

ESTUDIO CIENCIOMÉTRICO DE LA REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA CON ELEMENTOS DE ANÁLISIS DE REDES COMPLEJAS

SCIENTOMETRIC STUDY OF THE REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA WITH ELEMENTS OF COMPLEX NETWORKS ANALYSIS

VERÓNICA SUBIETA-FRÍAS[†] & GONZALO MARCELO RAMÍREZ-ÁVILA[‡]

Instituto de Investigaciones Físicas, Universidad Mayor de San Andrés
Campus Universitario, c. 27 Cota-Cota, Casilla de Correos 8635
La Paz - Bolivia

(Recibido 25 de noviembre de 2019; aceptado 29 de diciembre de 2019)

RESUMEN

Se llevó a cabo un análisis bibliométrico de la Revista Boliviana de Física (RBF) desde tres perspectivas: utilizando estadísticas descriptivas, clasificando variables con respecto al tamaño del rango y utilizando análisis de redes complejas. En el primer enfoque, se consideraron los aspectos relacionados con el número de artículos, autores, instituciones y países presentes en cada una de las ediciones de la RBF y su evolución. En el segundo, se buscaron variables ordenadas por rango con el fin de verificar el cumplimiento o no de leyes de potencia. Finalmente, se construyeron diferentes tipos de redes complejas concernientes a los países de las instituciones a las que están afiliados los autores con el fin de caracterizar aspectos tales como diversidad, colaboración, productividad e influencia.

Código(s) PACS: 85.75.-k – 02.10.Ox – 01.30.-y

Descriptores: Sistemas complejos – Teoría de grafos – Literatura y publicaciones de física.

ABSTRACT

A bibliometric analysis of the Revista Boliviana de Física (RBF) was carried out from three perspectives: using descriptive statistics, classifying variables concerning the size of the range and using complex network analysis. In the first approach, we considered aspects related to the number of articles, authors, institutions, and countries present in each of the editions of the RBF and its evolution. In the second, we searched variables ordered by rank to verify compliance or not of power laws. Finally, we built different types of complex networks related to the countries of the institutions to which the authors are affiliated with the aim of characterizing aspects such as diversity, collaboration, productivity, and influence.

Subject headings: Complex systems – Graph Theory – Physics literature and publications.

1. INTRODUCCIÓN

En los primeros cursos de física y estadística, a menudo se señala que se pueden distinguir las variables cuantitativas de las cualitativas, haciéndose énfasis en el hecho de que existen situaciones en las que no se puede hacer la cuantificación de ciertos fenómenos tales como los sentimientos y las relaciones sociales. Sin embargo, a medida que la ciencia avanza y se tienen nuevos conceptos y herramientas, fenómenos ligados a ciencias sociales y políticas que antes se consideraban como imposibles de cuantificar hoy en día son abordados usando indicadores que surgen del análisis de las posibles interacciones que pueden experimentar los elementos que forman parte de este tipo de sistemas (individuos e instituciones) y que permiten construir modelos basados en sistemas complejos. Por otra parte, la aplicación de la

dinámica no lineal es aún más evidente dado el crecimiento significativo de la literatura científica en los últimos años como es referido por Tabah (1992). Es así que surgen trabajos que analizan sistemas que usualmente no son susceptibles a la modelización tales como la estabilidad de las democracias que estudia Wiesner *et al.* (2019) y más aún, hay nuevos campos de la física como la sociofísica como lo explica de manera sencilla Schweitzer (2018). El análisis de este tipo de sistemas ha merecido también atención en la Revista Boliviana de Física (RBF), tal como se evidencia en el trabajo de Subieta-Vásquez & Ramírez-Ávila (2007) sobre la aplicación de procesos estocásticos en el crecimiento económico en sociedades sujetas a amenaza delincriminal, y en el de Subieta-Frías & Ramírez-Ávila (2017) en el que se caracteriza un modelo de toma de decisiones basado en redes complejas.

Cualquier tipo de evaluación y comparación tienen fuertes rasgos subjetivos principalmente cuando es-

[†]veronica.subieta.f@gmail.com

[‡]<http://www.fiums.a.edu.bo/docentes/mramirez/>

tos aspectos están en relación al rendimiento y calidad de seres humanos. Para disminuir la subjetividad se introducen métodos que permitan evaluar rasgos y comportamientos claves que posibiliten tener una mejor idea en cuanto a la calidad y clasificación. Uno de los aspectos importantes para medir la calidad y el impacto científico que tienen países, instituciones, publicaciones e individuos es el recurrir a la cienciometría que de acuerdo con Mingers & Leydesdorff (2015) se la define como el estudio de los aspectos cuantitativos del proceso científico como sistema de comunicación en el que puede estar involucrada una actividad económica como lo señala Tague-Sutcliffe (1992) quien además considera que es una parte de la sociología de la ciencia encontrando una gran aplicación en la formulación de políticas científicas. En 1973, Merton & Storer (1973) retoman el término “ciencia de la ciencia”, entendido hasta entonces como el hecho de estudiar la ciencia desde los aspectos psicológicos, sociológicos, históricos y filosóficos para darle esa categoría a la cienciometría. Considerando la perspectiva anterior, el término “la ciencia de la ciencia” no debe entenderse, sin embargo, como una disciplina que es superior a otras. En este sentido, las relaciones entre la cienciometría y otras disciplinas serían similares a las de la filosofía, como se había asumido anteriormente. Pero la cienciometría no debe considerarse como un campo que está por encima de otros campos científicos: la cienciometría no es la ciencia de las ciencias sino una ciencia de la ciencia para la ciencia como lo especifica Vinkler (2010). Desde un punto de vista más técnico, la cienciometría aplica los métodos y herramientas del análisis de datos a las bases de datos bibliométricas para calcular indicadores de producción en ciencia, tecnología e innovación tal como lo señala Cantú-Ortiz (2017), lo que ha permitido cómo entender las citas científicas; cómo medir el impacto científico, incluido el de investigadores, revistas e instituciones; cómo comparar las disciplinas científicas desde el punto de vista de la cienciometría; y que tipo de indicadores deben ser utilizados en la evaluación, política y gestión de la investigación. Con los aspectos mencionados anteriormente, la cienciometría también puede evaluar la importancia de las colaboraciones, las tendencias en lo que a investigación científica se refiere, y la evolución de la ciencia y la tecnología. Al haber muchas maneras de intentos de cuantificar los diferentes aspectos señalados anteriormente y que son objeto de estudio de la cienciometría, Vinkler (2001) sugirió la definición de categorías básicas de la cienciometría tales como los elementos, el conjunto, la medida, la unidad, la organización y el indicador. De manera más sencilla, Vinkler (2010) señala que los supuestos básicos de la cienciometría evaluativa (la unidad de información de las ciencias es el artículo científico, y la unidad de impacto es la cita) aunque estas unidades, a veces son solo aproximaciones crudas y estadísticas. Ha cobrado tal importancia la cienciometría que entre otras cosas, desde 1978, hay una revista, *Scientometrics* (1978), dedi-

cada exclusivamente a estos aspectos y que justifica su surgimiento como resultado de la gran importancia que adquiere el cuantificar la investigación científica al convertirse esta en una especie de actividad económica cuyos recursos debieran administrarse de la manera más eficiente para que la distribución de las ayudas financieras a la investigación no se la realice subjetivamente tal como lo explica de Solla Price (1978) en el editorial inaugural de esta revista. Al presente, *Scientometrics* ha publicado 375 números y 6045 artículos como se puede constatar en el portal WEB de *Scientometrics* (2020). Ha trascendido tanto la investigación en cienciometría que incluso hay estudios cienciométricos dedicados exclusivamente a la producción científica en cienciometría como el realizado por Moonghali *et al.* (2011).

En el proceso de cuantificación de la investigación científica y su impacto, existen otros campos relacionados con la cienciometría, en especial se pueden mencionar a la bibliometría, la informetría, la cibermetría y la denominada *altmetrics*. La bibliometría como ciencia evaluativa compara el impacto de las citas de los investigadores, los grupos de investigación y las instituciones tanto temporalmente como a nivel de las diferentes disciplinas como lo indican Bornmann & Marx (2015) y una revisión de los conceptos básicos de la misma está dada por Padhy *et al.* (2019). El término *informetría* que aparece en 1979 tal como lo menciona Tague-Sutcliffe (1992), tiene un alcance teórico y práctico en el estudio de los aspectos cuantitativos de la información en cualquier forma, no solo registros o bibliografías, y en cualquier grupo social, no solamente científicos. La *cibermetría* aparece en 1998 y como lo sostienen Mingers & Leydesdorff (2015) tiene como fin el evaluar la calidad de la producción de información con base en el análisis de documentos presentes en la WEB. Finalmente, la denominada *altmetrics* por su carácter de una métrica alternativa y también conocida como *cienciometría 2.0* es una forma de medir el impacto científico con base en la dinámica de las redes sociales en general, tales como Twitter o Facebook, así como en las más específicas como Mendeley, CiteULike como lo sostienen Galligan & Dyas-Correia (2013) o también en ResearchGate (RG) como lo estudiaron Yu *et al.* (2016) y otras como Academia.edu, Microsoft Academic Search (MAS) y Google Scholar Citations (GSC) que fueron utilizadas por Ortega (2015) para medir y comparar el impacto de los miembros de su institución.

La cienciometría trabaja con indicadores de productividad e impacto. En el primer caso, una de las bases es la utilización de las ideas de Zipf (1949) concernientes a la distribución de tamaños de rango. Para el segundo caso, se estudian patrones de citas y el impacto de las mismas a través de índices tales como el introducido por Hirsch (2005), denominado índice-*h* que es la coincidencia del número de artículos *h* que tienen este número de citas. Evidentemente, este índice no representa fielmente el impacto de autores, instituciones o países por lo que su uso debe ser hecho con las precauciones nece-

sarias como lo señala Guilak & Jacobs (2011). Por lo anteriormente mencionado, surgieron intentos de mejorar el índice- h como lo hicieron Cormode *et al.* (2013) y Dienes (2015), además de la introducción del índice- g por Egghe (2006); este último definido como el rango más alto, de modo que las primeras g publicaciones tienen, en conjunto, al menos g^2 citas, por lo que $g \geq h$. Posteriormente, Egghe (2008) hace una extensión de los índices h y g a los casos fraccionarios. Finalmente, en el núcleo del índice- h , se proponen otros indicadores complementarios tales como el índice- a que es el promedio de citas de las publicaciones, el índice- m que es el índice h dividido por el número de años desde la primera publicación y el índice- R que es la raíz cuadrada de la suma de las citas de las publicaciones que forman parte del núcleo del índice- h . Los anteriores indicadores son bien explicados por autores tales como Adler *et al.* (2009) y Kosmulski (2013). También es interesante mencionar al índice- r introducido por Rahul (2013) que tiene como objetivo el de identificar la calidad potencial de un trabajo, considerando para ello, el factor de impacto (IF) acumulado correspondiente a la suma de los factores de impacto de las revistas en que un artículo fue citado y el número de citaciones que tuvo cada artículo (c). Así, $r = \sum_{i=1}^N IF_i \times c_i$, donde N es el número total de artículos. Los índices h y r combinados nos dan una imagen más clara en cuanto a la calidad del trabajo.

El estudio de la cienciometría como una herramienta poderosa para poder elaborar políticas científicas y evaluar la productividad científica de investigadores, instituciones y países está en expansión y numerosos trabajos al respecto han sido elaborados para la evaluación de determinadas temáticas como lo hacen Bordons *et al.* (2015) con nanociencia, farmacología, y estadística; Sasvári *et al.* (2019) con derecho y economía en Hungría; Prakash & Arumugam (2017) en biotecnología, Siddiqui & Ran (2018) en biología experimental, y Rajgoli *et al.* (2017) en teledetección, en todos los casos en India; o aún el interesante análisis que hacen Moonghali *et al.* (2011) de las publicaciones en cienciometría. La evaluación de la producción científica en diferentes países también ha sido estudiada por CAICYT-CONYCEC (2007) para Argentina, utilizando el Science Citation Index (SCI) entre 1990 a 2004; por Bucheli *et al.* (2012) para Colombia en términos de su capital de acumulación intelectual; por Lancho-Barrantes & Cantú-Ortiz (2019) para México considerando la producción científica en ciencia y tecnología; por Vilchez-Román (2014) para Perú, por medio del índice- h ; también la situación de los seis países de América Latina considerados como los más importantes en ese tiempo (Brasil, Argentina, México, Chile, Venezuela y Colombia) comparados con países emergentes del sudoeste asiático (Taipei, Corea del Sur y Singapur), trabajo realizado por De Moya-Anegón & Herrero-Solana (1999); o la extensa comparación para 95 países realizada por Cole & Phelan (1999), en la cual también se utiliza el

SCI entre otros indicadores. Un trabajo interesante para cuantificar la visibilidad científica de una universidad colombiana es expuesto por Uribe-Tirado *et al.* (2019) que utiliza el impacto altmétrico de los investigadores y cuyo método podrá ser aplicado a otras universidades. Debemos señalar también que Achá (2018) realizó una estadística para mostrar la productividad científica en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), en su Facultad de Ciencias Puras y Naturales, así como en su Carrera de Biología. La utilización de este tipo de herramientas, llega también a situaciones en las que se evalúa la cuantía en la que un determinado tópico ha sido estudiado, como lo hicieron Yeung *et al.* (2020) en el caso de los compuestos denominados lignanos (clase de metabolitos secundarios encontrados en plantas y con efectos antitumorales).

Por todos los aspectos mencionados anteriormente, está claro que la cienciometría reviste una capital importancia; sin embargo, al no tener indicadores completamente objetivos, a veces se tienen situaciones que pueden llevar a resultados engañosos en desmedro del avance científico como lo apunta Şengör (2014).

El presente trabajo considera como parámetros relevantes el tipo de artículo al cual se le asigna un determinado peso dependiendo si el mismo es un artículo arbitrado o si es simplemente una contribución; también se consideran a autores, afiliaciones y países. Así, el artículo está estructurado del siguiente modo: en la Sec. 2 se hace un análisis estadístico de la RBF considerando valores medios y distribuciones de los parámetros señalados más arriba que evolucionan en el curso de los números publicados de la RBF. Posteriormente, en la Sec. 3 se clasifican y ordenan los parámetros mencionados anteriormente en términos del número de artículos asociados con cada uno de ellos, lo que permite la pertinencia o no de la ley de Zipf. Un análisis basado en redes complejas es descrito en la Sec. 4 donde el concepto principal está ligado a la consideración del sistema como una red de redes; en este análisis se cuantifican diferentes características de las redes asociadas a las cuales consideramos desde tres puntos de vista: redes simétricas no pesadas y pesadas, además de redes asimétricas pesadas. Finalmente, en la Sec. 5 se exponen las conclusiones y perspectivas de esta investigación.

2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para los análisis bibliométricos básicos, es importante definir ciertas cantidades que puedan proporcionar información relevante acerca de las publicaciones y de los patrones que puedan aparecer en ellas. Algunas de estas cantidades son: el número de artículos (NP), el número total de autores (NA), el número de autores diferentes (DA), el promedio de autores por artículo ($A_{av} = NA/NP$), el número promedio de artículos por autor ($P_{av} = NA/DA$), entre otras, tal como lo plantean Yoshikane *et al.* (2009). Así, los aspectos de estadística descriptiva a ser tomados en cuenta en este trabajo, están en

TABLETA 1
DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA CANTIDAD DE ARTÍCULOS,
AUTORES, INSTITUCIONES Y PAÍSES PARA LA RBF.

Año	# de artículos NP	# de aut. NA	# de aut. dif. DA	# de inst. NI	# de países NC
1995	12	27	25	7	3
1996	12	43	36	8	5
1997	10	42	35	11	5
1998	11	40	36	9	5
1999	16	80	71	23	11
2000	13	42	39	12	8
2001	34	45	28	3	4
2002	10	19	17	5	4
2003	13	35	29	8	5
2004	11	35	32	14	5
2005	15	32	26	6	5
2006	13	24	22	8	4
2007	14	53	45	16	5
2008	14	35	27	3	3
2009	8	15	15	2	1
2010	15	24	22	4	2
2011	31	162	124	32	15
2012	11	33	26	10	3
2013	4	10	10	1	1
2014	10	24	21	8	4
2015	9	44	42	15	8
2016	10	53	51	15	8
2017	10	34	29	11	3
2018	8	22	19	2	2
Totales	314	973	500	156	30

TABLETA 3
PRODUCTIVIDAD ANUAL EN TÉRMINOS DE AUTORES,
INSTITUCIONES Y PAÍSES PARA LA RBF.

Año	Prod. por autores $PA = \frac{NP}{NA}$	Prod. por aut. dif. $PD = \frac{NP}{ND}$	Prod. por inst. $PI = \frac{NP}{NI}$	Prod. por países $PC = \frac{NP}{NC}$
1995	0.44	0.48	1.71	4.00
1996	0.28	0.33	1.50	2.40
1997	0.24	0.29	0.91	2.00
1998	0.28	0.31	1.22	2.20
1999	0.20	0.23	0.70	1.45
2000	0.31	1.21	1.08	1.63
2001	0.76	0.59	11.33	8.50
2002	0.53	0.45	2.00	2.50
2003	0.37	0.34	1.63	2.60
2004	0.31	0.58	0.79	2.20
2005	0.47	0.59	2.50	3.00
2006	0.54	0.31	1.63	3.25
2007	0.26	0.52	0.88	2.80
2008	0.40	0.53	4.67	4.67
2009	0.53	0.68	4.00	8.00
2010	0.63	0.25	3.75	7.50
2011	0.19	0.42	0.97	2.07
2012	0.33	0.40	1.10	3.67
2013	0.40	0.48	4.00	4.00
2014	0.42	0.21	1.25	2.50
2015	0.20	0.20	0.60	1.13
2016	0.19	0.34	0.67	1.25
2017	0.29	0.44	0.91	3.33
2018	0.36	0.38	4.00	4.00
Totales	0.32	0.63	2.01	10.47

TABLETA 2

NÚMERO DE REGISTROS PARA ESTABLECER EL PATRÓN QUE SIGUEN LOS AUTORES, INSTITUCIONES Y PAÍSES EN TÉRMINOS DEL NÚMERO DE COMPONENTES EN LOS QUE APARECEN EN LOS ARTÍCULOS.

Número de componentes o patrón	autores	instituciones	países
único	137	254	266
dos	65	33	33
tres	42	9	9
cuatro	25	7	3
cinco	14	0	0
seis	6	0	3
más de seis	25	11	0
Totales	314	314	314

relación con la distribución de artículos, autores, instituciones y países a lo largo de los años de vida de la RBF; lo que se muestra en la Tabla 1. Otro aspecto estadístico que se puede describir es el número de registros relacionados a la cantidad de autores, instituciones y países por artículo, datos que se muestran en la Tabla 2. Por ejemplo, si en esta tabla se indica 137 registros de autores de patrón único, significa que hay 137 artículos publicados que tienen un único autor; si indica 9 registros de países de patrón 3 significa que hay 9 artículos publicados cuyos autores pertenecen a 3 países diferentes.

La productividad y colaboración sirven también para el análisis a través de A_{av} o su inversa, definida

como la productividad por autor ($PA = NP/NA$), cantidades expresadas en la Tabla 1. En tanto que el grado de colaboración descrito por Prakash & Arumugam (2017) se define como $C = \frac{Nm}{Nm+Ns}$, siendo Nm , el número de artículos con múltiples autores y Ns , el número de artículos con un único autor, cantidades expresadas para el caso acumulado, en la Tabla 2. Es evidente que la productividad y grado de colaboración pueden extenderse como concepto a instituciones y países y por ello, en la Tabla 3, se muestra la productividad anual de autores, instituciones y países. Finalmente, en la Tabla 4, se muestra el grado de colaboración ($C(X) = \frac{Nm(X)}{Nm(X)+Ns(X)}$) para autores ($X = A$), instituciones ($X = I$) y países ($X = C$). Por otra parte, la RBF, tiene características que son importantes a ser tomadas en cuenta, tales como el hecho de que podemos distinguir entre artículos científicos originales que son los que pasan por un proceso de arbitraje y los otros tipos de artículos que los denominamos genéricamente como contribuciones (revisiones, enseñanza e historia de la física). Con base en los resultados mostrados en las Tablas 1–4, se obtienen los histogramas que dan cuenta de los aspectos descriptivos en lo que se refiere a número de artículos, productividad y colaboración. Así, la evolución en el número de los diferentes artículos se muestra en la Fig. 1, donde se observa que el número de artículos publicados por año presenta pocas variaciones, tanto en artículos originales o ar-

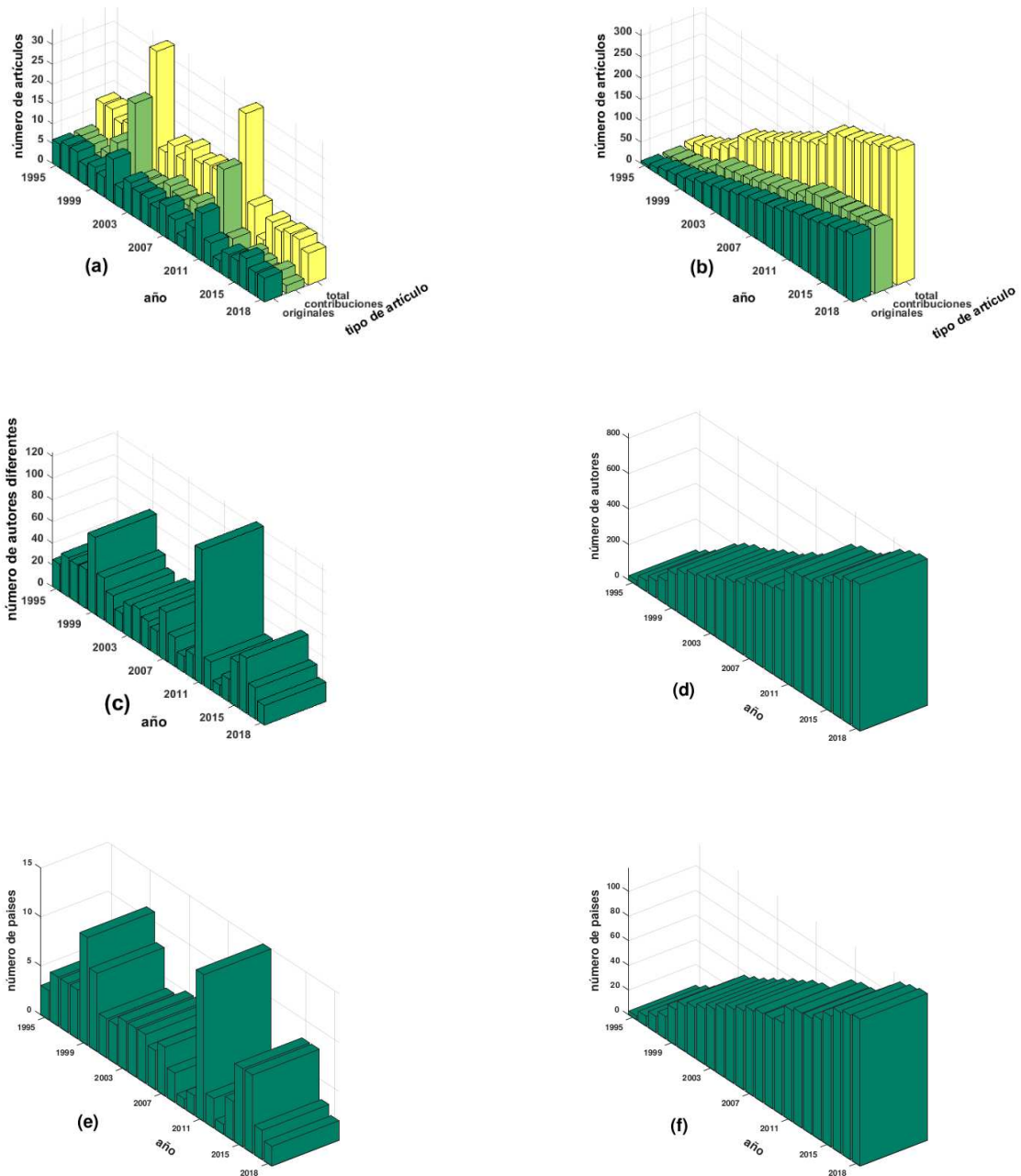


FIG. 1.— (a) Número de artículos por año, (b) número de artículos acumulados por año, (c) número de autores por año, (d) número de autores por año acumulados, (e) número de países por año, (f) número de países por año acumulados

bitrados como en otras contribuciones, teniéndose solo dos años extraordinarios en 2001 y 2011 con un número notablemente mayor de artículos en comparación a los otros años. En la Fig. 1(b) se observa un crecimiento casi lineal en la evolución del número de artículos. Comportamientos similares se tienen para el caso del número de autores diferentes y países de los autores como se muestran en las Figs. 1(c)–(d) y en las Figs. 1 (e)–(f) respectivamente.

En cuanto a la productividad por autores, países e instituciones, la evolución de las mismas se mues-

tra en la Fig. 2, donde no se observa una tendencia definida al transcurrir los años ya se presentan incrementos y decrementos alrededor de un valor medio que para autores es 0.37, para autores diferentes es 0.44, para instituciones es 2.24 y para países es de 3.36, sólo destacan nuevamente los valores atípicos del año 2001. En la Fig. 3 se muestra el grado de colaboración entre autores ($C(A)$), instituciones ($C(I)$) y países ($C(C)$). Se observa que, naturalmente, la colaboración entre autores es mayor a la colaboración entre instituciones y países; siendo estas dos últimas aproximadamente del mismo orden.

TABLA 4
GRADO DE COLABORACIÓN ANUAL PARA AUTORES,
INSTITUCIONES Y PAÍSES EN LA RBF.

Año	autores $C(A)$	instituciones $C(I)$	países $C(C)$
1995	0.500	0.167	0.083
1996	0.667	0.250	0.250
1997	0.600	0.200	0.200
1998	0.455	0.091	0.091
1999	0.563	0.188	0.188
2000	0.385	0.154	0.154
2001	0.206	0.000	0.000
2002	0.400	0.200	0.100
2003	0.769	0.231	0.154
2004	0.636	0.364	0.273
2005	0.400	0.200	0.800
2006	0.462	0.231	0.154
2007	0.571	0.214	0.214
2008	0.571	0.143	0.143
2009	0.375	0.000	0.000
2010	0.533	0.067	0.067
2011	0.839	0.452	0.290
2012	0.636	0.091	0.091
2013	1.000	0.000	0.000
2014	0.600	0.300	0.200
2015	0.889	0.333	0.222
2016	0.500	0.300	0.300
2017	0.700	0.200	0.100
2018	0.875	0.000	0.000
Totales	0.561	0.191	0.966

Lo anterior se debe a que de cada institución generalmente participan varios investigadores y no sólo uno en la elaboración de un artículo.

3. LEYES DE POTENCIA

Lotka (1926) reporta un resultado relacionado con aspectos cuantitativos en el cual, encuentra que la distribución de frecuencia de la productividad científica (porcentaje de autores vs. número de citas) sigue una ley potencial del tipo p^{-n} , siendo $n \approx 2$. Posteriormente, Zipf (1949), generaliza este tipo de resultados a leyes de potencia en general. Finalmente, una reevaluación de la denominada ley de Lotka es realizada por MacRoberts & MacRoberts (1982). Con base en los datos de la RBF se busca si se presentan estas leyes de potencia, para ello, se realiza un ajuste a los datos del número de autores en función del número de artículos publicados y el peso asignado a la producción como función del rango de autores. Se verifica como se puede ver en la Fig. 4 que el comportamiento corresponde a una ley de potencia con valor para la potencia de -2.567, valor que se acerca a la ley de potencia de Lotka que tiene el valor -2. En la Fig. 5 que da cuenta del peso de la producción en función del rango de autores también se observa un comportamiento de ley de potencia con valor de -0.788 para la potencia. La Fig. 4(a) parece presentar un buen ajuste a una ley de potencia; sin embargo, la representación en ejes logarítmicos (Fig. 4(b)), muestra que la ley de potencia es solamente válida de manera parcial hasta autores que cuentan con alrededor de 10

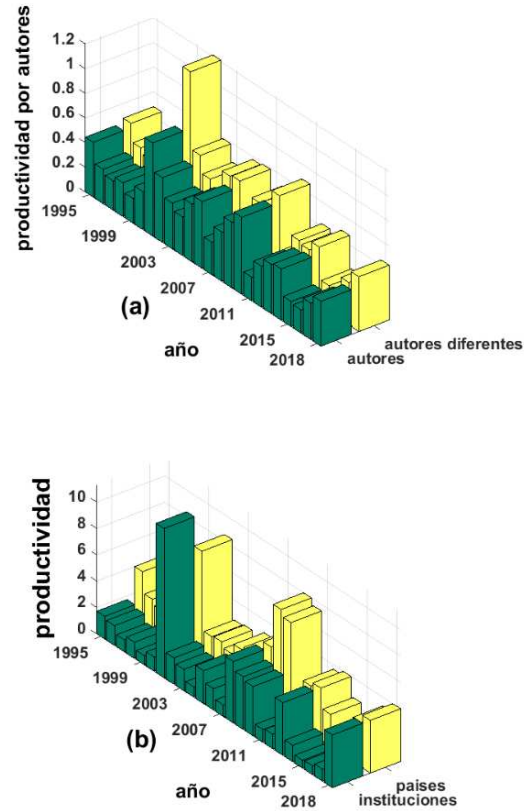


FIG. 2.— (a) Productividad por autores diferentes y repetidos, (b) productividad de instituciones y países

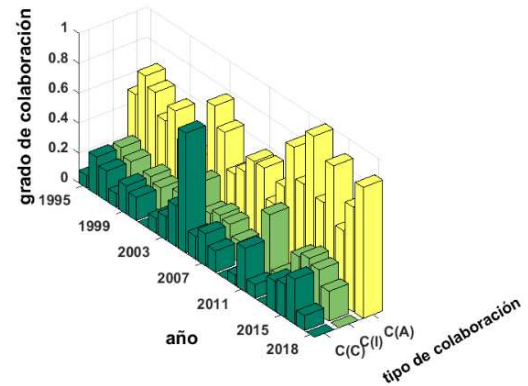


FIG. 3.— Grado de colaboración para autores ($C(A)$), instituciones ($C(I)$) y países ($C(C)$).

artículos. Por otro lado, se tiene un grupo de autores con una gran cantidad de artículos (de autores que son parte de las instituciones que editan la RBF, lo que se puede considerar como una fuerte endogeneidad que ocasiona que estos autores no formen parte de la ley de potencia esperada. La Fig. 5(a) también parece obedecer a una ley de potencias pero la representación doble logarítmica muestra una distribución que se asemeja a la típica distribución en forma de “rodilla” muy común en los espectros en-

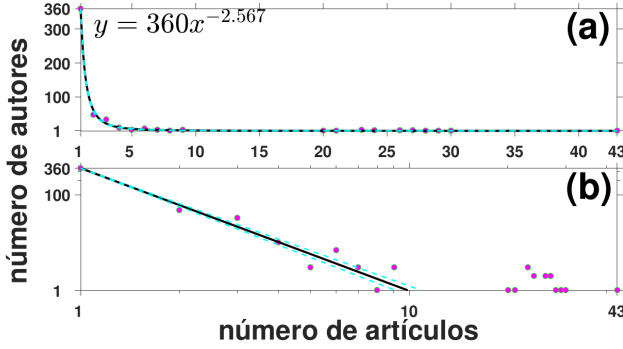


FIG. 4.— Distribución en rango del número de autores de acuerdo con el número de artículos que publicaron. (a) Se muestra un ajuste de tipo ley de potencia con un valor para la misma de -2.567. (b) Representación en ejes logarítmicos.

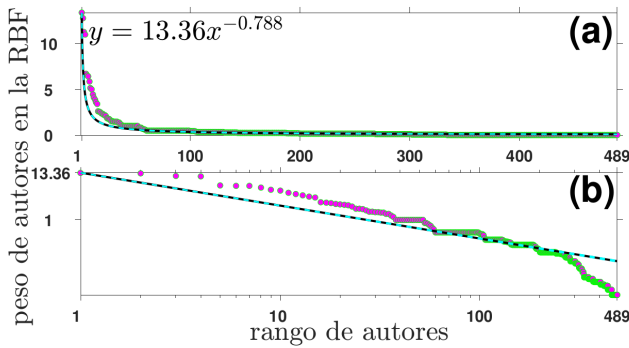


FIG. 5.— Contribución ponderada (pesos) de los autores en función del rango de los autores. (a) Se muestra también un ajuste de tipo potencial pero con valor de potencia de -0.788. (b) Representación en ejes logarítmicos.

ergéticos de rayos cósmicos. Este comportamiento está también en relación con la característica de la RBF de tener una gran parte de sus autores con mayor ponderación, pertenecientes a las instituciones encargadas de la edición de la RBF; es decir, confirmando la endogeneidad intrínseca de la RBF.

El análisis anterior también permitió que se identifique a un pequeño grupo de autores (15 en total) que concentran un total de 394 artículos publicados en la RBF; es decir, con un promedio de 26.3 artículos por autor. Si bien a primera vista, lo anterior pueda ser considerado como un aspecto positivo; en la realidad, constituye una amenaza a la existencia de la RBF puesto que si estos autores por algún motivo dejan de publicar, la continuidad de la RBF puede sufrir un impacto importante en los requerimientos de artículos que permitan a la RBF permanecer en plataformas de acceso abierto. Lo anterior puede significar también una gran desproporción en las contribuciones de los investigadores bolivianos que finalmente se reflejará en aspectos tales como la productividad e influencia que se explican en la Sec. 4.

4. ANÁLISIS UTILIZANDO REDES COMPLEJAS

La evolución de los conceptos surgidos de la teoría de grafos que desembocan en lo que hoy conocemos como redes complejas ha sido de fundamental impor-

tancia para la ciencia como lo señalan Steen (2010) y Pozrikidis (2014), además de mostrar la ubicuidad de estas estructuras que se presentan en diversidad de sistemas como lo mencionan diferentes textos especializados en redes complejas como los debidos a Dorogovtsev & Mendes (2003), Ben-Naim *et al.* (2004), Newman *et al.* (2006), Caldarelli & Vespignani (2007), Dehmer & Emmert-Streib (2009), Newman (2010), Estrada (2011), Barthelemy (2018), o más especializados como los de Kepes (2007), Boccaletti (2010) y Buchanan *et al.* (2010) en redes biológicas, y los de Freeman (2004) y Gonçalves & Perra (2015) en redes sociales. Son precisamente, estas redes, cuyas aristas representan conexiones sociales las que interesan para la descripción de colaboraciones como lo mencionan Estrada & Knight (2015) y que se utilizan para los estudios científicos.

Existen aspectos básicos para la descripción de redes complejas tales como el hecho de que las redes están compuestas por un número N de *nodos*, los cuales están conectados a otros por medio de enlaces; el número de enlaces que salen y/o entran al nodo i , se denomina el *grado* k_i . De acuerdo con la característica del grado de los nodos, las redes pueden ser indirectas (simétricas), véase Secs. 4.1 y 4.2, o directas (asimétricas), véase Secs. 4.3 y 4.4. Con base en el concepto de grado, es posible calcular el *número total de enlaces (links)* L en una red indirecta como lo establece Barabási (2016) como $L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N k_i$, donde el factor $\frac{1}{2}$ aparece como resultado de que los enlaces se cuentan dos veces en este tipo de redes. También, el número total de interacciones entre los nodos está representado por L . Por otro lado, se define el *grado promedio* $\langle k \rangle$ como el valor medio del grado de cada uno de los nodos. Consecuentemente, $\langle k \rangle = \frac{\sum_i k_i}{N} = \frac{2L}{N}$. Otra forma de caracterizar redes es mediante la *densidad de la red* ρ definida como la razón del número de enlaces en la red al número total de enlaces posibles. Así, como lo indican Menczer *et al.* (2020), para una red indirecta,

se tendrá que $\rho = \frac{L}{L_{\max}}$, siendo $L_{\max} = \binom{N}{2}$. Consecuentemente, la densidad queda como: $\rho = \frac{2L}{N(N-1)}$. En tanto que para una red directa, se tiene que la densidad es $\rho = \frac{L}{N(N-1)}$.

En esta sección se analizarán las matrices de adyacencia asociadas a las redes complejas de países cuyos autores e instituciones pertenecen a los mismos. Es decir, en las redes complejas que se analizan, los nodos o vértices son los países y entre ellos existe un enlace o arista si es que se tiene un artículo publicado de manera conjunta. Sin embargo, se harán distinciones en los tipos de redes considerados como se explica en las siguientes subsecciones,

4.1. Redes simétricas y no pesadas: diversidad de países

La diversidad de países presentes en la RBF puede ser caracterizada mediante redes simétricas y no pesadas, de las cuales, se calculan algunos indicadores tales como:

Longitud de camino promedio.: Denotada por $\langle d \rangle$, es el promedio de las longitudes de los caminos más cortos (denominados geodésicas) existentes entre todos los pares de nodos. Un camino entre dos nodos está definido como la trayectoria que va desde un nodo a otro a través de los nodos que se hallan conectados con un enlace y la longitud de camino queda determinada por el número de nodos menos uno por el que atraviesa el camino. En consecuencia, de acuerdo con Barabási (2016), la expresión para la longitud de camino promedio es

$$\langle d \rangle = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i=1}^N d_{i,j}. \quad (1)$$

Diámetro de una red.: Es la geodésica (camino más corto entre dos nodos) de mayor tamaño que hay entre todos los nodos.

Transitividad.: Como lo señalan Boccaletti *et al.* (2006), la transitividad significa la presencia de un alto número de triángulos en la red, esta es cuantificada mediante el número relativo de triángulos, es decir la fracción de nodos conectados triples (triadas) los cuales también forman triángulos. En términos formales, se puede escribir:

$$\mathcal{T} = \frac{\sum_{i,j,k=1}^N a_{jk} a_{ij} a_{ki}}{\sum_{i,j,k=1}^N a_{ij} a_{ik} (1 - \delta_{jk})}. \quad (2)$$

Coefficiente de agrupamiento.: Es una medida introducida por Watts, & Strogatz (1998) y está definido como sigue: primeramente, se define el coeficiente de agrupamiento de cada nodo como el número de triángulos que forma con sus vecinos entre el número de triángulos que podría formar y el coeficiente de agrupamiento de toda la red es entonces el promedio de estos coeficientes de agrupamiento locales; es decir:

$$\mathcal{C} = \frac{\sum_{j,k=1}^N a_{jk} a_{ij} a_{ki}}{N k_i (1 - k_i)}. \quad (3)$$

Heterogeneidad.: Conceptualmente es muy importante para la descripción de una red compleja; sin embargo, no existe un criterio unificado para su definición. Así, primero se introduce un índice que muestra la irregularidad local como la diferencia de la raíz cuadrada del inverso del grado de los nodos:

$$I_{ij} = (f(k_i) - f(k_j))^2. \quad (4)$$

Esta función tiene valor nulo cuando los nodos poseen el mismo grado, como sucede en redes regulares; en tanto que crece cuando los grados de los nodos son diferentes. Se define entonces el índice de heterogeneidad como la suma de los indicadores de irregularidades para todos los

enlaces de la red y se debe dividir entre un factor para que esta cantidad quede normalizada como lo establece Estrada (2010).

$$\rho(G) = \frac{\sum_{i,j \in E} (k_i^{-1/2} - k_j^{-1/2})^2}{N - 2\sqrt{N-1}}. \quad (5)$$

Para las redes regulares esta cantidad es idénticamente nula y a medida que las diferencias entre los grados de los nodos aumenta, el índice también crece.

En la Fig. 6 se muestra la evolución de nueve cantidades que caracterizan a las redes directas, no pesadas y por tanto simétricas de los países contribuyentes de la RBF, correspondientes a las situaciones acumuladas que dan cuenta de la evolución de la diversidad. Los números de enlaces y ciclos (Fig. 4(a) y (d)) dan cuenta de la diversidad de países en la RBF de una manera directa, ya que evidentemente aumenta con el tiempo pero a ritmos de crecimiento diferentes que nos dan la pauta de la actividad e internacionalización de la RBF. En particular, se observa un gran crecimiento en los intervalos 1998-2000 y 2014-2016. También, el grado y la longitud de camino promedios (Fig. 4(c) y (e)) tienden a aumentar con el tiempo, debido a que las redes acumuladas crecen, dando lugar a que los nodos puedan establecer más vínculos pero también, en los nodos no vinculados aumente la distancia entre ellos. Lo anterior, tiene su explicación en el hecho de que la mayoría de los autores son bolivianos pero cada investigador o grupo de investigación tiene colaboraciones preferenciales con gente de países específicos y que no necesariamente están vinculados entre ellos. La densidad de enlaces y la transitividad (Fig. 4(b) y (h)) tienen cualitativamente un comportamiento similar, donde se observa una tendencia a la disminución de estas cantidades; esto es debido a que la red aumenta más rápido de tamaño que el número de nuevos enlaces. Sin embargo, se observa que existe un remonte a partir de 2014. El diámetro de la red observado en la Fig. 4(f) presenta varias zonas de estabilidad, aunque se debe mencionar que para el cálculo de esta cantidad, se ha considerado la subred mayor. Finalmente, los indicadores más interesantes que son el coeficiente de agrupamiento y la heterogeneidad (Fig. 4(g) e (i)), no presentan grandes variaciones a partir de 2000. Para estas dos últimas cantidades, existe también un problema en el cálculo cuando se presentan subredes, lo que influye en el hecho de que se tenga esta suerte de casi estabilidad de los valores.

4.2. Redes simétricas y pesadas en enlaces: colaboración

Para la descripción de la colaboración entre países, se puede definir este concepto tanto desde un punto de vista local como global. En el primer caso, se considera sólo la colaboración entre países que publicaron en la RBF; en tanto que a nivel global se considera

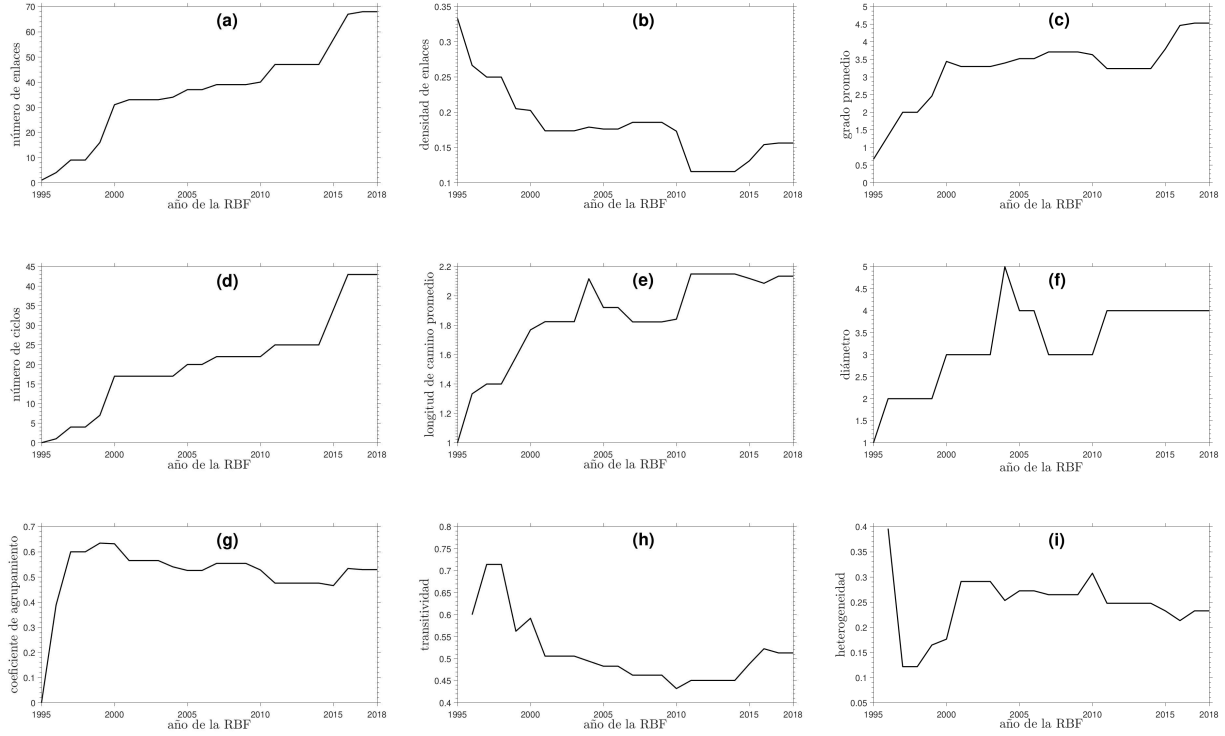


FIG. 6.— Evolución de cuantificadores de redes: (a) Número de enlaces, (b) densidad de enlaces, (c) grado promedio, (d) número de ciclos, (e) longitud de camino promedio, (f) diámetro, (g) coeficiente de agrupamiento, (h) transitividad y (i) heterogeneidad, para las redes complejas acumuladas por año correspondientes a los países que contribuyeron en la RBF, en el caso de redes directas y no pesadas.

el conjunto de todos los países posibles que por simplicidad, se toma como una constante igual a 194. En ambos casos, la colaboración puede ser caracterizada mediante redes cuyas matrices de adyacencia son simétricas y con enlaces pesados que señalan el número de publicaciones que tienen los países de manera conjunta. A partir de estas matrices se puede definir un indicador de colaboración C general que puede ser utilizado tanto para cada año por separado como para el caso acumulado. Este índice de colaboración se define como el cociente de la suma de los elementos de la matriz y un factor de normalización en términos del número de artículos y países que se expresa como:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NC} a_{ij}}{NC(NC - 1)NP} . \quad (6)$$

Siendo NC el número de países que publicaron en la RBF para el caso local y $NC = 194$ para el global. Queda claro que el intervalo de validez es $0 \leq C \leq 1$. En la Fig. 7 se muestra el mencionado índice para cada uno de los años y para el caso acumulado en la situación local. Una inspección de la Fig. 7(a) muestra que C puede presentar variaciones abruptas e incluso en algunas ocasiones no se lo puede definir como en 2009 y 2013. Lo anterior se debe a que en esos años sólo un país publicó en la RBF. Otro caso interesante ocurre en 2018, año en el cual, dos países publicaron en la RBF pero no existió colaboración alguna entre ellos, por lo que $C = 0$. En tanto que el comportamiento de la situación acumulada, de-

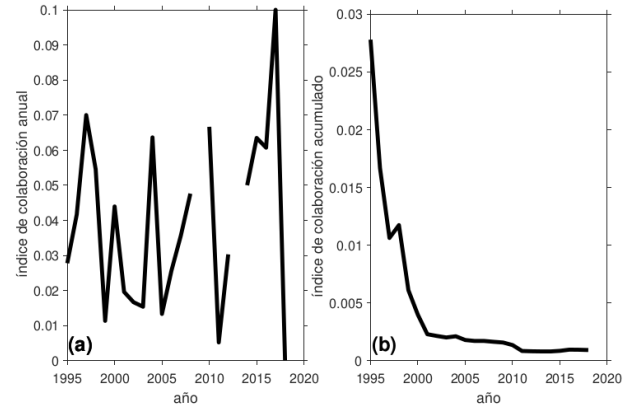


FIG. 7.— Índice de colaboración (C) local para las situaciones (a) anual y (b) acumulada.

crece drásticamente con el tiempo como se observa en la Fig. 7(b). El decaimiento de C es natural puesto que a medida que transcurre el tiempo, el número de artículos NP aumenta más rápidamente que el número de nuevos países.

El índice de colaboración global se muestra para las situaciones anual y acumulada en la Fig. 8. Se observa que el índice de colaboración es mucho menor en la situación global que en la local. Siguen existiendo cambios abruptos en el caso anual como se ve en la Fig. 8(a). La diferencia aparece en el caso acumulado, donde ya no existe la tendencia de-

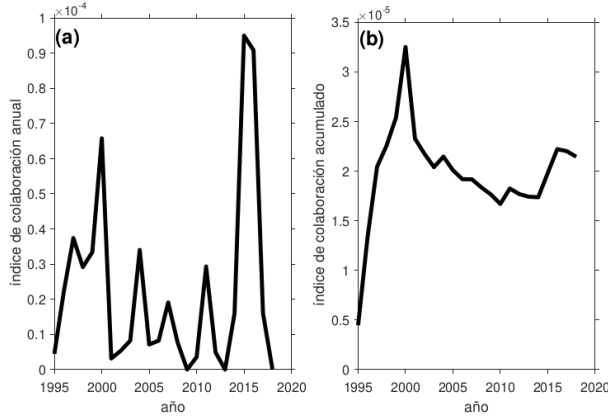


FIG. 8.— Índice de colaboración global (C) para los casos (a) anual y (b) acumulado.

creciente en el tiempo; esto se debe a que tanto el número de países que publican en la RBF como el número de artículos aumenta en el tiempo, lo que se reflejará, en general, en un aumento de la suma de los términos de la matriz de adyacencia y consiguientemente permitiendo que incluso pueda haber un crecimiento del índice de colaboración global.

4.3. Redes asimétricas y pesadas en enlaces: influencia

A diferencia de los anteriores casos, en los cuales, no se tomaban en cuenta los pesos de los artículos, ahora consideramos los pesos de participación de cada país en la publicación de un artículo, en el que participan varios países; por lo que se obtienen matrices de adyacencia asimétricas, donde la columna correspondiente a un dado país indica la participación de dicho país en publicaciones conjuntas con el país correspondiente a cada fila.

Con base en este tipo de redes podemos calcular la influencia de un país sobre los países con quienes colabora, es así que se puede definir un indicador de influencia del país i como

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^{NC} a_{ij}}{\sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NC} a_{ij}}. \quad (7)$$

En la Fig. 9 se muestra este indicador de influencia para cada año de publicación de la RBF (Fig. 9(a)) y para la situación acumulada (Fig. 9(b)). Para lo anterior, se consideraron los tres países más influyentes en las publicaciones: Bolivia, Brasil e Italia y además se tomó en cuenta al resto de los países como si se tratase de otro grupo.

En la Fig. 9(a), se observa que en los primeros dos años no están presentes Italia y Brasil como países influyentes, teniéndose solo a Bolivia y otros. En los 1997—1998, 2000 y 2002 aparece Italia con una gran influencia, incluso mayor a la de Bolivia. A partir del año 2004 desaparece la influencia de Italia para reaparecer una década más tarde con una influencia no despreciable durante tres años consecutivos. Brasil aparece de manera intermitente y con una in-

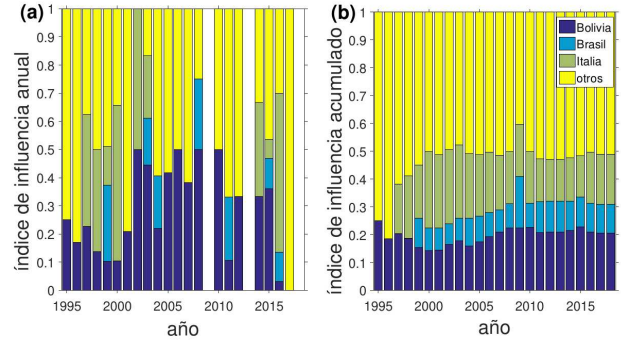


FIG. 9.— (Color online) Índice de influencia para los tres países más influyentes: Bolivia, Brasil e Italia, así como para los otros países considerados como un otro grupo. (a) Anual y (b) acumulado. La influencia de Bolivia se manifiesta durante casi todos los años, pero apenas alcanzando un máximo valor de 50% y no se presenta en 2017. Existen tres años en que no se representa la influencia el 2009, 2013 y 2018 porque solo participó Bolivia en las publicaciones. En la Fig. 9(b) se observa que el índice de influencia en el caso de los tres países más influyentes suma aproximadamente el 50% a partir de 2000.

4.4. Redes asimétricas y pesadas en nodos: productividad

Considerando el peso específico de la participación de cada país en el peso total de cada entrega anual de la RBF o de la cantidad acumulada a lo largo de la historia de la misma; la participación está caracterizada por una matriz de adyacencia asimétrica por el hecho de que la contribución de los países en cada artículo no es uniforme y además, se tendrán elementos en la diagonal puesto que en ciertas ocasiones, los artículos solamente son escritos por autores de un sólo país. Con esta matriz de adyacencia, es posible definir varios conceptos que estarán caracterizados por indicadores de producción, los mismos que se explican a continuación:

La producción general de la RBF: La producción anual de la RBF puede definirse como el cociente entre la producciones anual y de todos los años de existencia

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NC} a_{ij}}{\sum_{k=1995}^{2018} \sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NC} a_{ij}^k}. \quad (8)$$

El resultado de este índice se puede ver en la Fig. 10(a) de manera anual y en la Fig. 10(b) el caso acumulado año tras año. También en la Fig. 10(a) se ven los años extraordinarios de producción como los años 2001 y 2011. En tanto que en la Fig. 10(b), se obtuvo que la producción anual tiene un comportamiento casi lineal; es decir, que la producción anual en promedio fue constante.

La producción en artículos de manera individual: Se puede definir la producción individual como

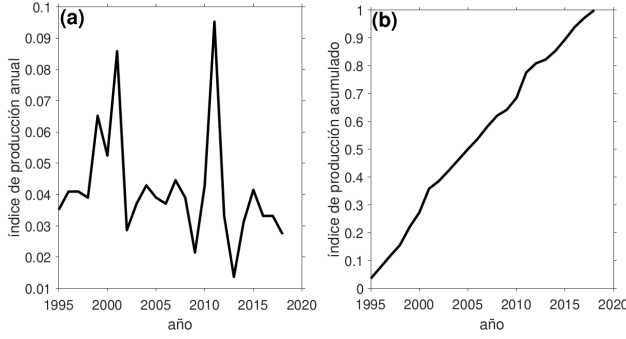


FIG. 10.— Producción en términos de peso de los artículos publicados en la RBF (a) anual y (b) acumulado.

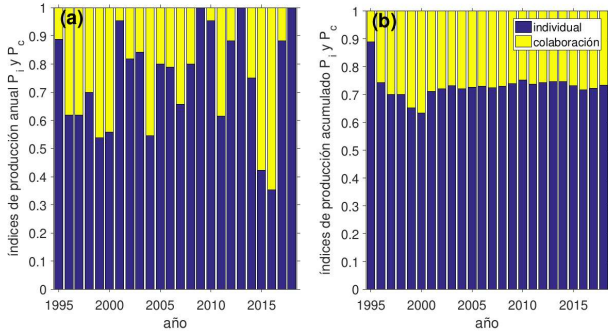


FIG. 11.— (Color online) Producción individual (azul) y en colaboración (amarillo) en términos de peso de los artículos publicados en la RBF para los casos (a) anual y (b) acumulado.

el cociente de la traza y la producción total dada por la suma de todos los elementos de la matriz.

$$P_{\text{ind}} = \frac{\sum_{i=1}^{NC} a_{ii}}{\sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NC} a_{ij}}. \quad (9)$$

La producción en colaboración: Está definida como el complemento de la producción individual P_{ind} :

$$P_{\text{col}} = 1 - P_{\text{ind}}. \quad (10)$$

En la Fig. 11 (a) se presentan los resultados anuales de la producción individual y en colaboración, observándose que a excepción de los años 2015 y 2016 siempre se tuvo mayor producción individual que en colaboración. Mientras que en la Fig. 11(b) se representa la situación acumulada, donde se ve que la producción individual, se mantiene casi constante al transcurrir los años en un 70%.

La productividad por país j : Definida como el cociente de la columna del país j y la suma de todos los elementos de la matriz:

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^{NC} a_{ij}}{\sum_{i=1}^{NC} \sum_{j=1}^{NC} a_{ij}}. \quad (11)$$

En la Fig. 12(a) se representa la productivi-

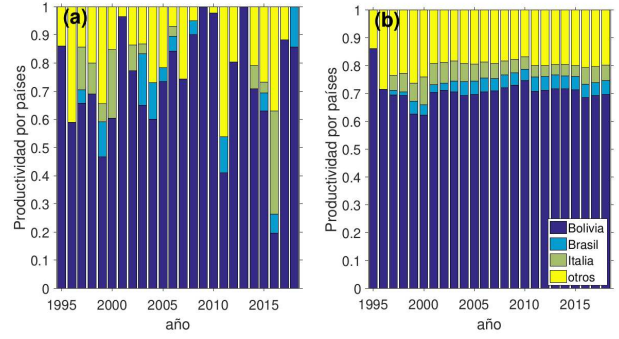


FIG. 12.— (Color online) Índice de productividad por país para los tres países: Bolivia, Brasil e Italia, así como para los otros países considerados como un otro grupo. (a) Anual y (b) acumulada.

dad anual por país, notándose que Bolivia fue el país con mayor producción, siendo esta del orden de 50% o mayor a excepción de los años 2011 y 2016. La producción acumulada se muestra en la Fig. 12(b), donde se ve que la producción por países tiene un comportamiento casi constante con una producción de Bolivia de aproximadamente 70%. Cabe mencionar que al igual que en el caso de la influencia, los países elegidos fueron Bolivia, Brasil e Italia, y el grupo de otros representa a los 25 países restantes que participaron en la RBF a lo largo de su historia. Se observa también que tanto Brasil como Italia, no superan el 10% en lo que se refiere a producción, lo que significa que el resto de los países en conjunto sólo sumarían alrededor de 20%.

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El análisis cuantitativo realizado se basó en tres pilares, la estadística descriptiva, la ley de Zipf y el uso de redes complejas. El primero de los aspectos sirvió para tener una visión cuantitativa primaria estudiada por diferentes autores y que son comunes en este tipo de estudios. El segundo, permitió verificar el cumplimiento parcial de esta suerte de relación universal para este tipo de sistemas sociales. A partir del análisis se detectó que la presencia de súper nodos (autores con una gran cantidad de artículos o equivalentemente con ponderación importante en la RBF) lleva a una distribución en forma de “rodilla”. En tanto que, en el tercer aspecto se introducen nuevos conceptos ligados con las redes complejas y que nos permitió definir conceptos relevantes tales como la diversidad, la colaboración, la influencia y la productividad de acuerdo con el tipo de red considerado; es decir, si las mismas eran no pesadas e indirectas, pesadas e indirectas, pesadas y directas, y pesadas tanto en nodos como enlaces y directas, respectivamente. Según lo revisado bibliográficamente, creemos que es la primera vez que se hace un análisis cuantitativo de estas características; es decir, extraer todos los indicadores a partir de la estructura de red. Está claro que evaluaciones más certeras pueden hacerse considerando

el aporte de los autores en función del número de autores por artículo, como se hizo en la representación de redes pesadas y teniendo en cuenta la importancia de autores únicos; pero también se pueden establecer aspectos tales como la importancia de cada autor en un artículo dado como plantean Yoshikane *et al.* (2009) quienes consideran que el último autor puede tener una importancia fundamental en el sentido de que en general es quien dirige el trabajo o funge como mentor del mismo. En futuras investigaciones cuantitativas el anterior aspecto debería ser considerado para la evaluación del impacto, importancia o peso de los autores, instituciones o países. Sin duda, es muy importante someter a las publicaciones a este tipo de análisis ya que puede mostrar la evolución de la productividad de los científicos así como lo muestran Chaman Sab *et al.* (2012) para el caso de la medicina en India entre 2009 y 2018, hallando un crecimiento exponencial de la investigación en este campo y para este país en la última década. En cuanto al objeto de estudio que fue la RBF, con base en los resultados, podemos hacer algunos comentarios y recomendaciones a los editores de la RBF: (i) Se observa un carácter fuertemente endógeno de la RBF, lo que puede parecer natural por el hecho de que la mayoría de los investigadores en física pertenecen a la Sociedad Boliviana de Física (una de las instituciones que edita la RBF).

(ii) Se recomienda a los autores favorecer las colaboraciones internacionales. (iii) Para la diversificación de la RBF se sugiere que se invite a científicos de renombre a que contribuyan con artículos que dado el prestigio de los autores puedan aumentar el interés en la RBF. (iv) Es menester que la RBF pueda aumentar su impacto por lo que es imprescindible que se mantenga en la plataforma de acceso abierto SciELO y se debería propender a ser parte de otras plataformas de acceso abierto. (v) Se debe implementar una política de otorgación de créditos a los árbitros que cumplen una función muy valiosa en la RBF; una forma para lograr lo anterior, es que los editores intenten ser considerados en la plataforma Publons. Como perspectiva, tenemos planeado hacer estos análisis para publicaciones bolivianas que presenten continuidad y siguen algunos estándares de rigurosidad, más concretamente con revistas indexadas en la plataforma SciELO Bolivia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Carrera de Física y al Instituto de Investigaciones Físicas de la Universidad Mayor de San Andrés por habernos permitido desarrollar esta investigación en las mejores condiciones.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

REFERENCIAS

- Achá, D. 2018, *Ecología en Bolivia*, **53**, 77
- Adler, R., Ewing, J., & Taylor, P. 2009, *Statistical Science*, **24**, 1
- Barabási, A. L. 2016, *Network science* (Cambridge: Cambridge University Press)
- Barthelemy, M. 2018, *Morphogenesis of spatial networks* (Cham: Springer)
- Ben-Naim, E., Frauenfelder, H., & Toroczkai, Z. 2004, *Complex networks* (Berlin: Springer)
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. 2006, *Physics Reports*, **424**, 175
- Boccaletti, S. 2010, *Handbook on biological networks* (Singapore: World Scientific)
- Bordons, M., Aparicio, J., González-Albo, B., & Díaz-Faes, A. 2015, *Journal of Informetrics*, **9**, 135
- Bornmann, L. & Marx, W. 2015, *Journal of Informetrics*, **9**, 408
- Buchanan, M., Caldarelli, G., Rao, F., & Vendruscolo, M. 2010, *Networks in cell biology* (Cambridge: Cambridge University Press)
- Bucheli, V., Díaz, A., Calderón, J., Lemoine, P., Valdivia, J., Villaveces, J., & Zarama, R. 2012, *Scientometrics*, **91**, 369
- CAICYT-CONYCET. 2007, *Revista Argentina de Endocrinología y Metabolismo*, **44**, 25
- Caldarelli, G. & Vespignani, A. 2007, *Large scale structure and dynamics of complex networks: from information technology to finance and natural science* (New Jersey: World Publishing)
- Cantú-Ortiz, F. 2017, *Research analytics: boosting university productivity and competitiveness through scientometrics* (Boca Raton: CRC Press. Taylor & Francis Group)
- Chaman Sab, M., Dharani Kumar, P. & Biradar, B. S. 2018, *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, 2186 Website: <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/2186>. Acceso: 18.05.2019
- Cole, S. & Phelan, T. 1999, *Minerva*, **37**, 1
- Cormode, G., Ma, Q., Muthukrishnan, S., & Thompson, B. 2013, *Journal of Informetrics*, **7**, 718
- De Moya-Anegón, F. & Herrero-Solana, V. 1999, *Scientometrics*, **46**, 299
- de Solla Price, D. 1978, *Scientometrics*, **1**, 3
- Dehmer, M. & Emmert-Streib, F. 2009, *Analysis of complex networks: from biology to linguistics* (Mörlenbach: Wiley)
- Dienes, K. 2015, *Journal of Informetrics*, **9**, 385
- Dorogovtsev, S. & Mendes, J. 2003, *Evolution of networks: from biological nets to the internet and WWW* (Oxford: Oxford University Press)
- Egghe, L. 2006, *Scientometrics*, **69**, 131
- . 2008, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **59**, 1608
- Estrada, E. 2010, *Physical Review E*, **82**, 066102
- . 2011, *The structure of complex networks: theory and applications* (Oxford: Oxford University Press)
- Estrada, E. & Knight, P. 2015, *A first course in network theory* (Oxford: Oxford University Press)
- Freeman, L. 2004, *The development of social network analysis* (Vancouver: Empirical Press)
- Galligan, F. & Dyas-Correia, S. 2013, *Serials Review*, **39**, 56
- Gonçalves, B. & Perra, N. 2015, *Social phenomena: from data analysis to models* (Cham: Springer)
- Guilak, F. & Jacobs, C. 2011, *Journal of Biomechanics*, **44**, 208
- Hirsch, J. 2005, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **102**, 16569
- Kepes, F. 2007, *Biological networks* (New Jersey: World Scientific)
- Kosmulski, M. 2013, *Journal of Informetrics*, **7**, 693
- Lancho-Barrantes, B. & Cantú-Ortiz, F. 2019, *Scientometrics*, **118**, 499
- Lotka, A. 1926, *Journal of the Washington Academy of Sciences*, **16**, 317
- MacRoberts, M. & MacRoberts, B. 1982, *Social Studies of Science*, **12**, 443
- Menczer, F., Fortunato, S., & Davis, C. A. 2020, *A first course in network science* (Cambridge: Cambridge University Press)
- Merton, R., & Storer, N. 1973, *The sociology of science: theoretical and empirical investigations* (Chicago: University of Chicago)
- Mingers, J. & Leydesdorff, L. 2015, *European Journal of Operational Research*, **246**, 1
- Moonghali, A., Alijani, N., Karami, A., & Khasseh, A. 2011, *International Journal of Information Science and Management (IJISM)*, **9**, 19

- Newman, M. 2010, *Networks: an introduction* (Oxford: Oxford University Press)
- Newman, M., Barabási, A.-L., & Watts, D. 2006, *The structure and dynamics of networks* (Princeton: Princeton University Press)
- Ortega, J. 2015, *Journal of Informetrics*, **9**, 39
- Padhy, H., Mishra, P., & Behera, S. 2019, *Global Journal of Engineering Science and Research Management*, **6**, 1
- Pozrikidis, C. 2014, *An introduction to grids, graphs, and networks* (Oxford: Oxford University Press)
- Prakash, M. & Arumugam, J. 2017, *Journal of Advances in Library and Information Science*, **6**, 36
- Rahul, P.R.C. 2013, *Journal of Scientometric Research*, **2**, 80
- Rajgoli, I., Mamdapur, G., & Prabakar, P. 2017, *Journal of Advances in Library and Information Science*, **6**, 52
- Sasvári, P., Nemeslaki, A., & Duma, L. 2019, *Scientometrics*, **119**, 595
- Schweitzer, F. 2018, *Physics Today*, **71**, 40
- Scientometrics: An International Journal for all Quantitative Aspects of the Science of Science, Communication in Science and Science Policy. Website: <https://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11192>. Acceso: 12.05.2019
- Scientometrics, 2020, datos de la revista Scientometrics, disponible en <https://link.springer.com/journal/11192>
- Şengör, A. 2014, *GSA Today*, **24**, 44
- Siddiqui, J. & Ran, R. 2018, *Indian Journal of Library and Information Science*, **12**, 169
- Steen, M. 2010, *Graph theory and complex networks: an introduction* (Lexington: van Steen)
- Subieta-Frías, V. & Ramírez-Ávila, G. M. 2017, *Revista Boliviana de Física*, **31**, 3
- Subieta Vásquez, M. & Ramírez-Ávila, G. M. 2007, *Revista Boliviana de Física*, **13**, 87
- Tabah, A. 1992, *Information Processing & Management*, **28**, 61
- Tague-Sutcliffe, J. 1992, *Information Processing & Management*, **28**, 1
- Uribe-Tirado, A., Ochoa-Gutiérrez, J., Ruiz-Núñez, K. & Fajardo-Bermúdez, M. 2019, *Transinformação*, **31**, e190016
- Vinkler, P. 2001, *Scientometrics*, **50**, 539
- . 2010, *The evaluation of research by scientometric indicators* (Oxford: Chandos Publishing)
- Vílchez-Román, C. 2014, *Transinformação*, **26**, 143
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. 1998, *Nature*, **393**, 6684
- Wiesner, K., Birdi, A., Eliassi-Rad, T., Farrell, H., Garcia, D., Lewandowsky, S., Palacios, P., Ross, D., Sornette, D., & Thébault, K. 2019, *European Journal of Physics*, **40**, 014002
- Yeung, A. W. K., Tzvetkov, N. T., Balacheva, A. A., Georgieva, M. G., Gan, R.-Y., Jozwik, A., Pyzel, B., Horbańczuk, J. O., Novellino, E., Durazzo, A., Lucarini, M., Camilli, E., Souto, E. B., Atanasov, A. G., & Santini, A. 2020, *Frontiers in Pharmacology*, **11**, 37
- Yoshikane, F., Nozawa, T., Shibui, S., & Suzuki, T. 2009, *Scientometrics*, **79**, 435
- Yu, M.-C., Wu, Y.-C., Alhalabi, W., Kao, H.-Y., & Wu, W.-H. 2016, *Computers in Human Behavior*, **55**, 1001
- Zipf, G. 1949, *Human behaviour and the principle of least effort: an introduction to human ecology* (Cambridge: Addison-Wesley)