

Líneas de investigación en la minería del siglo XXI: Un análisis retrospectivo y bibliométrico de la literatura desde la perspectiva ambiental

Research lines in mining in the 21st century: A retrospective and bibliometric analysis of the literature from an environmental perspective

Ruth Robles

Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Zacatecas. Avenida Universidad no. 108, Colonia Progreso, C. P. 98050, Zacatecas, Zacatecas, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7982-7673>. Email: rroblesb@uaz.edu.m

RESUMEN

Objetivo. El artículo presente desarrolla un estudio bibliométrico para conocer cuáles son las líneas de investigación que analizan la actividad minera en el siglo XXI, y para indagar cuántos documentos sobre la minería se han publicado, qué áreas de investigación abarcan, así como, cuáles son los autores, las revistas, las organizaciones y los países que más han publicado.

Diseño/ Metodología/ Enfoque. El estudio analiza y mapea las temáticas cubiertas por 1,791 documentos publicados en la base de datos de *Scopus* durante el periodo 2000-2019, tomando como base las palabras claves definidas por los autores en sus publicaciones, las cuales, luego fueron reconocidas como líneas de investigación. Para ello, se utilizó el programa VOSviewer versión 1.6.15.

Resultados/ Discusión. El estudio identificó 44 líneas de investigación contenidas en siete grupos de investigación, de los cuales cinco se relacionan de manera directa con los efectos que la minería produce sobre el ambiente. De manera especial destacan dos líneas de investigación: Impacto ambiental y Efectos económicos, ecológicos y sociales que, en conjunto, acumulan el 25% de las ocurrencias determinadas en el estudio.

Conclusiones. Existe una tendencia al alza en la publicación de documentos sobre minería en la base de datos *Scopus*. Es notable que las investigaciones se enfocan en buena medida en el estudio de los impactos que provoca esta actividad sobre el ambiente y la sociedad, y sus posibles soluciones.

Originalidad/ Valor. Este estudio establece un marco de referencia en el estudio de la actividad minera en el siglo XXI.

Palabras clave: minería; impactos ambientales, estudio bibliométrico, mapa científico, mapa de co-ocurrencia.

Recibido: 02-01-2022. **Aceptado:** 21-04-2022

Editor: Carlos Luis González-Valiente

Cómo citar: Robles, R. (2022). Líneas de investigación en la minería del siglo XXI: Un análisis retrospectivo y bibliométrico de la literatura desde la perspectiva ambiental. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*; 2(1), 1-16. DOI: 10.47909/ijsmc.151

Copyright: © 2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC 4.0 license which permits copying and redistributing the material in any medium or format, adapting, transforming, and building upon the material as long as the license terms are followed.

ABSTRACT

Objective. This article develops a bibliometric study to find out what are the lines of research that analyze mining activity in the 21st century and to find out how many documents on mining have been published, what research areas they cover, as well as who the authors, magazines, organizations, and countries that have published the most.

Design/Methodology/Approach. The study analyzes and maps the topics covered by 1,791 documents published in the *Scopus* database from 2000 to 2019, based on the keywords defined by the authors in their publications, which were later recognized as lines of research. For this, the VOSviewer version 1.6.15 program was used.

Results/Discussion. The study identified 44 research lines in seven research groups, of which five are directly related to the effects that mining produces on the environment. In particular, two lines of research stand out: Environmental impact and Economic, ecological and social effects, which account for 25% of the occurrences determined in the study.

Conclusions. There is an upward trend in the publication of mining documents in the *Scopus* database. Notably, research focuses mainly on studying the impacts caused by this activity on the environment and society and its possible solutions.

Originality/Value. This study establishes a frame of reference for studying mining activity in the 21st century.

Keywords: mining; environmental impacts; bibliometric study; scientific map; co-occurrence map.

INTRODUCTION

DURANTE las dos últimas décadas, la minería ha llamado la atención de diversos actores en la sociedad debido a los impactos sociales y ambientales que ocasiona. Un estudio realizado sobre la base de datos más grande del mundo de conflictos ambientales, llamada *EJAtlas*, determinó que, de 2,743 sucesos generados en diversas actividades económicas, el 21% pertenecían a la minería (Scheidel *et al.*, 2020). La minería es una actividad que ha incorporado muchos adelantos tecnológicos, los cuales han incrementado su productividad durante las últimas dos décadas; un fenómeno alentado por el aumento de la demanda mundial de metales, y el incremento de los precios de los metales (Faz-Mendoza *et al.*, 2020; Robles *et al.*, 2020). Bajo este escenario, la minería explota cada vez más yacimientos con bajas concentraciones de metales, con lo cual se degrada aún más el ambiente. Pero no sólo eso, se encuentra en búsqueda de nuevos yacimientos para obtener metales utilizables en la producción de energías más limpias.

Este artículo¹ tiene por objetivo principal conocer cuáles son las líneas de investigación que analizan a la minería del siglo XXI, y por objeti-

vo secundario, indagar cuántos documentos sobre esta actividad se han publicado, qué áreas de investigación abarcan, así como, cuáles son los autores, las revistas, las organizaciones y los países que más han publicado durante las dos últimas décadas. Con esta información se pretende investigar que tanto la minería está siendo estudiada desde el punto de vista de su relación con el ambiente (Furstenau *et al.*, 2020; López-Robles *et al.*, 2019).

Para ello, se ha recurrido a la aplicación de la bibliometría, entendida como el conjunto de métodos y herramientas que tienen por objetivo evaluar y analizar un conjunto de publicaciones y sus citas, para entender cómo se desarrolla una actividad específica, y cuáles son sus tendencias futuras (Glenisson *et al.*, 2005). Específicamente se recurrió al análisis del desempeño y los mapas científicos, herramientas aceptadas por los académicos, científicos y empresarios para analizar publicaciones, y medir la calidad y la productividad académica y científica (Leydesdorff & Rafols, 2009; Moed *et al.*, 1995; Van Eck & Waltman, 2010).

Este artículo se estructura de la siguiente forma, en el apartado siguiente se realiza una descripción de las interrelaciones de la minería con el ambiente. La intención es mostrar

¹ El presente artículo forma parte de las investigaciones realizadas por R. Robles (2020) en la tesis doctoral Desarrollo tecnológico, legislación ambiental y degradación del ambiente en la minería de México durante las dos primeras décadas del siglo XXI. Universidad Autónoma de Zacatecas (México), Unidad Académica en Estudios del Desarrollo.

un panorama general de los impactos que esta actividad puede provocar. Luego, en las secciones siguientes se expone la metodología para determinar las líneas de investigación que estudian la minería del siglo xxi, y los resultados del análisis bibliométrico. En la última sección, se plantean las conclusiones del estudio.

Atendiendo a que, la minería es una de las actividades industriales que más degrada el ambiente, diversos autores han dado cuenta de sus impactos (Farjana *et al.*, 2019; Fugiel *et al.*, 2017; Habashi, 2012; Li *et al.*, 2009; Mudd, 2007; Tost *et al.*, 2020). Habashi (2012) destaca que en la explotación y el beneficio de los minerales,^{2,3} uno de los impactos más sobresalientes es la colocación de grandes cantidades de rocas minerales trituradas sobre la superficie terrestre después del minado a cielo abierto, las cuales, posteriormente son lixiviadas para obtener metales preciosos. Estos materiales tienen la particularidad de contaminar el ambiente, al ser transportados y disipados por el viento. Csavina *et al.* (2012) hicieron una revisión bibliográfica de este impacto, y concluyeron que los polvos y aerosoles provenientes de las operaciones mineras pueden transportar metales y metaloides tóxicos a largas distancias, y llevarlos a otros medios como el agua, el suelo o la biota.

Otro impacto ambiental importante que se genera durante la explotación y beneficio de minerales es la generación de gases efecto invernadero (GEI) (Habashi, 2012). En un estudio realizado sobre las tendencias históricas de la minería australiana, donde se compilaron una serie de datos, Mudd (2010) muestra que el consumo de combustibles se ha exacerbado en esta actividad al igual que la emisión de GEI durante las últimas décadas, y que, como consecuencia del inicio de las políticas de bonos de carbono, la minería ha comenzado a incorporar una mayor cantidad de energía procedente de fuentes renovables.

Para estimar la cantidad de GEI que la minería genera, así como la cantidad de agua que consume y los residuos que emite, Norgate y Haque (2012) calcularon la huella ambiental para la producción de oro por la vía de la lixiviación con cianuro para minerales refractarios y no refractarios con ayuda del análisis del ciclo de vida. Dentro de sus conclusiones mencionan que: i) las huellas ambientales del oro son superiores a las de otros metales, debido a las bajas concentraciones que se tienen de este metal en el subsuelo; ii) los minerales refractarios generan el doble de GEI que los no refractarios; y iii) las etapas de explotación y trituración generan mayor cantidad de GEI.

Durante los procesos de beneficio para concentrar los metales, se generan residuos mineros mejor conocidos como jales,⁴ los cuales son susceptibles de generar drenaje ácido capaz de disolver minerales y, con ello, facilitar la disipación de los metales en el ambiente. Asimismo, estos jales poseen restos de sustancias químicas tóxicas utilizadas durante el procesamiento, lo que obliga a depositarlos en lugares de mayor seguridad denominados “presas de jales”, las cuales si no son diseñadas adecuadamente pueden desbordarse o infiltrar derrames (Habashi, 2012). Algunos autores han determinado la presencia de metales pesados en los jales y también en los alrededores de las unidades mineras (Meza-Figueroa *et al.*, 2009; Navarro *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2009); otros discuten las causas del drenaje ácido y las opciones de prevención y tratamiento (Akcil & Koldas, 2006; Kefeni *et al.*, 2017).

Uno de los impactos ambientales de mayor trascendencia en la minería ha sido el consumo desmedido de agua. Una acción que ha provocado muchos conflictos en los alrededores de las minas. A pesar de que la minería considera al agua como uno de los insumos productivos más importantes y más escasos, en ocasiones,

² “Explotación: las obras y trabajos destinados a la preparación y desarrollo del área que comprende el depósito mineral, así como los encaminados a desprender y extraer los productos minerales o sustancias existentes en el mismo” (DOF, 2014, pp. 1, artículo 3).

³ “Beneficio: los trabajos para preparación, tratamiento, fundición de primera mano y refinación de productos minerales, en cualquiera de sus fases, con el propósito de recuperar u obtener minerales o sustancias, al igual que de elevar la concentración y pureza de sus contenidos” (DOF, 2014, pp. 2, artículo 3).

⁴ Los jales se definen como residuos rocosos particulados procedentes de los procesos de lixiviación y flotación que tiene la posibilidad de generar drenaje ácido de mina. Un líquido que debido a su gran acidez y alto contenido de metales tóxicos y sulfatos puede generar serios problemas en el ambiente (Kefeni, Msagati, & Mamba, 2017, p. 475).

no contempla el derecho humano a este recurso en sus políticas de sustentabilidad (Kemp *et al.*, 2010). Li *et al.* (2019) revisan las fuentes de agua utilizadas por la minería, las tecnologías disponibles para reciclar el agua del proceso de flotación, y las alternativas al agua dulce, y concluyen en aras de conservar este recurso, la minería debería utilizar el análisis del ciclo de vida para el diseño de sus plantas. Otros autores investigan sobre los efectos de la calidad del agua sobre los procesos de flotación, y sus posibles soluciones (Boujounoui *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2013; Muzinda & Schreithofer, 2018).

METODOLOGÍA

Para determinar las líneas de investigación de la minería del siglo XXI, e identificar las más prominentes en materia de su relación con el ambiente, se realizó un estudio bibliométrico del 2000 al 2019, y dos mapas científicos o mapas de concurrencia tomando como base las palabras claves definidas por los autores en sus publicaciones, las cuales, luego fueron reconocidas como líneas de investigación. Para ello, se utilizó el programa *VOSviewer* versión 1.6.15 (Van Eck & Waltman, 2010). Las acciones desarrolladas fueron:

- i) recuperación y procesamiento de datos (Cabeza-Ramírez *et al.*, 2018; Faz-Mendoza *et al.*, 2020; González-Valiente, 2016; Lagar-Barbosa *et al.*, 2014; López-Robles *et al.*, 2020);
- ii) elaboración y normalización de los mapas científicos (Cantos-Mateos *et al.*, 2013; Casas-Valadez *et al.*, 2020; Castorena-Robles *et al.*, 2020); y
- iii) visualización y análisis de las principales relaciones en las líneas de investigación (Casas-Valadez *et al.*, 2020; Gamboa-Rosales *et al.*, 2020; Medina-Rodríguez *et al.*, 2020; Vélez-Cuartas *et al.*, 2014; Zhao & Strotmann, 2015).

En este contexto, el análisis bibliométrico y los mapas científicos se desarrollaron utilizando 1,791 documentos disponibles en la base de datos de *Scopus* durante el periodo 2000-2019. Dichos documentos y su información bibliográfica (año de publicación, título, autores,

afiliación, país, revista o congreso, citas, entre otro) fueron recopilados en texto plano utilizando la siguiente consulta avanzada:

```
TITLE-ABS-KEY("mining industry" or "mining sector") AND TITLE-ABS-KEY("environmental impact" or "sustainable development" or "legislation" OR "normative regulation" or "industry 4.0" or "industrie 4.0" or "4.0" or "automation" or "smart processes" or "big data" or "advanced manufacturing") AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"cp") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"re"))AND(LIMIT-TO(LANGUAGE,"English")) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2010) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2009) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2008) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2007) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2006) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2005) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2004) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2003) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2002) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2001) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2000))
```

Las consultas y los mapas científicos se realizaron en inglés, considerando que el 96% de los documentos están en este idioma, y que el porcentaje restante, también poseen un título, un resumen y palabras clave en este idioma, asegurando con ello, el análisis de la totalidad de los documentos existentes. Las búsquedas fueron limitadas a inicios del año 2020, atendiendo al hecho de que en este periodo inició la emergencia por COVID-19, lo que pudo significar una diferencia en la publicación de documentos. Se examinaron manualmente todos los registros recuperados para garantizar su pertinencia y homogeneidad, con el fin de evitar duplicidades de cualquier tipo. En los casos en los que se registró alguna diferencia o falta de información, se examinó el documento completo para su clasificación.

Asimismo, se revisaron los indicadores bibliométricos, dentro de los cuales destaca-

ron las áreas de conocimiento abordadas, la productividad de los autores en base al número de publicaciones, así como, las fuentes de información y los países que más publicaron. Por último, para la visualización de los mapas científicos se utilizó la herramienta bibliométrica *VOSviewer*, que agrupa las palabras clave incluidas por los autores en sus publicaciones, y a las que se denomina líneas de investigación. Estas líneas tienen una co-ocurrencia mínima de 25 veces y una fuerza mínima de enlace de 50 relaciones entre ellos, lo que aseguró un peso y una representatividad dentro del análisis. Asimismo, se registraron los 200 enlaces principales, asegurando la aparición de las líneas de investigación más relevantes y con el mayor número de interacciones, facilitando con ello, la definición de una estructura conceptual conjunta y el análisis temporal de su evolución.

RESULTADOS

Publicaciones, áreas de investigación y fuentes de información

La Figura 1 muestra los documentos que han sido publicados sobre minería en la base de datos de *Scopus* durante el periodo 2000-2019.

Como se observa, existe una tendencia al alza en esta acción. En total se publicaron 1,791 documentos, de los cuales 1,150 fueron artículos, 493 conferencias y 148 revisiones.

Las áreas de conocimiento más relevantes que fueron cubiertas durante el estudio de la minería, en términos de publicaciones, fueron: *Earth and Planetary Sciences* (787), *Environmental Science* (688), *Engineering* (514), *Social Sciences* (393), *Energy* (246), *Materials Science* (209), *Business, Management and Accounting* (193) y *Economics, Econometrics and Finance* (138). En esta misma dirección, la Tabla 1 presenta las principales fuentes de información, dentro de las cuales destacan *Resources Policy* y *Journal of Cleaner Production*. La primera es una revista internacional que publica cuestiones económicas y políticas concernientes a la explotación, extracción y uso de los recursos naturales como los minerales y los combustibles fósiles. La segunda también es una revista internacional que se enfoca en la publicación de artículos que tienen que ver con el desarrollo de tecnologías limpias, el ambiente y la sostenibilidad. Este hallazgo muestra de inicio que la minería está siendo estudiada desde diversas perspectivas donde las cuestiones ambientales tienen un gran peso.

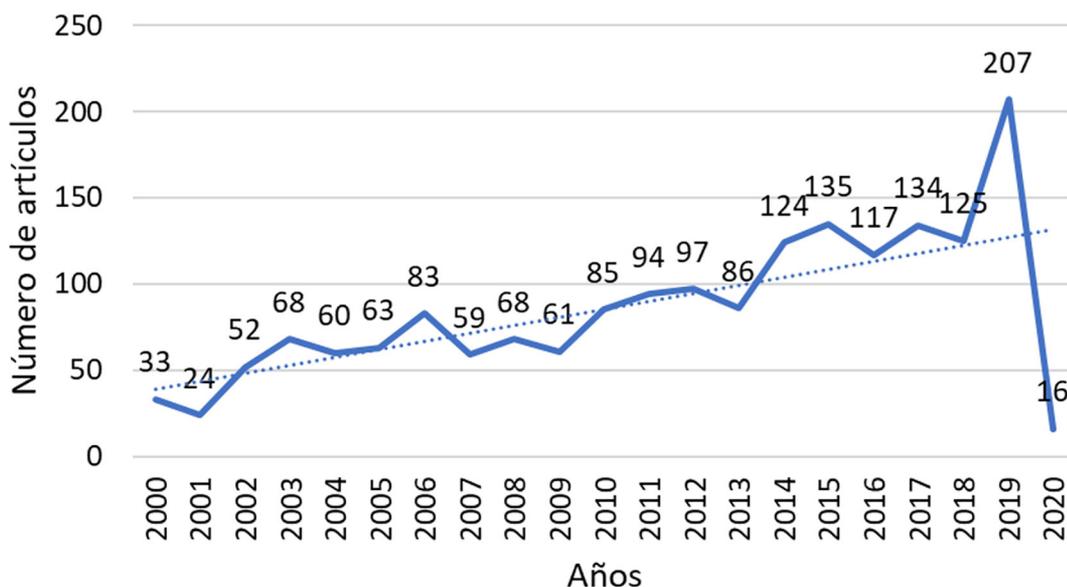


Figura 1. Documentos publicados sobre minería en la base de datos de *Scopus* 2000-2019. (Fuente: Elaboración propia).

Fuente(s) de información	Publicaciones
<i>Resources Policy</i>	94
<i>Journal of Cleaner Production</i>	79
<i>CIM Magazine</i>	48
<i>Mining Engineering</i>	34
<i>Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy</i>	32
<i>Metallurgical and Mining Industry</i>	26
<i>IOP Conference Series Earth and Environmental Science</i>	24
<i>Journal of Mines Metals and Fuels</i>	23
<i>International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM</i>	22
<i>E3S Web of Conferences</i>	21
<i>Sustainability Switzerland</i>	19
<i>Extractive Industries and Society; Minerals Engineering; Minerals and Energy Raw Materials Report</i>	18
<i>Ausimm Bulletin; Natural Resources Forum</i>	15

Tabla 1. Principales fuentes de información sobre minería 2000-2019. (Fuente: Elaboración propia).

País(es)	Publicaciones
Australia	233
Canadá	189
Estados Unidos	187
China	148
Sudáfrica	129
Reino Unido	122
India	84
Federación Rusa	66
Brasil	61
Polonia	57
Alemania	53
Chile; Suecia	45
España; Rumania	39
Finlandia	29
Ucrania, Turquía	24
Francia	23
Italia	22
Ghana	17
Países Bajos	16
Austria; Irán; Japón	15
Indonesia	13
Republica Checa; México; Nueva Zelanda; Portugal	12
Dinamarca; Eslovaquia; Malasia	11

Tabla 2. Países con más publicaciones sobre minería 2000-2019. (Fuente: Elaboración propia).

La Tabla 2 muestra los países que publicaron más documentos sobre minería. Como se observa, a la vanguardia se encuentran Australia, Canadá y Estados Unidos, tres de los países desarrollados líderes en producción de metales y China un país emergente también líder en esta área (BMNT, 2019).

Autores más productivos

En la Tabla 3 se mencionan los autores que más publicaron en minería durante el periodo 2000-2019. En algunos puestos de este cuadro se registran empates entre diferentes autores, por lo que se ha procedido a incluirlos en orden alfabético. De manera relevante, destacan: *Hilson G.*, *Kemp D.* y *Mudd G. M.* quienes publicaron más de diez artículos en esta área. Pero no sólo eso, estos autores tienen la particularidad de que los tres se dedican a estudiar la relación de la minería con el ambiente y el medio social. *Hilson* analiza los efectos de la pequeña minería en el medio social y ambiental. *Kemp* estudia los conflictos entre los proyectos mineros y las comunidades aledañas, los desplazamientos y los reasentamientos, así como, los derechos humanos y los desafíos del desarrollo. Por último, *Mudd* examina los impactos ambientales de la minería, el manejo de sus desechos y del drenaje ácido, los marcos de sustentabilidad, los modelos de evaluación del ciclo de vida y la remediación de minas.

Autor(es)	Publicaciones
Hilson, G.	16
Kemp, D.	13
Mudd, G.M.	10
Benzaazoua, M.; Morkun, V.; Owen, J. R.; Ralston, J. C.	8
Moran, C. J.	7
Hitch, M.; Reid, D. C.; Tron, V.; Veiga, M.; Zlotnikov, D.	6
Barve, A.; Fonseca, A.; Franks, D. M.; Godoy-Faúndez, A.; Hainsworth, D. W.; Hakkou, R.; Johansson, J.; Kral, S.; Kretschmann, J.; Kulczycka, J.; McAllister, M. L.; Moffat, K.; Muduli, K.; Veiga, M. M.	5

Tabla 3. Autores con más publicaciones en el área de la minería 2000-2019. (Fuente: Elaboración propia).

Siguiendo la línea anterior, en la Tabla 4 se presentan las organizaciones con mayor número de publicaciones según *Scopus*, dentro de las cuales destacan las que apoyaron la publicación de más de diez documentos: *National Natural Science Foundation of China*, *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*, *Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada* y *Social Sciences and Humanities Research Council of Canada*.

Organización	Publicaciones
National Natural Science Foundation of China	43
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada	13
Social Sciences and Humanities Research Council of Canada	11
Australian Coal Industry's Research Program	9
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	8
Fundamental Research Funds for the Central Universities; National Basic Research Program of China (973 Program)	7
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation; University of Queensland	6
Australian Research Council	
China Scholarship Council; Economic and Social Research Council; European Commission; Ministry of Education and Science of the Russian Federation; National Research Foundation	5

Tabla 4. Organizaciones con más publicaciones en el área de la minería 2000-2019 (Fuente: Elaboración propia).

Análisis de los mapas científicos

Para visualizar y analizar las líneas de investigación más representativas de la minería, se elaboraron dos mapas científicos utilizando como base los documentos extraídos de *Scopus* entre los años 2000 y 2019, y *VOSviewer*; un software que permite agrupar palabras clave incluidas en las publicaciones y en las bases de datos a través de algoritmos. Esta herramienta también permite visualizar las relaciones que existen entre las líneas de

investigación, una situación que no podría identificarse a simple vista. Si dos líneas de investigación se localizan conjuntamente, quiere decir que comparten elementos en común, más aún si están unidos significa que mantienen una relación estrecha. El tamaño del círculo de cada línea de investigación se relaciona con el número de documentos que aborda, mientras que el grosor de las líneas de conexión representa la fuerza del enlace, o el número de documentos que comparten dos líneas de investigación.

En la Figura 2 se muestra el mapa científico o de co-ocurrencias, donde las líneas de investigación reconocidas tienen una ocurrencia mínima de 25 veces dentro de la base de datos elaborada para este análisis. Las líneas de investigación con el mismo color se agrupan en lo que se denomina 'grupo', una estructura que concentra conceptos con estrechas relaciones, debido a que se localizan en las mismas publicaciones. Por ejemplo, las líneas de investigación en color rojo están estrechamente vinculadas con Impacto ambiental (*environmental impact*), aunque también pueden establecer vínculos con otras líneas de investigación de otros grupos.

Un análisis inicial de este primer mapa muestra los grupos de investigación por colores sobre los cuales se ha investigado durante las dos últimas décadas, siendo el más prominente el denominado Impacto y gestión ambiental, el cual aparece en color rojo. En el cuadro A.1 del apéndice se presenta un resumen de los resultados proporcionados por el software *VOSviewer*, donde se observa que las investigaciones en minería se concentran en 7 grupos, los cuales engloban 44 líneas de investigación. Los grupos de investigación ordenados de acuerdo al número de ocurrencias llevan por nombre: Impacto y gestión ambiental (1,098), Sociedad, economía y cambio climático (548), Tecnología y seguridad (481), Gestión de los recursos minerales (470), Legislación minera (336), Manejo de residuos (201), y Manejo del agua (184). Es importante mencionar que el número total de ocurrencias de las líneas de investigación mencionadas en este anexo, no corresponde con el número de documentos publicados, debido a que un documento puede estar inmerso en una o más líneas de investigación.

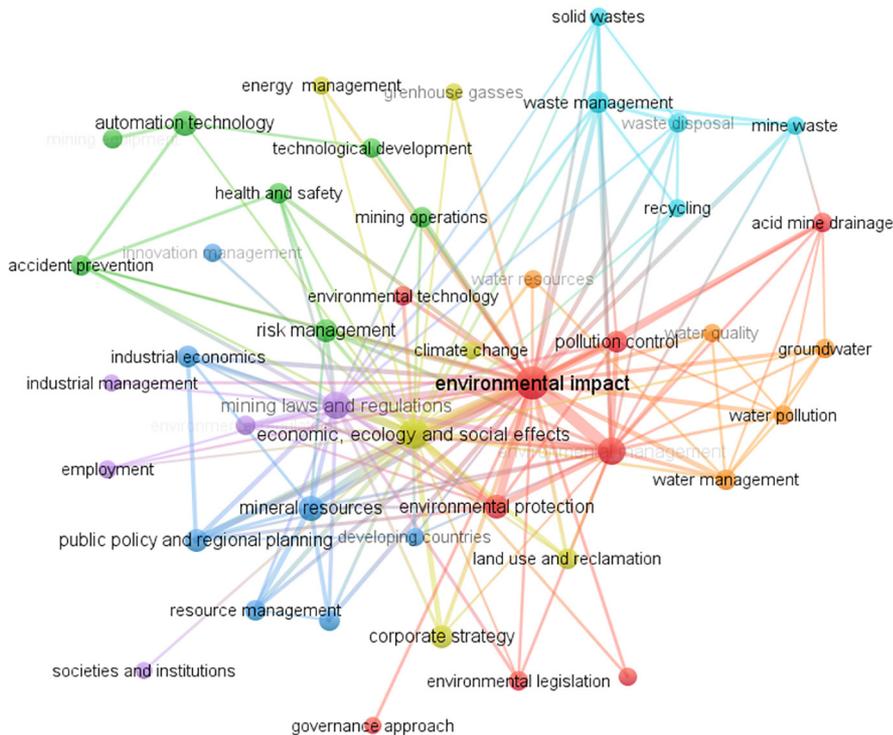


Figura 2. Mapa científico 1, grupos de investigación en la minería 2000-2019. (Fuente: Elaboración propia utilizando VOSviewer).

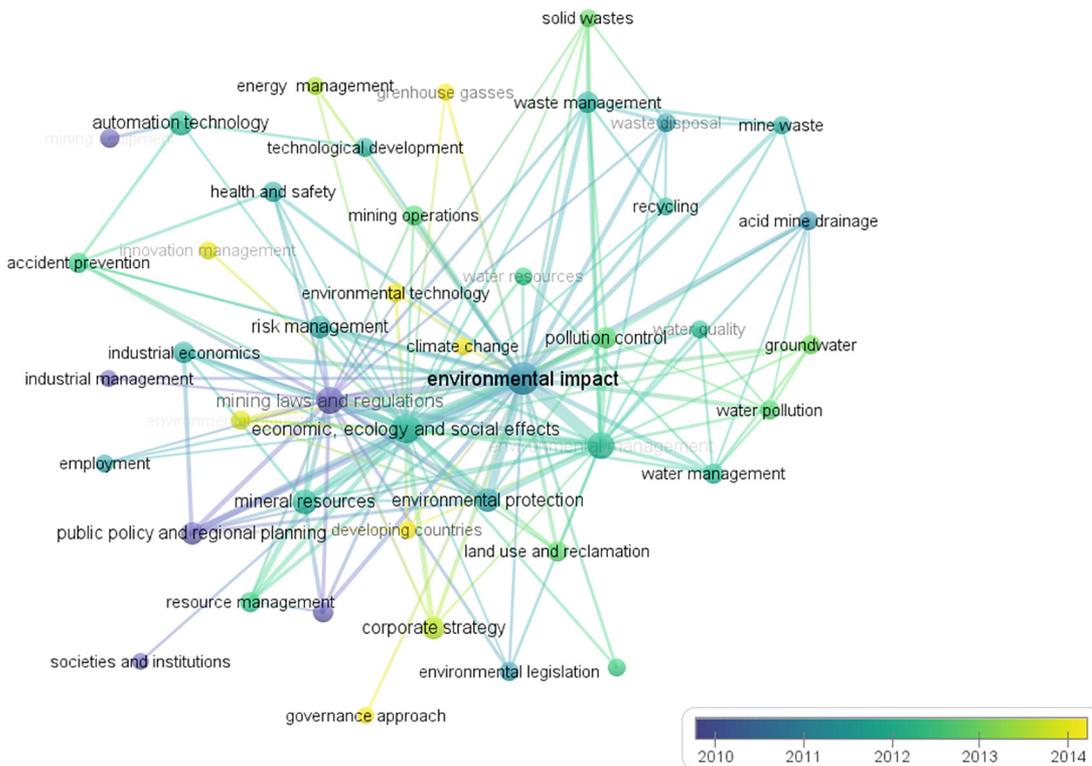


Figura 3. Mapa científico 2, líneas de investigación en la minería coloreadas según su aparición durante el periodo 2019. (Fuente: Elaboración propia utilizando VOSviewer).

En la Figura 3 se muestra el segundo mapa científico, donde se presentan las 44 líneas de investigación coloreadas según el inicio de las publicaciones durante el periodo señalado. Por ejemplo, la línea de Impacto ambiental (*environmental impact*) empezó a consolidarse desde el 2011, en tanto que línea de Cambio climático (*climate change*), por su coloración, comenzó en el 2014. Visto de manera global este mapa científico es un mapa lógico, de algunos temas menos recientes se desprenden otros más actualizados. Por ejemplo, después de iniciarse a publicar sobre los Efectos económicos, ecológicos y sociales (*economic, ecology and social effects*), se comenzó a publicar sobre las Estrategias corporativas (*corporate strategy*) que las empresas mineras han adoptado para enfrentar dichos efectos.

El grupo de investigación sobre el que más se ha investigado durante las dos últimas décadas es el denominado: Impacto y gestión ambiental; sus principales líneas de investigación giran en torno a nueve temáticas. La línea sobre la que más se ha investigado es la de Impacto ambiental en la minería con 518 ocurrencias. Este hallazgo es evidencia de que los científicos, los académicos, las instituciones públicas y la sociedad en general, se encuentran preocupados por lo impactos ambientales que ha provocado la minería a lo largo de su desarrollo. Si bien la minería sigue siendo uno de los grandes pilares de desarrollo de la sociedad moderna, sus costos ambientales han sido uno de los más significativos. Este hecho ha conducido a que las asociaciones civiles en pro del cuidado del ambiente reivindiquen que la protección del ambiente es igual de importante que el desarrollo en todas sus formas (MINEO Consortium, 2000).

Dentro de este grupo también se han desarrollado otras líneas de investigación en pro de mitigar de una mejor manera los impactos que provoca la minería, dentro de las cuales se encuentran la Gestión ambiental (213), la Protección del ambiente (119) y el Control de la contaminación (77). En este sentido, un sinnúmero de herramientas y de metodologías han sido desarrolladas para apoyar una gestión ambiental más sólida, dentro de las que se encuentran: la evaluación del impacto ambiental (EIA), la evaluación de los riesgos ecológicos (ERA), el análisis del flujo del material (MFA), la intensidad de materiales por unidad de servicio (MIPS), el

análisis de costo-beneficio (CBA) y la evaluación del ciclo de vida (LCA) (Norgate, Jahanshahi, & Rankin, 2007).

El segundo grupo referido como: Sociedad, economía y cambio climático, se compone de 6 líneas de investigación, siendo la principal: Efectos económicos, ecológicos y sociales de la minería, con 314 ocurrencias. La adición del factor intensidad a la producción minera durante las últimas décadas ha aumentado los insumos y residuos de esta actividad. En consecuencia, el consumo de combustibles también se ha exacerbado al igual que la emisión de gases efecto invernadero. Si bien muchos gobiernos han iniciado a plantearse políticas de bonos de carbono como un mecanismo para reducir la contaminación ambiental, la minería ha iniciado a incorporar una mayor cantidad de energía procedente de fuentes renovables en su proceso (Mudd, 2010). Esta nueva estrategia y otras adoptadas por la minería se reflejan en las líneas de investigación: Estrategias corporativas (87), Gestión energética (35) y Uso de la tierra y su recuperación (54).

Estos dos primeros grupos muy relacionados con los efectos sociales y ambientales que trae consigo el desarrollo de una mina, engloban un total de 15 líneas de investigación, y poseen casi el 50 % de todas las ocurrencias de los siete grupos de análisis. El tercer grupo más investigado es el de Tecnología y seguridad. La principal línea de investigación de este grupo durante el periodo analizado ha sido la Tecnología de automatización con 145 ocurrencias. Un aspecto esperado dentro de la minería dado el aumento de las tasas de producción de metales metálicos desde principios del siglo XXI. Tal es el caso del oro cuya producción mundial pasó de 2,794 a 3,503 toneladas del 2010 al 2018 (Metals Focus, 2019). Si bien la minería no es la principal actividad industrial ícono de Industria 4.0, las grandes empresas mineras de todo el mundo han adoptado gran parte de los avances de la tercera y la cuarta revolución industrial. Tras esta principal línea y en la misma dirección, existen investigaciones sobre las Operaciones mineras (56), el Desarrollo de equipos mineros (46) y el Desarrollo tecnológico (43).

Paulatinamente dentro de este mismo grupo existe un área de suma importancia dentro de la minería, la seguridad. Un aspecto que se ha beneficiado del desarrollo de nuevas tecnologías.

En ausencia de procesos automatizados, las minas subterráneas presentan muchos peligros operacionales como caídas y exposición a polvos. Desde esta perspectiva, la principal línea de investigación desarrollada es el Manejo del riesgo en las instalaciones mineras (83), seguida por la Prevención de accidentes (60) y la de Salud y seguridad (48).

El cuarto grupo denominado Gestión de los recursos minerales, se encuentra muy relacionado con el dimensionamiento de las reservas mineras a nivel mundial, su exploración y explotación, así como las políticas públicas y de planificación regional que sustentan diversos países entorno a esta actividad. De las siete líneas de investigación que sustentan este grupo, la más prominente es precisamente: Recursos minerales con 135 ocurrencias.

Dentro del quinto grupo denominado legislación minera, la línea de investigación más significativa es: Leyes y regulaciones mineras (217), seguida por Regulaciones ambientales (39). El estudio de las legislaciones mineras es un tema que ha llamado la atención de diversos investigadores debido al aumento de los conflictos entre las empresas y las comunidades aledañas a los proyectos mineros. Las políticas de globalización han reformado las legislaciones mineras de los países en desarrollo para permitir el ingreso de las empresas transnacionales a sus territorios con la mayor seguridad posible, lo cual ha afectado a numerosas comunidades que albergan yacimientos minerales. Este hecho forma parte de las causas que han propiciado que diversos autores investiguen las legislaciones mineras del mundo y sus contradicciones.

Los dos últimos grupos engloban líneas de investigación que investigan con detalle dos de los impactos ambientales de mayor significancia desarrollados durante la operación de una mina. El sexto grupo denominado: Manejo de residuos, incluye cinco líneas de investigación dentro de las cuales resalta la Gestión de residuos (62), siendo los jales el desecho minero más importante.

El último grupo llamado: Manejo del agua, engloba otro de los impactos ambientales más controversiales de la minería. La línea de investigación más prominente es la Gestión del agua, con 51 ocurrencias. El gran consumo de agua por la minería es uno de los temas más

sensibles de la actualidad. Autores como Li *et al.* (2019) comentan que a medida que los problemas por falta de agua se agudizan, el reciclaje de agua en la flotación se convierte en una de las principales opciones para reducir la extracción subterránea de agua, no es la única opción, pueden existir otras, en todo caso les compete a las empresas mineras elegir la opción menos perjudicial para el ambiente. Este panorama obliga a las empresas mineras a adoptar sistemas de tratamiento de agua para mitigar el consumo de agua dulce, así como explorar nuevas tecnologías para la flotación que empleen menos cantidad de este recurso. En esta dirección existen diversas investigaciones enfocadas a determinar los efectos de la calidad del agua en los procesos mineros y cómo abatirlos, dados los consumos exorbitantes de este recurso.

CONCLUSIONES

En este estudio se han identificado 44 líneas de investigación que han estudiado a la minería durante el periodo 2000-2019. En total, 1,791 documentos publicados en la base de datos *Scopus* fueron analizados, procesados y visualizados utilizando técnicas y herramientas bibliométricas, de los cuales 1,150 fueron artículos, 493 conferencias y 148 revisiones. Existe una tendencia al alza en la publicación de documentos de minería en la base de datos *Scopus*. Se espera que, en los siguientes años, este interés continúe. Los países que más publicaron documentos sobre minería, son los países líderes en la producción de metales: Australia, Canadá, Estados Unidos y China.

Es notable que las investigaciones dirigidas hacia la minera se enfocan en buena medida en el estudio de los impactos que esta actividad provoca sobre el ambiente y la sociedad, y sus posibles soluciones. Este hallazgo sugiere que los investigadores, y la sociedad en su conjunto, han revalorizado el papel que tienen los ecosistemas y elementos como el agua en la sobrevivencia de los seres vivos y la protección al ambiente. Dentro de los siete grupos de investigación determinados en este estudio, cinco se relacionan de manera directa con los efectos que la minería causa al ambiente: Impacto y gestión ambiental, Sociedad, Economía y cambio climático, Legislación minera, Manejo de residuos y Manejo del agua.

De manera especial destacan dos líneas de investigación Impacto ambiental y Efectos económicos, ecológicos y sociales, las cuales en conjunto acumulan el 25% de las ocurrencias determinadas en el estudio. Este hecho muestra que existe preocupación por los efectos ambientales y sociales que trae consigo la apertura de una mina, y no sólo eso, el aumento de la producción de metales en el mundo durante el presente siglo. Si bien la minería es una actividad económica importante, en la actualidad son interminables los aspectos que se discuten en torno a su desarrollo, como los jurídicos, los tecnológicos, los ambientales, los sociales y los económicos. Este trabajo permite tanto a investigadores como a los profesionales del área de minería, conocer las líneas de investigación más consolidadas sobre esta área, y las que comienzan a desarrollarse, dentro de las cuales resaltan el Manejo de la energía y los Gases efecto invernadero.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Declaración de consentimiento de datos

Los datos generados durante la investigación se han incluido en el artículo. ●

REFERENCIAS

- AKCIL, A., & KOLDAS, S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD): Causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14(12), 1139-1145. doi: 10.1016/j.jclepro.2004.09.006
- BMNT, (AUSTRIAN FEDERAL MINISTRY OF SUSTAINABILITY AND TOURISM). (2019). *World Mining Data 2019* (Vol. 34). Vienna: BMNT. Recuperado de <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2019.pdf>
- BOUJOUNOUI, K., ABIDI, A., BACAOU, A., EL AMARI, K., & YAACOUBI, A. (2015). The influence of water quality on the flotation performance of complex sulphide ores: Case study at Hajar Mine, Morocco. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 115(12), 1243-1251. doi: 10.17159/2411-9717/2015/v115n12a14
- CABEZA-RAMÍREZ, L. J., SÁNCHEZ-CAÑIZARES, S., & GARCÍA, F. J. F. (2018). Characterisation of the classics of entrepreneurship (1968-2016): An analysis based on Web of Science. *Revista Española de Documentación Científica*, 41(2), 2. doi: 10.3989/redc.2018.2.1488
- CANTOS-MATEOS, G., ZULUETA GARCÍA, M. DE LOS A., VARGAS-QUESADA, B., & CHINCHILLA-RODRÍGUEZ, Z. (2013). *Estudio comparativo sobre la visualización de redes de co-words a través de los descriptores del Science Citation Index y de Medline*. 173-190. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4606576>
- CASAS-VALADEZ, M. A., FAZ-MENDOZA, A., MEDINA-RODRÍGUEZ, C. E., CASTAÑEDA-MIRANDA, R., GAMBOA-ROSALES, N. K., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). The synergic relationship between e-commerce and Sentiment Analysis: A content analysis of published articles between 2007 and 2020. *2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI)*, 1-5. doi: 10.1109/ICDABI51230.2020.9325689
- CASAS-VALADEZ, M. A., FAZ-MENDOZA, A., MEDINA-RODRÍGUEZ, C. E., CASTORENA-ROBLES, A., GAMBOA-ROSALES, N. K., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). Decision Models in Marketing: The role of Sentiment Analysis from bibliometric analysis. *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 561-565. doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317147
- CASTORENA-ROBLES, A., GAMBOA-ROSALES, N. K., FAZ-MENDOZA, A., CASAS-VALADEZ, M. A., MEDINA-RODRÍGUEZ, C. E., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). Exploring the role of Medical Decision Making in Biotechnology field through science mapping. *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 403-407. doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317023
- CSAVINA, J., FIELD, J., TAYLOR, M. P., GAO, S., LANDÁZURI, A., BETTERTON, E. A., & SÁEZ, A. E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of The Total Environment*, 433, 58-73. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.013

- DOF, (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). (2014). *Ley Minera*. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_240117.pdf
- FARJANA, S. H., HUDA, N., MAHMUD, M. A. [PARVEZ, & SAIDUR, R. (2019). A review on the impact of mining and mineral processing industries through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1200-1217. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.264
- FAZ-MENDOZA, A., GAMBOA-ROSALES, N. K., CASTORENA-ROBLES, A., COBO, M. J., CASTAÑEDA-MIRANDA, R., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). Strategic Intelligence and Knowledge Management as drivers of Decision-Making in Mining Industry: An analysis of the literature. *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 536-540. doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317053
- FAZ-MENDOZA, A., GAMBOA-ROSALES, N. K., MEDINA-RODRÍGUEZ, C. E., CASAS-VALADEZ, M. A., CASTORENA-ROBLES, A., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). Intelligent processes in the context of Mining 4.0: Trends, research challenges and opportunities. *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 480-484. doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317095
- FUGIEL, A., BURCHART-KOROL, D., CZAPLIKA-KOLARZ, K., & SMOLIŃSKI, A. (2017). Environmental impact and damage categories caused by air pollution emissions from mining and quarrying sectors of European countries. *Journal of Cleaner Production*, 143, 159-168. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.136
- FURSTENAU, L. B., SOTT, M. K., KIPPER, L. M., MACHADO, Ê. L., LÓPEZ-ROBLES, J. R., DOHAN, M. S., ... IMRAN, M. A. (2020). Link Between Sustainability and Industry 4.0: Trends, Challenges and New Perspectives. *IEEE Access*, 8, 140079-140096. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012812
- GAMBOA-ROSALES, N. K., CASTORENA-ROBLES, A., CASAS-VALADEZ, M. A., COBO, M. J., CASTAÑEDA-MIRANDA, R., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). Decision Making using Internet of Things and Machine Learning: A bibliometric approach to tracking main research themes. *2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI)*, 1-6. doi: 10.1109/ICDABI51230.2020.9325656
- GLENISSON, P., GLÄNZEL, W., JANSSENS, F., & DE MOOR, B. (2005). Combining full text and bibliometric information in mapping scientific disciplines. *Information Processing and Management*, 41(6), 1548-1572. doi: 10.1016/j.ipm.2005.03.021
- GONZÁLEZ-VALIENTE, C. L. (2016). Investigación sobre Bibliotecología, Ciencia de la Información, e Inteligencia Empresarial, a través de las presentaciones a los congresos INFO e IntEmpres: Un análisis bibliométrico (2002-2012). *Revista española de documentación científica*, 39(4), 6. doi: 10.3989/redc.2016.4.1377
- HABASHI, F. (2012). Pollution problems in the metallurgical industry: A review. *Journal of Mining and Environment*, 2(1), 17-26. doi: 10.22044/jme.2012.16
- KEFENI, K. K., MSAGATI, T. A. M., & MAMBA, B. B. (2017). Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. *Journal of Cleaner Production*, 151, 475-493. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.082
- KEMP, D., BOND, C. J., FRANKS, D. M., & COTE, C. (2010). Mining, water and human rights: Making the connection. *Journal of Cleaner Production*, 18(15), 1553-1562. doi: 10.1016/j.jclepro.2010.06.008
- LAGAR-BARBOSA, M. P., ESCALONA-FERNÁNDEZ, M. I., & PULGARÍN, A. (2014). Análisis de la interdisciplinariedad en la ingeniería química universitaria española. *Revista española de documentación científica*, 37(1), 2-11. doi: 10.3989/redc.2014.1.1048
- LEYDESDORFF, L., & RAFOLS, I. (2009). A global map of science based on the ISI subject categories. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(2), 348-362. doi: 10.1002/asi.20967
- LI, P., FENG, X., QIU, G., SHANG, L., & LI, Z. (2009). Mercury pollution in Asia: A review of the contaminated sites. *Journal of hazardous materials*, 168, 591-601. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.03.031
- LI, Y., XIE, S., ZHAO, Y., XIA, L., LI, H., & SONG, S. (2019). The Life Cycle of Water Used in Flotation: A Review. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36(2), 385-397. doi: 10.1007/s42461-018-0004-z

- LIU, W., MORAN, C. J., & VINK, S. (2013). A review of the effect of water quality on flotation. *Minerals Engineering*, 53, 91-100. doi: 10.1016/j.mineng.2013.07.011
- LÓPEZ-ROBLES, J. R., OTEGI-OLASO, J. R., PORTO GÓMEZ, I., & COBO, M. J. (2019). 30 years of intelligence models in management and business: A bibliometric review. *International Journal of Information Management*, 48, 22-38. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.013
- LÓPEZ-ROBLES, J. R., OTEGI-OLASO, J. R., PORTO-GÓMEZ, I., GAMBOA-ROSALES, H., & GAMBOA-ROSALES, N. K. (2020). La relación entre Inteligencia de Negocio e Inteligencia Competitiva: Un análisis retrospectivo y bibliométrico de la literatura de 1959 a 2017. *Revista española de documentación científica*, 43(1), 4. doi: 10.3989/redc.2020.1.1619
- MEDINA-RODRÍGUEZ, C. E., CASAS-VÁLDEZ, M. A., FAZ-MENDOZA, A., CASTAÑEDA-MIRANDA, R., GAMBOA-ROSALES, N. K., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). The cyber security in the age of telework: A descriptive research framework through science mapping. *2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI)*, 1-5. doi: 10.1109/ICDABI51230.2020.9325633
- METALS FOCUS. (2019). *Gold Focus 2019*. London, UK: Metals Focus. Recuperado de <https://www.europeangoldforum.org/wp-content/uploads/sites/8/2019/04/Gold-Focus-2019-compressed.pdf>
- MEZA-FIGUEROA, D., MAIER, R. M., DE LA O-VILLANUEVA, M., GÓMEZ-ALVAREZ, A., MORENO-ZAZUETA, A., RIVERA, J., ... PALAFOX-REYES, J. (2009). The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico. *Chemosphere*, 77(1), 140-147. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.04.068
- MINEO CONSORTIUM. (2000). *Review of potential environmental and social impact of mining. Part 2*. Recuperado de http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/rs_2004_24.pdf
- MOED, H. F., DE BRUIN, R. E., & VAN LEEUWEN, TH. N. (1995). New bibliometric tools for the assessment of national research performance: Database description, overview of indicators and first applications. *Scientometrics*, 33(3), 381-422. doi: 10.1007/BF02017338
- MUDD, G. M. (2007). Global trends in gold mining: Towards quantifying environmental and resource sustainability. *Resources Policy*, 32(1), 42-56. doi: 10.1016/j.resourpol.2007.05.002
- MUDD, G. M. (2010). The Environmental sustainability of mining in Australia: Key mega-trends and looming constraints. *Resources Policy*, 35(2), 98-115. doi: 10.1016/j.resourpol.2009.12.001
- MUZINDA, I., & SCHREITHOFER, N. (2018). Water quality effects on flotation: Impacts and control of residual xanthates. *Minerals Engineering*, 125, 34-41. doi: 10.1016/j.mineng.2018.03.032
- NAVARRO, M. C., PÉREZ-SIRVENT, C., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, M. J., VIDAL, J., TOVAR, P. J., & BECH, J. (2008). Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration*, 96(2), 183-193. doi: 10.1016/j.gexplo.2007.04.011
- NORGATE, T. E., JAHANSHAH, S., & RANKIN, W. J. (2007). Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production*, 15(8), 838-848. doi: 10.1016/j.jclepro.2006.06.018
- NORGATE, T., & HAQUE, N. (2012). Using life cycle assessment to evaluate some environmental impacts of gold production. *Journal of Cleaner Production*, 29, 53-63. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.01.042
- ROBLES, R., FOLADORI, G., & ZÁYAGO LAU, É. (2020). Industria 4.0 en la minería mexicana. *Revista de El Colegio de San Luis*, 10(21), 1-32. doi: 10.21696/rcsl102120201167
- RODRÍGUEZ, L., RUIZ, E., ALONSO-AZCÁRATE, J., & RINCÓN, J. (2009). Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 1106-1116. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.04.007
- SCHEIDEL, A., DEL BENE, D., LIU, J., NAVAS, G., MINGORRÍA, S., DEMARIA, F., ... MARTÍNEZ-ALIER, J. (2020). Environmental conflicts and defenders: A global overview. *Global Environmental Change*, 63(102104), 1-12. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102104
- TOST, M., MURGUIA, D., HITCH, M., LUTTER, S., LUCKENEDER, S., FEIEL, S., & MOSER, P. (2020). Ecosystem services costs of metal

- mining and pressures on biomes. *The Extractive Industries and Society*, 7(1), 79-86. doi: 10.1016/j.exis.2019.11.013
- VAN ECK, N. J., & WALTMAN, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. doi: 10.1007/s11192-009-0146-3
- VÉLEZ-CUARTAS, G., GÓMEZ-FLÓREZ, H., ÚSUGA-CIRO, A., & VÉLEZ-TRUJILLO, M. (2014). Diversidad y reconocimiento de la producción académica en los sistemas de evaluación de la investigación en Colombia. *Revista española de documentación científica*, 37(3), 1-14. doi: 10.3989/redc.2014.3.1133
- ZHAO, D., & STROTMANN, A. (2015). Analysis and Visualization of Citation Networks. En *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services* (Vol. 1). doi: 10.2200/So0624ED1Vo1Y201501ICR039



APÉNDICE

Grupo (color)	Línea de investigación		Ocurrencias	Fuerza de enlace
1 Impacto y gestión ambiental (rojo)	Drenaje de mina ácido	(acid mine drainage)	45	285
	Economía ambiental	(environmental economics)	27	148
	Impacto ambiental	(environmental impact)	518	2 576
	Legislación ambiental	(environmental legislation)	37	183
	Gestión ambiental	(environmental management)	213	1 239
	Protección ambiental	(environmental protection)	119	733
	Tecnología ambiental	(environmental technology)	36	193
	Enfoque de gobernanza	(governance approach)	26	136
	Control de la polución	(pollution control)	77	490
	Total de ocurrencias		1 098	
2 Sociedad, economía y cambio climático (amarillo)	Cambio climático	(climate change)	33	182
	Estrategias corporativas	(corporate strategy)	87	380
	Efectos económicos, ecológicos y sociales	(economic, ecology and social effects)	314	1736
	Gestión energética	(energy management)	35	138
	Gases de efecto invernadero	(greenhouse gases)	25	120
	Uso de la tierra y su recuperación	(land use and reclamation)	54	276
	Total de ocurrencias		548	
3 Tecnología y seguridad (verde)	Prevención de accidentes	(accident prevention)	60	268
	Tecnología de automatización	(automation technology)	145	306
	Salud y seguridad	(health and safety)	48	242
	Equipos de minería	(mining equipment)	46	161
	Operaciones mineras	(mining operations)	56	282
	Gestión de riesgos	(risk management)	83	451
	Desarrollo tecnológico	(technological development)	43	237
	Total de ocurrencias		481	
4 Gestión de los recursos minerales (azul)	Países en desarrollo	(developing countries)	30	184
	Economía industrial	(industrial economics)	64	382
	Gestión de la innovación	(innovation management)	34	181
	Exploración mineral	(mineral exploration)	55	323
	Recursos minerales	(mineral resources)	135	744
	Políticas públicas y planificación regional	(public policy and regional planning)	91	540
	Administración de recursos	(resource management)	61	392
	Total de ocurrencias		470	
5 Legislación minera (morado)	Empleo	(employment)	28	152
	Regulaciones ambientales	(environmental regulations)	39	225
	Gestión industrial	(industrial management)	26	134
	Leyes y regulaciones mineras	(mining laws and regulations)	217	985
	Sociedades e instituciones	(societies and institutions)	26	149
	Total de ocurrencias		336	

Grupo (color)	Línea de investigación		Ocurrencias	Fuerza de enlace
6 Manejo de residuos (anaranjado)	Desechos mineros	(mine waste)	35	249
	Reciclaje	(recycling)	34	198
	Desechos sólidos	(solid wastes)	31	183
	Disposición final de residuos	(waste disposal)	39	263
	Gestión de residuos	(waste management)	62	396
	Total de ocurrencias		201	
7 Manejo del agua (azul claro)	Agua subterránea	(groundwater)	37	225
	Gestión del Agua	(water management)	51	361
	Contaminación del agua	(water pollution)	38	273
	Calidad del agua	(water quality)	30	220
	Recursos hídricos	(water resources)	28	202
	Total de ocurrencias		184	

Tabla A.1. Principales líneas de investigación en la minería periodo 2000-2019.
(Fuente: Elaboración propia)