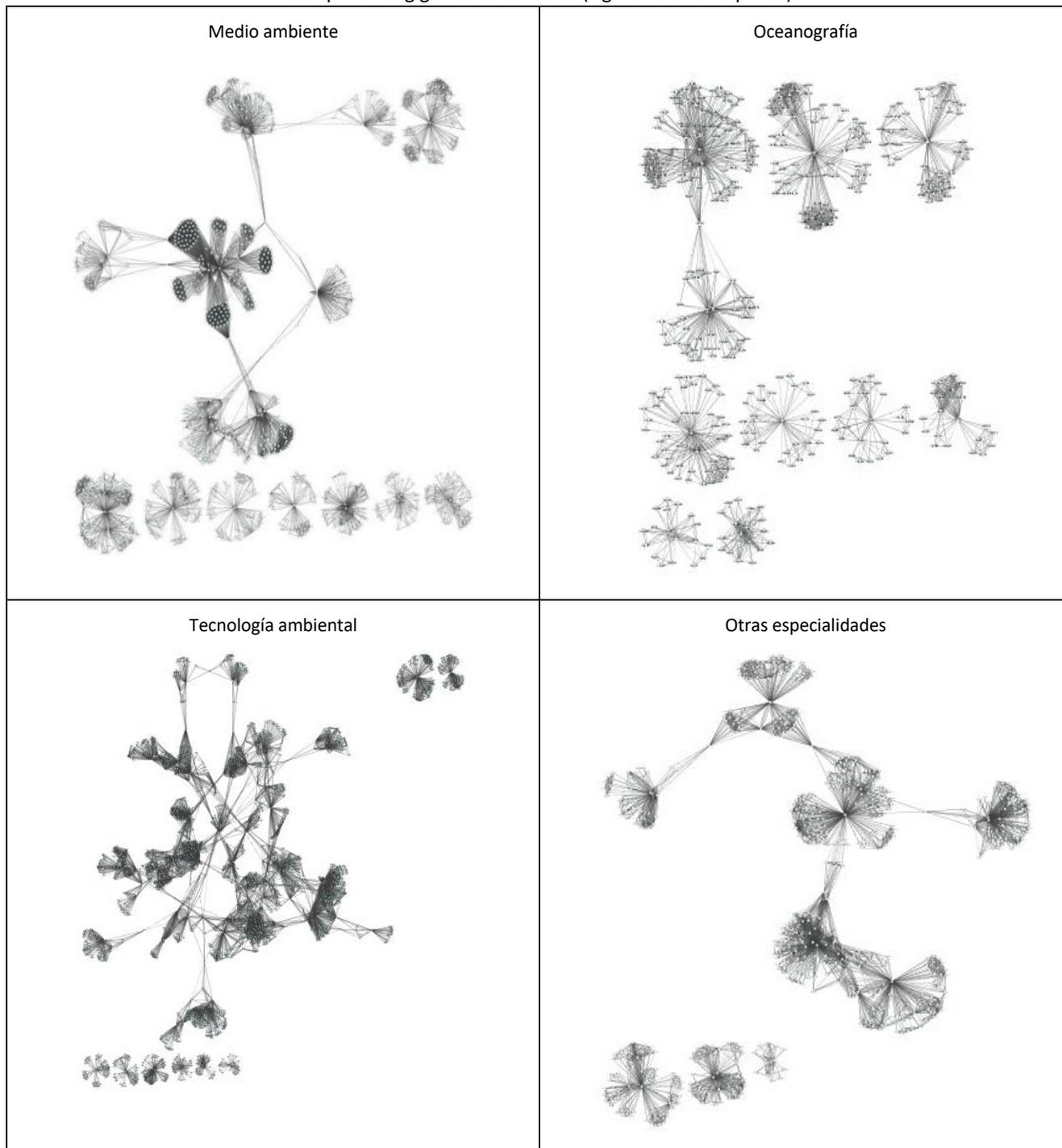
Componente: La red ambientalista tiene 4,751 nodos con 20 componentes conectados, lo que indica que más allá de las 7 disciplinas en las que pudiera subdividirse la red, existen 13 aislados. El componente gigante agrupa al 83.7% de los nodos de la red (Figura 2 a y b). En contraste, el segundo y tercer componentes más grandes están conformados por 103 y 69 nodos respectivamente.

Figura 2a
Componente gigante de las redes (4 primeras disciplinas)



Fuente: elaboración propia con Cytoscape

Figura 2b
 Componente gigante de las redes (siguientes 4 disciplinas)



Fuente: elaboración propia con Cytoscape

La segunda red con el componente más grande es la de tecnología ambiental (D_Ta) que agrupa el 83.3% de sus 2,110 nodos lo que la convierte en la segunda de mayor tamaño. En tanto que ecología (D_Ec) es la red con un solo componente de 32 nodos.

Centralización. La red ambientalista es descentralizada ya que presenta un coeficiente bajo de 0.049, mientras que ecología (D_Ec) y climatología (D_Cl) son las redes que presentan los coeficientes de centralización de mayor

valor con 0.339 y 0.318 respectivamente, indicando que son redes sensiblemente centralizadas por lo que concentran el poder y los recursos.

Como es común en la literatura en redes de coautorías, el resto de las propiedades topológicas se han calculado sólo para el componente gigante.

Coeficiente de cohesión. El alto coeficiente de cohesión de 0.897 de la red ambientalista indica una alta interconexión promedio de todos los nodos de la red, lo que facilita el intercambio de información. Esto significa que, de tres autores conectados por un autor común, existe una probabilidad del 90% de que el segundo y tercer autor co-autoricen un artículo. En general, todas las demás redes de las disciplinas ambientales tienen coeficientes de cohesión por arriba del 83%.

Densidad. La densidad de la red ambientalista es la que tiene el valor más bajo con 0.002 en comparación con las otras, lo que la convierte en la más dispersa de ellas. Las redes más colaborativas por sus altos coeficientes de densidad son, desarrollo sustentable y ecología (D_Ec) con 0.039 y 0.214 respectivamente, lo que indica que en estas redes se presentan los más altos niveles de colaboración.

Centralidad de Grado: El grado promedio de autores en el componente gigante se encuentra en 14, lo que muestra que los autores en la red ambientalista, en general, están bien conectados. No obstante, el desarrollo sustentable con 17 y medio ambiente (D_Ma) son las disciplinas con los valores promedios más altos de grado. En contraste, oceanografía (D_Oc) tiene el grado promedio más bajo con 10. En este sentido, aquellos autores con grados más altos se convierten, por su posición, en los más influyentes.

Distribución de grado. La red ambientalista se distribuye en sus grados sesgadamente, ya que pocos autores tienen grandes conexiones, posiblemente debido a que sus colaboradores quieren trabajar preferentemente con ellos debido a una similitud o afinidad; mientras que la mayoría de los autores tienen pocos coautores. Lo mismo se observa en el resto de las disciplinas (Anexo. Figura A1).

Centralidad de cercanía e intermediación. La centralidad de cercanía promedio de la red es de 0.215, y 6 asociados a seis grados promedio de separación. Es ecología (D_Ec) con 0.569 la disciplina con el mayor coeficiente de cercanía y con ello tiene la geodésica promedio más corta de la red de 1.78K; climatología (D_Cl) y desarrollo sustentable cuentan también con coeficientes por arriba de 0.5. La centralidad de intermediación promedio de la red de ambientalista es de 0.004 que se traduce en un bajo control del flujo de información (u otros recursos) y la carencia de nodos que actúen como puentes. Ecología (D_Ec) contrasta con un coeficiente de 0.026 respecto de las otras áreas que es el de mayor valor.

4. Conclusiones

En este trabajo se han analizado las redes de colaboración de científicos nacionales, niveles 2, 3 y eméritos de México de las ciencias ambientales y sus diversas sub disciplinas, mediante la coautoría de artículos publicados durante un período de 5 años, desde 2012 a 2016. En general se ha encontrado que las redes presentan una estructura de *mundo pequeño* en lo que típicamente solo se necesitan alrededor de cinco o seis pasos para llegar de un científico elegido al azar a otro, situado en cualquier parte de la misma red; es decir distancias promedio pequeñas (menores a 6). Las redes se encuentran altamente agrupadas, lo que se observa por sus altos coeficientes de cohesión (mayores a 0.8), lo que significa que es mucho más probable que dos científicos de los tres que han co-autorizado, colaboren entre sí, incidiendo en el desarrollo de comunidades científicas. También indica científicos concentradores o altamente conectados (autores prolíficos) y autores poco activos que podrían eventualmente obstruir el flujo de colaboración. En términos de centralización, la red de coautorías de los científicos ambientalistas, presenta un bajo coeficiente de 0.049 que la convierte en una red descentralizada con

escasa concentración de poder y recursos, no obstante, ecología (D_Ec) es la disciplina más centralizada de todas, lo que se entiende por constituirse por un solo investigador nacional que es quien centraliza las coautorías.

Otra propiedad topológica observada, es que la red de ambientalista está fragmentada en 20 componentes, además de estar dispersa por su bajo nivel de 0.002 de densidad, lo que hace que no sea tan propensa a la colaboración. A pesar de ello, cuenta con un componente gigante que agrupa al 83.7% del número total de los nodos, además de una alta probabilidad de conectividad debido a su alto coeficiente de cohesión de 0.897. Ecología (D_Ec) es la red que cuenta con un solo componente lo que se explica en gran medida por su pequeño tamaño de tan sólo 32 nodos, es la red de mayor densidad y con la mayor colaboración debido a su coeficiente de densidad de 0.214, aunque es la red más centralizada (0.339) presenta la menor cohesión entre sus nodos, lo que advierte de ser la red con la menor probabilidad de que dos de los tres autores participen eventualmente en una publicación.

Se encontró que a excepción de tres disciplinas, climatología (D_Cl), desarrollo sustentable y ecología (D_Ec), las distribuciones de grado de las demás redes se ajustan a la ley de potencia de Lotka, lo que ha sido un comportamiento similar al reportado en otras disciplinas.

No se encontró evidencia de coautoría entre los científicos de las diferentes disciplinas, lo que da muestra de un trabajo colaborativo aislado entre ellos, razón por la cual se sugiere como un primer acercamiento a los tomadores de decisión en la política nacional de ciencia y tecnología en México, fomentar la colaboración científica disciplinaria e interdisciplinaria, a nivel local e internacional de los investigadores nacionales ambientalistas. Los estudios generales en la literatura especializada de este tema evidencian empíricamente que las colaboraciones contribuyen a la visibilidad y productividad científica. El trabajo reportado en este documento representa, tiene como limitación el ser solo una primera aproximación a las redes de colaboración descritas.

La principal conclusión de la investigación es que los investigadores en estudio, aunque publican colectivamente, configuran una red descentralizada y fragmentada con un fuerte componente principal con propiedades que se explican por el modelo de mundo pequeño.

Se recomienda para futuras investigaciones estudiar la dinámica de las redes ambientalistas y sus colaboraciones desde la afiliación institucional de los investigadores, así como la incidencia de las métricas topológicas particularmente de centralidad en el impacto de las publicaciones.

Referencias bibliográficas

- Abramo, G., D'Angelo, C.A. y Di Costa, F. (2009). Research collaboration and productivity: is there correlation?. *Higher Education*, 27(2), 155-171.
- Acedo, F.J., Barroso, C., Casanueva, C. y Galan, J.L. (2006). Co-authorship in management and organizational studies: an empirical and network analysis. *Journal of Management Studies*, 43(5), 957-83.
- Adams, J.D., Black, G.C., Clemmons, J.D., y Stephan, P.E. (2005). Scientific teams and institutional collaborations: evidence from US universities 1981-1999. *Research Policy*, 34(3), 259-285.
- Aghakhani, Lagzian y Hazarika, (2013). Aghakhani, N., Lagzian, F., Hazarika, B., (2013). The role of personal digital library in supporting research collaboration. *The Electronic Library*, 31(5), 548-560.
- Albert, R. y Barabasi, A.L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74 (1), 47-97.
- Baker, W. (2014). Making pipes, using pipes: How tie initiation, reciprocity, positive emotions and reputation create new organizational social capital. In D. Brass, G. Labianca, A. Mehra, D. Halgin, & S. P. Borgatti

(Eds.). *Contemporary perspectives on organizational social networks*, 40 (pp. 57-72). Bradford, UK: Emerald Group Publishing.

Barabasi, A.L. y Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286 (5439), 509-512.

Borgatti, S.P., (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, 27 (1), 55–71.

Bukvova, H. (2010). Studying Research Collaboration: A Literature Review. *All Sprouts Content: Working Papers on Information Systems (326)*, 10 (3).

Burt, 1992; Burt, R. S. (1992). *Structure Holes: The Social Structure of Competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Cárdenas, M. (2016a). Equidad de Género en la Investigación. Caso de la Red de Medio Ambiente del Instituto Politécnico Nacional. *Investigación administrativa*, 45(118), 0-0.

Cárdenas, M., Tovar, L.A.R., Alatríste, F.R., & Domínguez, N.S. (2016b). Análisis de una Red Científica en México. *Innovar*, 26(61), 145-157.

Conacyt, (2014). Convocatorias Sistema Nacional de Investigadores SNI. Recuperado de: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/sni/convocatorias-conacyt/convocatorias-sistema-nacional-de-investigadores-sni/marco-legal-sni/criterios-sni> (fecha consulta 2020,02,17).

De Stefano, D. Fuccella, V., Vitale, M. P. y Zaccarin, S. (2013). The use of different data sources in the analysis of co-authorship networks and scientific performance. *Social Networks*, 3(35), 370–381.

Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215-239.

Glänzel, W. y Schubert, A. (2001). Double effort = Double impact? A critical view at international co-authorship in chemistry. *Scientometrics*, 50 (2), 199-214.

Glanzel, W. and Schubert, A. (2005). Analysing scientific networks through co-authorship. *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*, Netherlands: Springer, 257-276 (Chap. 11).

Gobea, S. (2005). El modelo matemático de Lotka: su aplicación a la producción científica. Mexico: UNAM

Gonzalez-Brambila, C.N. (2014). Social capital in academia. *Scientometrics*, 101 (3), 1609-1625.

Kamal, B., Terrill, L.F., y Munazza, J. (2016). Research performance and degree centrality in co-authorship networks. *Aslib Journal of Information Management*, 68 (6), 756 – 771.

Kretschmer, H. (2004). Author productivity and geodesic distance in bibliographic co-authorship networks, and visibility on the web, *Scientometrics*, 60 (3), 409-420.

Kroneger, L., Mali, F., Ferligoj, A., y Doreian, P. (2012). Collaboration structures in Slovenian scientific communities. *Scientometrics*, 90 (2), 631-647. doi.org/10.1007/s11192-011-0493-8.

Kumar, S. (2015a). Co-authorship networks: a review of the literature. *Aslib Journal of Information Management*, 67 (1), 55-73.

Laband, D. N. y Tollison, R. D. (2000). Intellectual Collaboration. *Journal of Political Economy*, 108(3), 632–662. <https://doi.org/10.1086/262132>

Lee, S. y Bozeman, B. (2005). The impact of research collaboration on scientific productivity. *Social Studies of Science*, 35 (5), 673-702.

- Leij, M. y Goyal, S. (2006). Strong Ties in a Small World, Tinbergen Institute Discussion Papers 06-008/1, Tinbergen Institute. Handle: RePEc:tin:wpaper: 20060008. Recuperado de: <https://ideas.repec.org/p/tin/wpaper/20060008.html> (fecha consulta 2020,02,17).
- Li, E.Y., Liao, C.H. y Yen, R. (2013). Co-authorship networks and research impact: a social capital perspective. *Research Policy*, 42 (9), 1515-1530.
- Liao, C.H. (2011). How to improve research quality? Examining the impacts of collaboration intensity and member diversity in collaboration networks. *Scientometrics*, 86 (3), 741-761.
- Liberman, S. y Wolf, K.B., (2013). Scientific communication in the process to coauthorship. In Feist, G. & Gorman, M. (eds). *Handbook of psychology of science*, (pp. 123-147). New York: Springer Publishing Company.
- Lopaciuk-Gonczaryk, B. (2016). Collaboration strategies for publishing articles in international journals – A study of Polish scientists in economics. *Social Networks*, 44 , 50-63.
- Lu, H., y Feng, Y., (2009). A measure of authors' centrality in co-authorship networks based on the distribution of collaborative relationships. *Scientometrics*, 81 (2), 499–511. doi.org/10.1007/s11192-008-2173-x
- Luque, T., Frias, D.M. y Maraver, G. (1994). Las escuelas de Márketing y los encuentros de profesores universitarios. VI Encuentro de Profesores Universitarios de Márketing, San Sebastián. ESIC, 13-25.
- Martínez, L. (1995). Líneas de investigación y bases de datos para la investigación. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de Empresa*, 1 (2), 35-50.
- Michele, E., Martins, G., Silveira, M., João, M., Csillag S. C., Farias P., (2012). Service's scientific community: a social network analysis (1995-2010). *Journal of Service Management*, 23 (3), 455 – 469.
- Moody, J. (2004). The structure of a social science collaboration network: disciplinary cohesion from 1963 to 1999. *American Sociological Review*, 69 (2), 213-38.
- Newman, M.E.J. (2001a). Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results, *Physical Review E*, 64 (1), 016131-016138.
- Newman, M.E.J. (2001b). The structure of scientific collaboration networks. Proceedings of the National Academy of Sciences Jan 2001, 98 (2) 404-409.
- Newman, M.E.J. (2003). *The Structure and Function of Complex Networks*. Michigan USA: University of Michigan.
- Newman, M.E.J. (2004a). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. Proceedings of the National Academy of Sciences, 101 (suppl1) 5200-5205. DOI: 10.1073/pnas.0307545100
- Newman, M.E.J. (2004b). Who is the best connected scientist? A study of scientific coauthorship networks. In Ben-Naim E, Frauenfelder H, Toroczkai Z. (eds.). *Complex networks. Lecture Notes in Physics (650)* (pp. 337-370). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Newman, M.E.J (2008). The mathematics of networks. *The New Palgrave Encyclopedia of Economics*, 2, 1-12.
- Nieminen, J. (1974). On the centrality in a directed graph. *Scandinavian Journal of psychology*, 15(1), 332-336. doi.org/10.1111/j.1467-9450.1974.tb00598.x

Otte, E. and Rousseau, R. (2002). Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of Information Science*, 28 (6) 441–453.

Pike, A., Dawley, S. y Tomaney, J. (2010). Resilience, adaptation and adaptability. *Cambridge Journal of Regions. Economy and Society*, 3(1), 59-70.

Ponomariov, B. L., & Boardman, P. C. (2010). Influencing scientists’ collaboration and productivity patterns through new institutions: University research centers and scientific and technical human capital. *Research Policy*, 39(5), 613-624.

Sameer, K., y Jariah M. J., (2014). Relationship between authors’ structural position in the collaboration network and research productivity: Case of Indian earth scientists. *Program: electronic library and information systems*, 48 (4), 355-369.

Tang, L. y Walsh, J.P. (2010). Bibliometric fingerprints: name disambiguation based on approximate structure equivalence of cognitive maps. *Scientometrics*, 84 (3), 763-784.

Watts, D.J. and Strogatz, S.H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, 393(6684), 440-442.

Wuchty, S., Jones, B.F., y Uzzi, B. (2007). The Increasing Dominance of Teams in Production of Knowledge. *Science*, 316 (5827), 1036-1039.

Yu Cheng Ming, Wah Hen Kai, Piew Tan Hoi, Fai Fok Kuk, (2013). Patterns of co-authorship and research collaboration in Malaysia. *Aslib Proceedings: New Information Perspectives*, 65 (6), 659-674.

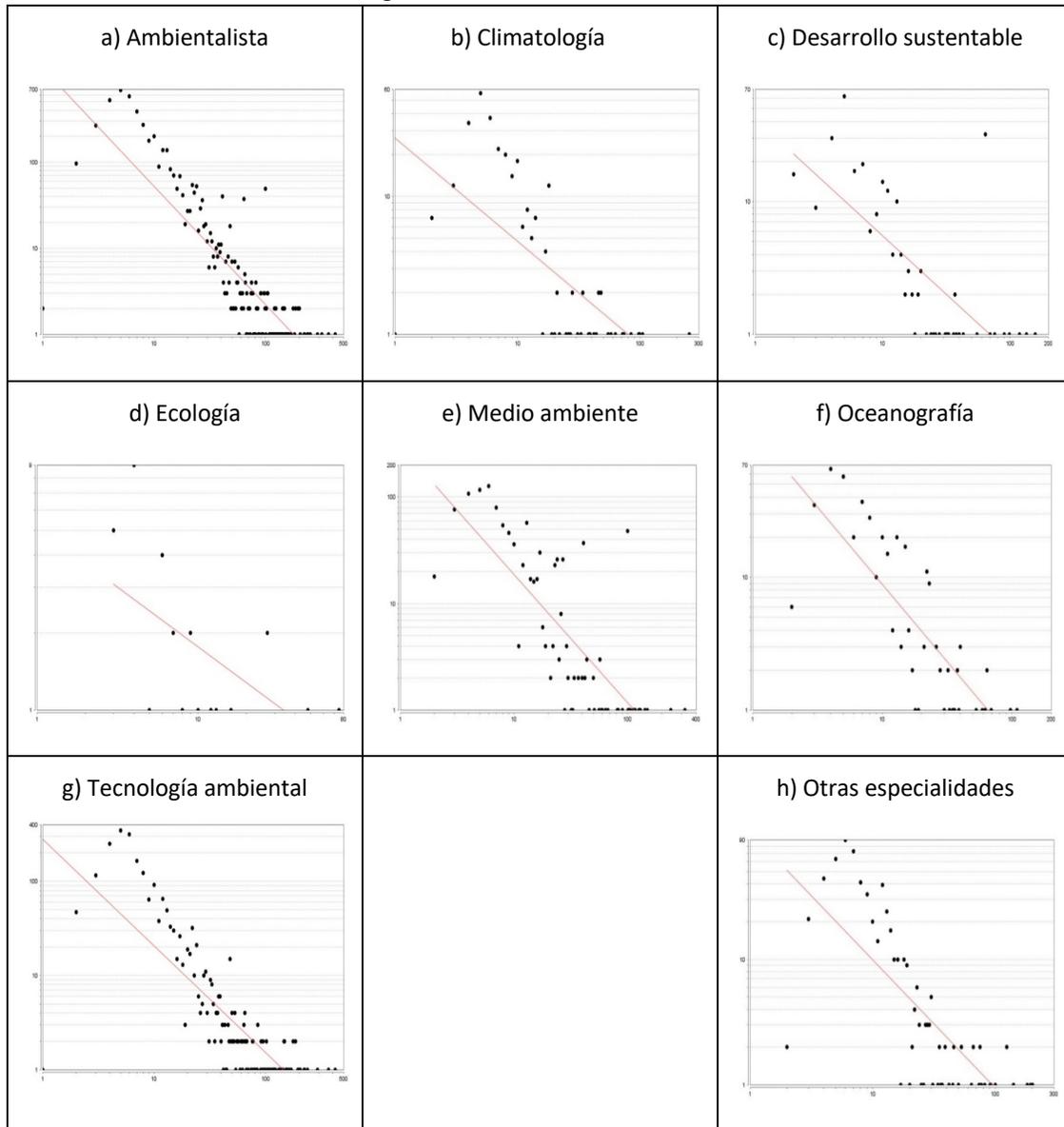
Anexos

Tabla A1
Ambientalistas SNI y disciplinas ambientales: productividad de nivel 2, 3 y eméritos

Productividad Disciplina	N2*	N3*	E*	Total SNI	SNI (%)	Autor único						Coautorías					
						2012	2013	2014	2015	2016	Total	2012	2013	2014	2015	2016	total
Ambientalista	65	22	1	88	100 %	32	16	33	15	9	105	741	823	854	719	400	3,537
D_Cl	4	2	0	6	7%	2	0	1	0	1	4	21	26	25	22	12	106
D_So	4	3	0	7	8%	24	12	23	11	8	78	380	427	442	368	206	1,823
D_Ec	0	0	1	1	1%	0	0	0	0	0	0	5	8	2	6	1	22
D_Ma	10	5	0	15	17%	3	3	3	1	0	10	52	74	73	65	41	305
D_Oc	8	2	0	10	11%	0	0	0	1	0	1	24	26	20	35	13	118
D_Ta	31	9	0	40	45%	3	1	4	2	0	10	216	228	244	193	102	983
D_Ot	8	1	0	9	10%	0	0	2	0	0	2	43	34	48	30	25	180

Nota: D_Cl: Climatología, D_So: Desarrollo sostenible, D_Ec: Ecología, D_Ma: Medio ambiente, D_Oc: Oceanografía, D_Ta: Tecnología ambiental, D_Ot: Otras especialidad medioambientales. *N2: Nivel 2. N3: Nivel 3. E*: Emérito

Figura A1
Distribución de grado de las redes de coautoría ambientalistas



Fuente: elaboración propia en Cytoscape