

Estudio bibliométrico de las tendencias de investigación en el uso de biotintas en bioimpresión 3D para aplicaciones de regeneración de tejidos.

Angie Carolina Ferreira Garcia y Wendy Rocío Rueda Plata

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Metalúrgica

Directores

Viviana Raquel Güiza Argüello

PhD en Ingeniería Química

Carlos Eduardo Rondón Almeida

Magister en Ingeniería de Materiales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica Y Ciencia de los Materiales

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mi querida madre, quien ha sido pieza fundamental en el alcance de este logro. Sus consejos, su sabiduría, su apoyo y su ánimo brindado en cada dificultad que se me presentaba son invaluable. Fueron años duros y llenos de mucha incertidumbre en los que su apoyo fue lo único que me permitió seguir adelante. A mi hija quien me esperaba en casa luego de largas horas de estudio en la universidad y quien tuvo que aprender a vivir sin mi compañía por algunos ratos debido a compromisos académicos, sin su paciencia, comprensión y amor tampoco esto sería posible. A mi hermana, quien llego en un momento oportuno de mi carrera y me brindo su apoyo, sus ocurrencias, lograron alegrar mis días cotidianos.

A mis familiares y amigos que de alguna manera contribuyeron con este logro. A ellos les estoy inmensamente agradecida algunas veces fueron consejos, apoyos económicos y otras eran solo una simple charla que ayudaban a liberar el estrés y tomar un suspiro.

Por último, pero no menos importante a mi amado Salo, aunque su llegada ha sido muy reciente en mi vida, no puedo estar más agradecida por haberlo conocido, su presencia fue alegría y alivio en mi diario vivir.

Angie Carolina Ferreira Garcia

Dedicatoria

Dedico este triunfo en especial a mi hijo Juan José Rueda, su presencia y apoyo han sido mi gran fortaleza en este viaje académico. Cada página escrita y cada desafío superado lo he dedicado a él. Gracias por ser la razón para esforzarme y dar lo mejor de mí cada día. Que este logro marque el inicio de un camino lleno de éxitos compartidos.

Al Doctor Efraín Sanmiguel y toda el área de División Financiera de la Universidad Industrial de Santander, quienes me apoyaron incondicionalmente durante todo este recorrido, convirtiéndose en mi familia y mi mayor fuente de inspiración, para ellos mi más grande reconocimiento.

A todos los profesores y técnicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, quiero expresar mi agradecimiento por sus enseñanzas, ánimo y orientación a lo largo de mi formación académica. En especial, quiero reconocer a los profesores Viviana Güiza y Carlos Rondón, cuya dedicación, conocimiento y amistad han dejado una huella invaluable en mi aprendizaje más allá de lo académico. A la Fundación UIS Solidaria, por su contribución y acompañamiento durante estos últimos años, alentándome a seguir adelante con mis estudios.

A mi madre Nelly Plata y mi madrina Edith Gualdrón, por sus consejos y sabiduría, y a mis hermanos Andrea, Angie, Astrid y Ángel, por darme ánimo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. A mis amigos Lizeth García, Carol Rueda, Paola Suárez, Angie Ferreira, Silvia Patiño, Jose Jiménez, Juan Urueña, Carlos Tobar, Santiago Bermúdez, y a muchos otros, por su valiosa amistad y compañía en el desarrollo de la carrera. Por último, pero no menos importante a Dios y a la vida, por permitirme cumplir este sueño.

Wendy Rocío Rueda Plata

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a la Universidad Industrial de Santander, institución que ha sido el pilar de nuestra formación académica y profesional. A todas las personas que contribuyeron en nuestra trayectoria académica y en la realización de este proyecto, nuestro reconocimiento.

Un agradecimiento muy especial a nuestros directores de proyecto, Viviana Güiza y Carlos Rondón quienes han dedicado gran parte de su tiempo en la realización de este proyecto. Su dedicación y experiencia fueron pieza fundamental para el éxito de esta investigación.

A mi compañera de tesis, donde su compañía constante, motivación y positivismo me permitieron conocer a una gran amiga. Le agradezco su apoyo y dedicación, elementos cruciales para superar los desafíos y culminar de manera exitosa esta última fase de nuestro recorrido de pregrado.

A la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales por su constante compromiso y dedicación por la excelencia académica a través de sus enseñanzas, aprendizajes y experiencias compartidas.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo General:	14
1.2 Objetivos Específicos:.....	14
2. Marco Teórico y Antecedentes.....	15
2.1 Bioimpresión 3D	15
2.1.1 Bioimpresión por extrusión (EBB).....	16
2.2 Biotintas	17
2.3 Cienciometría	19
2.3.1 Bibliometría.....	19
2.4 VOSviewer	20
2.5 Antecedentes	21
3. Metodología.....	26
3.1 Revisión bibliográfica	26
3.1.1 Selección de palabras preliminares.....	26
3.1.2 Definición del motor de búsqueda.....	26
3.2 Selección y descarga de datos bibliométricos	26
3.2.1 Filtros y criterios de selección y exclusión.....	26
3.2.2 Descarga de metadatos	28
3.3 Construcción de mapas bibliométricos a partir del software VOSviewer.	28
3.3.1 Aprendizaje de la herramienta e interpretación de resultados.....	28
3.3.2 Creación de mapas bibliométricos.....	29
3.3.3 Creación de tesauros.....	30
3.3.4 Selección manual de términos	30
3.4 Visualización de los datos y análisis de resultados	31
3.5 Publicación de resultados e informe final	31
4. Resultados y análisis.....	31
4.1 Análisis de Co-autoría.....	32
4.1.1 Autores.....	32

4.1.2 Organizaciones	35
4.1.3 Países	38
4.2 Análisis de Co-ocurrencia	41
4.2.1 Análisis de Co-ocurrencia con todas las palabras claves	42
4.2.2 Análisis de Co-ocurrencia con palabras claves del título y resumen	44
5. Conclusiones.....	46
Apéndices.....	58

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Filtros establecidos para la búsqueda</i>	27
Tabla 2. <i>Criterios de selección y exclusión</i>	28
Tabla 3. <i>Parámetros para análisis de co-autoría y co-ocurrencia</i>	29
Tabla 4. <i>Ejemplo de tesauro para análisis de co-ocurrencia</i>	30
Tabla 5. <i>Autores con mayor fuerza total de enlace para un mínimo número de documento por autor de 2</i>	63
Tabla 6. <i>Autores con mayor fuerza total de enlace para un mínimo número de documento por autor de 3</i>	63
Tabla 7. <i>Autores con mayor fuerza total de enlace para un mínimo número de documento por autor de 5</i>	63
Tabla 8. <i>Perfiles generales de investigación de co-autoría para WoS y Scopus</i>	64
Tabla 9. <i>Organizaciones con mayor fuerza total de enlace</i>	69
Tabla 10. <i>Países con mayor fuerza total de enlace</i>	74
Tabla 11. <i>Fuerzas de enlace entre autores de mayor fuerza de enlace total en WoS</i>	75
Tabla 12. <i>Fuerzas de enlace entre autores de mayor fuerza de enlace total en Scopus</i>	75
Tabla 13. <i>Fuerzas de enlace de términos con mínimo 5 co-ocurrencias en WoS</i>	81
Tabla 14. <i>Fuerzas de enlace de términos con mínimo 5 co-ocurrencias en Scopus</i>	81

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Diagrama esquemático de los métodos de bioimpresión basados en extrusión.</i>	17
Figura 2. <i>Tasa de crecimiento del mercado de Bioimpresión 3D por región.</i>	24
Figura 3. <i>Hitos más importantes en la evolución de la Bioimpresión 3D</i>	25
Figura 4. <i>Análisis de co-autoría: autores en WoS y Scopus.</i>	32
Figura 5. <i>Análisis de co-autoría: organizaciones en WoS y Scopus.</i>	36
Figura 6. <i>Análisis de co-autoría: países en WoS y Scopus.</i>	39
Figura 7. <i>Análisis de co-ocurrencia incluyendo todas las palabras claves del documento en WoS y Scopus</i>	42
Figura 8. <i>Análisis de co-ocurrencia incluyendo palabras claves: título y resumen en WoS y Scopus.</i>	45
Figura 9. <i>Diagrama de flujo de búsqueda bibliográfica y criterios de selección</i>	59
Figura 10. <i>Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría: autores en WoS y Scopus</i>	65
Figura 11. <i>Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría: organizaciones en WoS y Scopus.</i>	70
Figura 12. <i>Co-autoría entre Colombia y Alemania para WoS</i>	76
Figura 13. <i>Co-autoría entre Colombia y Alemania para Scopus</i>	76
Figura 14. <i>Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría: países en WoS y Scopus.</i>	77
Figura 15. <i>Mapas de sobreposición análisis de co-ocurrencia incluyendo todas las palabras claves del documento en WoS y Scopus.</i>	82
Figura 16. <i>Mapas de sobreposición de análisis de co-ocurrencia incluyendo palabras claves: título y resumen en WoS y Scopus</i>	86

Lista de Apéndice

Apéndice A. Motores de búsqueda generales generados por las bases de datos WoS y Scopus.	58
Apéndice B. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica y criterios de selección.	59
Apéndice C. Co-autoría – Autores	60
Apéndice D. Tablas de autores con mayor fuerza total de enlace para mínimo de documentos de 2, 3 y 5, en WoS y Scopus.....	63
Apéndice E. Perfiles generales de investigación.....	64
Apéndice F. Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría de autores	65
Apéndice G. Co-autoría – Organizaciones	66
Apéndice H. Tabla de las organizaciones con mayor fuerza total de enlace.....	69
Apéndice I. Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría de organizaciones.....	70
Apéndice J. Co-autoría – Países	71
Apéndice K. Tabla de los países con mayor fuerza total de enlace	74
Apéndice L. Tablas con fuerzas de enlaces entre países de mayor fuerza de enlace total	75
Apéndice M. Relación de co-autoría entre los países Colombia y Alemania	76
Apéndice N. Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría de países	77
Apéndice O. Co-ocurrencia: Todas las palabras claves	78
Apéndice P. Tablas de fuerzas de enlaces entre términos de mayor co-ocurrencia con todas las palabras claves	81
Apéndice Q. Mapas de sobreposición de análisis de co-ocurrencia de términos con todas las palabras claves	82
Apéndice R. Co-ocurrencia: Títulos y resúmenes	83
Apéndice S. Mapas de sobreposición de análisis de co-ocurrencia de términos de títulos y resúmenes.....	86

Resumen

Título: Estudio bibliométrico de las tendencias de investigación en el uso de biotintas en bioimpresión 3D para aplicaciones de regeneración de tejidos *

Autor: Angie Carolina Ferreira Garcia y Wendy Rocío Rueda Plata **

Palabras Clave: Bioimpresión 3D, Biotinta, Extrusión, Hidrogel, VOSviewer

Descripción: En la última década, las tecnologías de bioimpresión 3D han impulsado significativamente el avance de la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa. En la bioimpresión 3D, las biotintas son el material de impresión, el cual consiste, en una solución precursora de hidrogel que puede ser sintética o natural, y debe cumplir con ciertos parámetros que aseguren su biocompatibilidad con el tejido huésped. Entre los principales métodos de bioimpresión 3D se tiene el de extrusión, el cual es el más utilizado debido a su gran versatilidad. En la presente investigación se analizó el avance en el uso de biotintas en bioimpresión 3D para aplicaciones de regeneración de tejidos por el método de extrusión, durante el periodo 2014-2023. Para llevar a cabo este estudio fue necesario implementar el software VOSviewer y las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS) con las cuales se recopiló la información bibliográfica, para la selección de los artículos fue necesario implementar criterios de selección y exclusión. A partir del software VOSviewer se efectuó un primer análisis basado en co-autoría y sus unidades de análisis: autores, organizaciones y países. Asimismo, se realizó análisis de co-ocurrencia basado en el análisis de todas las palabras claves mediante los cuales se procedió a realizar un análisis de la visualización de red y la visualización de superposición. Para cada unidad de análisis se modificó tres veces el número mínimo de documentos y citas y el mínimo número de ocurrencias, según fuera el caso. De esta manera fue posible identificar los autores, organizaciones y países líderes en este campo y aquellas palabras claves que se hacen relevantes a la hora de realizar una búsqueda bibliográfica referente en este campo de investigación.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Ingeniería Metalúrgica. Director: Viviana Raquel Güiza Argüello. PhD en Ingeniería Química. Carlos Eduardo Rondón Almeida. MSc en Ingeniería de Materiales.

Abstract

Title: Bibliometric study of research trends in the use of bioinks in 3D bioprinting for tissue regeneration applications *

Author(s): Angie Carolina Ferreira Garcia y Wendy Rocío Rueda Plata ¹

Key Words: 3D Bioprinting, Bioink, Extrusion, Hydrogel, VOSviewer

Description: In the last decade, 3D bioprinting technologies have significantly boosted the advancement of tissue engineering and regenerative medicine. In 3D bioprinting, bioinks are the printing material, which consists of a hydrogel precursor solution that can be synthetic or natural, and must comply with certain parameters to ensure its biocompatibility with the host tissue. Among the main 3D bioprinting methods is extrusion, which is the most widely used due to its great versatility. In the present research, the progress in the use of bioinks in 3D bioprinting for tissue regeneration applications by the extrusion method was analyzed during the period 2014-2023. To carry out this study it was necessary to implement the VOSviewer software and the Scopus and Web of Science (WoS) databases with which the bibliographic information was collected, for the selection of articles it was necessary to implement selection and exclusion criteria. A first analysis based on co-authorship and its units of analysis: authors, organizations and countries, was carried out using VOSviewer software. Likewise, a co-occurrence analysis was performed based on the analysis of all the keywords by means of which an analysis of the network visualization and the overlapping visualization was carried out. For each unit of analysis, the minimum number of documents and citations and the minimum number of occurrences were modified three times, as appropriate. In this way it was possible to identify the leading authors, organizations and countries in this field and those keywords that are relevant when performing a bibliographic search in this field of research.

* Graduation Project

¹Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Supervisor: Viviana Raquel Güiza Argüello. PhD en Ingeniería Química. Carlos Eduardo Rondón Almeida. MSc en Ingeniería de Materiales.

Introducción

La bioimpresión 3D, consiste en la creación de piezas modeladas mediante herramientas de diseño asistido por computadora, adicionando capa por capa biotintas compuestas principalmente por células y biomateriales (Fundación Instituto Roche, 2019). Los biomateriales utilizados en bioimpresión 3D generalmente son un gel de biopolímero que actúa como estructura molecular favoreciendo el crecimiento celular. Una ventaja del uso de biotintas es que permite utilizar células del propio paciente, lo que representa un avance en la medicina personalizada de precisión (AECOC, s.f.; Jerez, 2022).

Según la Oficina de Sistemas de Salud de Estados Unidos para el año 2023, 104.234 personas figuran en la lista de espera de trasplantes (HRSA, 2023). En Colombia, hasta el 31 de diciembre del 2022 se reportaron 3.106 personas en lista de espera de trasplante de órganos, de las cuales 1.860 requerían un trasplante de riñón, siendo este el órgano más requerido a nivel local (SaluData, 2023). Actualmente, la demanda de donación y trasplante de órganos y tejidos crecen en todo el mundo, por lo que se deposita esperanza en la bioimpresión 3D, siendo esta una de las áreas para dar una solución a este inconveniente.

Debido a que la bioimpresión 3D está en desarrollo, es posible encontrar diversos temas de investigación en torno a este campo, siendo necesario implementar métodos y herramientas que permitan evidenciar el alcance de las publicaciones en dicha temática. En este contexto, el presente proyecto de investigación tuvo como finalidad analizar las tendencias de investigación en el uso de biotintas en bioimpresión 3D para aplicaciones de regeneración de tejidos utilizando la herramienta bibliométrica VOSviewer. Bigliardi (como se citó en Vogel y Güttel, 2013) reafirma

“VOSviewer rastrea la estructura del campo de investigación específico realizando una revisión bibliográfica estructurada, incluyendo información y detectando patrones”.

Este estudio se llevó a cabo a través de la recopilación de material bibliográfico utilizando las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS), durante el periodo 2014-2023 realizando análisis de co-autoría y co-ocurrencia. De esta manera fue posible evidenciar tendencias significativas y relevantes que proporcionen una base de apoyo y orientación en el desarrollo de este nuevo campo biomédico.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General:

Realizar un estudio bibliométrico de las tendencias de investigación en el uso de biotintas en bioimpresión 3D para aplicaciones de regeneración de tejidos.

1.2 Objetivos Específicos:

Aprender a manejar la herramienta de software VOSviewer, la cual permite construir y visualizar redes bibliométricas.

Recopilar información bibliográfica necesaria para el análisis bibliométrico del periodo 2014 – 2023, a partir de las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS), de acuerdo con los criterios de selección establecidos.

Analizar las tendencias actuales de investigación en el uso de biotintas para bioimpresión 3D, identificando las temáticas más relevantes, y así proporcionar a la comunidad científica información sobre direcciones futuras en este campo.

2. Marco Teórico y Antecedentes

2.1 Bioimpresión 3D

La bioimpresión 3D es una técnica de fabricación aditiva que evolucionó a partir de la impresión 3D tradicional para la producción de tejidos y órganos vivos. Esta técnica implica el uso de células vivas, hidrogeles y otros agentes activos, que en conjunto son conocidos como biotintas (Dey & Ozbolat, 2020; Merck KGaA, s.f.; Song et al., 2021). Este proceso automatizado permite el control de múltiples factores, como composiciones, distribuciones espaciales, niveles de precisión y complejidades arquitectónicas, facilitando una síntesis de la microestructura, arquitectura, propiedades mecánicas y funciones de los tejidos (Ozbolat, 2017; Zhang & Wang, 2019).

El proceso de bioimpresión 3D consta de tres etapas: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento. En el pre-procesamiento, se crea un modelo de un tejido u órgano mediante un diseño asistido por computadora CAD. La etapa de procesamiento implica la impresión empleando biotintas. En la etapa de post-procesamiento, el objeto impreso debe someterse a proliferación celular, remodelación del tejido y una acelerada maduración del tejido por medio de un biorreactor con un constante monitoreo (Ozbolat, 2017; Xia et al., 2018).

El resultado satisfactorio del objeto impreso y su efectividad en posteriores aplicaciones, dependen tanto del método de bioimpresión seleccionado, como de las características de las biotintas (propiedades reticulantes, reológicas, mecánicas y biológicas) (Chen et al., 2023). En la actualidad, la bioimpresión se utiliza para obtener tejidos y órganos vivos, incluidos vasos sanguíneos, piel, huesos, cartílagos, riñones, corazón e hígado. Aunque hay un potencial para

aplicaciones en diferentes campos biomédicos, aún existen desafíos que deben superarse para llevarla a su industrialización y comercialización a gran escala (Ke et al., 2022).

Debido a que es una tecnología emergente, el nombre exacto y la clasificación de sus diferentes métodos varían de una fuente a otra (Hello World HD, 2021). Según Ozbolat (2017), esta tecnología puede clasificarse en tres grupos principales de acuerdo con sus principios de funcionamiento: bioimpresión basada en extrusión, gotas y láser. Otros autores destacan las técnicas de bioimpresión basadas en extrusión, por gotas, por SLA (estereolitografía) y asistida por láser (Ke et al., 2022; Noh et al., 2018). Sin embargo, entre estas modalidades, la técnica más utilizada es la bioimpresión basada en extrusión (EBB) y ha sido identificada como la más adecuada para la fabricación de tejidos blandos (Mohan et al., 2022; Perez-Valle et al., 2020).

2.1.1 Bioimpresión por extrusión (EBB)

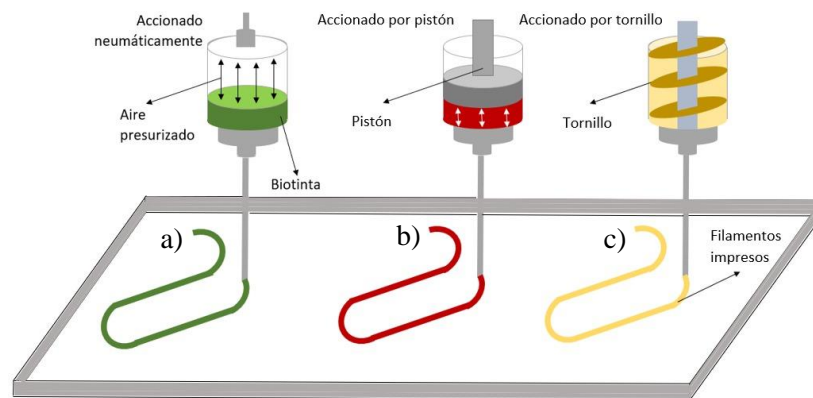
La EBB (por sus siglas en inglés Extrusion-based bioprinting) se utiliza para generar sistemas tridimensionales mediante la deposición controlada de filamentos continuos de hidrogel que contiene células. La impresora utilizada en este proceso consta de tres componentes principales: un cartucho, un cabezal compuesto por una jeringa y una boquilla (Noh et al., 2018). Esta técnica se puede clasificar en dos categorías según el mecanismo de deposición empleado: sistema de impresión neumático y sistema de impresión mecánico (Gu et al., 2020; Guillermo et al., 2022; Ozbolat, 2017), como se presenta en la Figura 1.

El sistema de impresión neumático utiliza aire comprimido para expulsar la biotinta a través de una boquilla y es capaz de extruir una amplia gama de biotintas viscoelásticas, sin embargo, requiere que las biotintas sean homogéneas para mantener un caudal de material constante. Los sistemas de impresión mecánicos emplean un pistón o tornillo para empujar la

biotinta a través de la boquilla, permiten la impresión con biotintas de alta viscosidad y el ajuste de temperatura; en comparación con el sistema neumático, se proporciona un control directo sobre el flujo de la biotinta, por lo que la impresión se vuelve precisa, permitiendo crear estructuras con mayor resolución y detalle (Guillermo et al., 2022).

Figura 1

Diagrama esquemático de los métodos de bioimpresión basados en extrusión.



Nota. Métodos de bioimpresión basados en extrusión: neumático (a), mecánico accionado por pistón (b) y mecánico accionado por tornillo (c). Tomado y adaptado de (Chen et al., 2023).

2.2 Biotintas

Las biotintas son soluciones de un biomaterial o mezcla de biomateriales en forma de hidrogel, que encapsula diversos tipos de células vivas, para crear tejidos. Pueden fabricarse a partir de biomateriales naturales o sintéticos, o la combinación de ambos (Gungor et al., 2018; Zhang et al., 2017).

Las soluciones de biomateriales que componen la biotinta se han desarrollado a partir de polímeros. Estos polímeros son cadenas largas con alto contenido de agua para crear un entorno similar a un tejido hidratado que respalda las funciones celulares y la regeneración de tejidos. Pueden ser de origen natural o sintético, y de acuerdo con su naturaleza brindan funciones distintas; los polímeros naturales tienen la capacidad de respaldar las funciones celulares, mientras que, los

polímeros sintéticos tienden a ser biológicamente inertes, pero se destacan por sus propiedades mecánicas (Chen et al., 2023).

Mediante el entrecruzamiento de cadenas de polímeros en un medio acuoso se forman los hidrogeles. Los hidrogeles son estructuras moleculares compuestas por cadenas de polímeros hidrófilos reticulados que pueden absorber hasta mil veces su peso en condiciones de alta concentración de agua, y permiten diseñarse en varias formas y tamaños según las exigencias de cada aplicación (Nagaraj et al., 2022; Unagolla & Jayasuriya, 2020).

En bioimpresión 3D por extrusión, se utilizan hidrogeles naturales entre los que se encuentran el quitosano (CH), la gelatina (GEL), la pectina (PC), el alginato (ALG), el colágeno (COL), el ácido hialurónico (HA), la celulosa (CEL) y sus derivados. En hidrogeles sintéticos se encuentran, poli (etilenglicol) (PEG), pluronic (PLU), alcohol polivinílico (PVA), los poloxámeros y sus derivados. Finalmente, entre los hidrogeles híbridos se encuentran PLU/ALG, GEL-metacrilamida (o gelatina metacrilatada, GELMA), combinación de GELMA con otros materiales como fosfatos de calcio, polisacáridos, poli- ϵ -caprolactona y PEG, PVA-ALG, entre otros (Guillermo et al., 2022).

De acuerdo a Pedroza (2020), las formulaciones de biotintas se ha centrado el uso del alginato, seguidos de la gelatina metacrilato (GelMA), gelatina y colágeno, respectivamente. GelMA y gelatina son versiones simplificadas de colágeno, pero más fáciles de procesar y manipular, además de ser económicos al formular las biotintas, lo que explica la mayor frecuencia de su uso.

2.3 Cienciometría

El término *cienciometría* actualmente se maneja en un rango más amplio de lo que se consideraba anteriormente “ciencia de la ciencia”. Los nuevos temas de interés de la *cienciometría* abarcan la relación entre ciencia y tecnología, el crecimiento cuantitativo de la ciencia, el avance de las disciplinas y subdisciplinas, la obsolescencia de los paradigmas científicos, la productividad y creatividad de los investigadores, la estructura y comunicación entre los científicos y las relaciones entre el desarrollo científico y el crecimiento económico (Spinak, 1996).

Los métodos, herramientas y técnicas cuantitativas empleadas para el estudio de la ciencia se basan en el análisis de la información y producción científica. Su finalidad consiste en analizar, evaluar y visualizar la información para obtener proporciones, tendencias, patrones, indicadores y relaciones (López y Michán, 2018).

Podría afirmarse que la *cienciometría* va más allá de las técnicas bibliométricas, asimismo examina el desarrollo y las políticas científicas. A través de los análisis cuantitativos se pueden llegar a establecer comparaciones de las políticas de investigación entre los países con el análisis de sus aspectos sociales y económicos, para de esta manera obtener cuantitativamente un análisis sociológico (Spinak, 1998).

2.3.1 Bibliometría

La *bibliometría* es una de las ramas de la *cienciometría*, con alcance multidisciplinario que analiza aspectos relevantes y objetivos de la producción científica (Spinak, 1998), considera elementos como autores, título de la publicación, tipo de documento, idioma, resumen y palabras claves o descriptores (Carrizo, 2017; Pritchard, 1969). Esta aplica métodos matemáticos y estadísticos a la literatura científica y sus autores (Pritchard, 1969).

Existen indicadores bibliométricos que permiten medir las producciones científicas y de esta manera evaluar, determinar y brindar información sobre la influencia que genera un trabajo científico por medio de su crecimiento y calidad en el proceso investigativo (Terrada y López, 1991; Camps, 2008; Bordons et al., 2002), a través de estos indicadores es posible determinar el avance de cualquier área científica analizando: la productividad de las publicaciones y las colaboraciones, la productividad de los autores y las colaboraciones, la productividad por instituciones, organizaciones y centro de investigación, el análisis de la producción por su temática y sus citas, y los índices de impacto (Vallejo, 2015; Filippo y Fernández, s.f).

2.4 VOSviewer

VOSviewer es una herramienta de software que permite construir y visualizar redes bibliométricas de investigadores, publicaciones científicas, revistas científicas, organizaciones de investigación, países, palabras clave o términos. Por medio de estas redes se pueden establecer relaciones de co-autoría, co-citación, co-relación y co-currencia (CWTS Leiden University, 2017), las cuales se obtienen de bases de datos como Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens y PubMed.

VOSviewer fue diseñado en el 2010 por Ness Jan van Eck y Ludo Waltman (Universidad de Leiden) y se ofrece a la comunidad de manera gratuita para las investigaciones bibliométricas. Ha sido desarrollado en lenguaje de programación Java, ya que es una plataforma independiente y de esta manera puede ejecutarse en la mayoría de las plataformas de hardware y sistemas operativos (van Eck y Waltman, 2023). Otra ventaja importante de esta herramienta es su capacidad de manejar mapas de gran tamaño, los cuales pueden contener más de 10000 elementos. Otras de sus funciones más destacadas son las incorporadas en el panel principal de visualización que facilitan el examen detallado de grandes mapas (van Eck y Waltman, 2010).

2.5 Antecedentes

Debido a la disponibilidad limitada de tejidos y órganos de donantes para trasplantes, la demanda de tejidos diseñados aumenta rápidamente. A causa de esta problemática, la ingeniería de tejidos surge con el principal objetivo de reparar, reemplazar o regenerar tejidos u órganos específicos (Muschler et al., 2004). Durante las dos últimas décadas se ha enfocado el desarrollo de protocolos y tecnologías para la impresión de tejidos y órganos completamente funcionales. La bioimpresión es una técnica prometedora en la creación de estructuras a partir de la deposición de biotintas mediante patrones preprogramados (BBC News, 2022; Kang et al., 2016).

En 1998 se presentaron los primeros intentos de crecimiento celular sobre superficies 3D prefabricadas, entre ellos, el estudio de la supervivencia y la función de hepatocitos en una nueva estructura de polímero biodegradable sintético 3D (Kim et al., 1998). Un año después se consideró la idea de reemplazar órganos dañados con tejidos artificiales a partir de una combinación de células vivas y andamios biocompatibles (Bhatia y Chen, 1999). Los primeros intentos de bioimpresión se centraron en la creación de estructuras de tejido utilizando células vivas y biomateriales, sin embargo, la tecnología estaba en sus inicios y tenía limitaciones significativas, por lo que se implementaron modificaciones en la técnica, surgiendo así diferentes métodos de bioimpresión. La bioimpresión por extrusión tuvo sus inicios en el año 2000, cuando el grupo de Rolf Mülhaupt, en el Centro de Investigación de Materiales de Friburgo, informó sobre la deposición de células vivas mediante extrusión (Landers et al., 2002). Dos años más tarde, La Universidad de Tsinghua y la Universidad de Drexel, se sumaron a trabajar en bioimpresión de células basado en extrusión (Khalil et al., 2005; Yan et al., 2005; Yongcong et al., 2022).

El 21 de julio de 2006 se realizó el primer simposio anual de bioimpresión de Charleston por el centro de investigación de bioimpresión de la Universidad Médica de Carolina del Sur

(MUSC), en el que se destacó la importancia y evolución de la bioimpresión como una alternativa a la escasez de órganos y su aplicación a largo plazo para la producción de órganos vivos a nivel industrial aptos para trasplantes (Mironov, 2006). En 2007, Organovo se destacó en la bioimpresión 3D al fundarse y lanzar al mercado la bioimpresora NovoGen MMX™, basada en extrusión. Ese mismo año, la utilizó por primera vez para imprimir esferoides de tejido con una estructura de soporte de hidrogel de agarosa, logrando tejido bioimpreso. Aunque la bioimpresora no está disponible comercialmente, Organovo la ha empleado para imprimir varios tejidos, incluyendo modelos de hígado y tejido mamario para la detección del cáncer (King et al., 2014; Roskos et al., 2015).

Para el 2015, Ozbolat en su artículo *Bioimpresión a escala de construcciones de órganos y tejidos para trasplantes*, anticipó el impacto de este campo en la ingeniería de tejidos y órganos funcionales para trasplantes, pruebas de fármacos, investigaciones y modelos de cáncer o enfermedades. Todo lo anterior debido a la precisión para la ubicación de células, proteínas, genes, fármacos y partículas biológicamente activas.

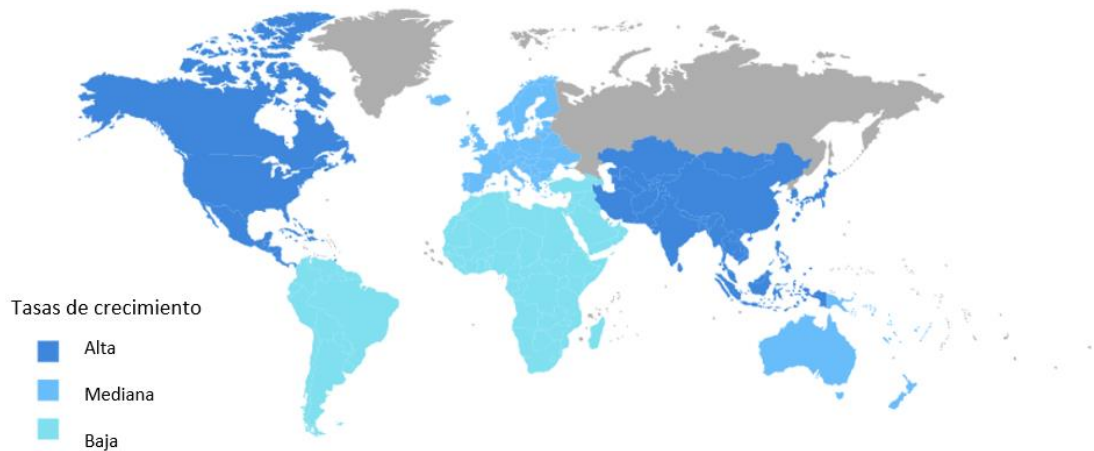
Este campo se hizo notable en el año 2022 cuando en la Conferencia de Biofabricación se analizó la situación de la pandemia alrededor del mundo y se enfatizó en la investigación científica aplicada a la medicina (Conferencia Internacional en Biofabricación, 2022). En la actualidad, La bioimpresión 3D ha permitido la fabricación de modelos in vitro resultando en modelos fisiológicos para la comprensión de las interacciones huésped-patógeno y el desarrollo de fármacos con la capacidad de controlar la cinética de liberación y optimizar la biodisponibilidad de agentes terapéuticos (Zimmerling y Chen, 2020). Otra contribución de este campo fue el desarrollo de vacunas, resultando en una mayor inmunidad contra las enfermedades infecciosas (Ali et al., 2011; Cheng et al., 2019; Jackman et al., 2018).

Según un estudio realizado por la empresa Mordor Intelligence, para el año 2023 el mercado de la bioimpresión 3D alcanzará 1,24 mil millones USD y para el 2028 un valor de 2,59 mil millones USD. Por otro lado, la región Asia-Pacífico ha presentado el mayor crecimiento en bioimpresión 3D, donde la demanda de consumidores, los incentivos fiscales y el aumento de la investigación ha permitido emplearse en servicios médicos. En China se han logrado grandes avances en comparación con América del Norte y Europa, su impulso se debe al apoyo del gobierno chino en innovación y adopción de nuevas tecnologías, un ejemplo es la Universidad de Tsinghua (Beijing) donde se encuentra uno de los laboratorios líderes en el campo de la fabricación aditiva y la bioimpresión 3D. Así mismo, el gobierno Japonés proyecta que mercados como la bioimpresión 3D pueden liderar debido su relevancia en la medicina regenerativa, se prevé para el 2030 un alcance de 1 billón de yenes. Por otra parte, en la India se ha popularizado esta tecnología permitiendo que compañías como BioP aporten a la investigación médica mediante la fabricación de equipos y tecnologías para la bioimpresión 3D (Mordor Intelligence, 2023). En la Figura 2 se puede observar el desarrollo de la bioimpresión a nivel global, destacando el avance en países asiáticos y norte América.

Algunos de los avances en esta última década han creado un precedente, tal es el caso de la creación en el año 2021 de un músculo artificial por Johana Bolívar, el cual consiste en filamentos con canales internos vacíos asemejando los vasos sanguíneos (Treviño, 2021). En junio de 2023 científicos de la Universidad de Granada y del instituto ibs.GRANADA lograron la fabricación de un modelo de melanoma bioimpreso en 3D, el cual responde a las quimioterapias identificando las respuestas y la resistencia al tratamiento, de esta manera se busca desarrollar terapias personalizadas para este tipo de cáncer de piel (COPE, 2023).

Figura 2

Tasa de crecimiento del mercado de Bioimpresión 3D por región.



Nota. Gráfico tomado y modificado de Mordor Intelligence.

En el ámbito local, las investigaciones en Colombia relacionadas a este campo han contado con la participación de algunas universidades y grupos de investigación en el área de ingeniería de tejidos (Barney y Rodríguez, 2022). En el IX Simposio Internacional de la Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular se presentaron algunos proyectos donde el Dr. Jorge Reynolds, quien es destacado por inventar el marcapasos, junto con la Fundación Clínica Shaio implementaron escenografías para crear un corazón con todas sus estructuras externas e internas utilizando impresión 3D (Fundación Clínica Shaio, 2015).

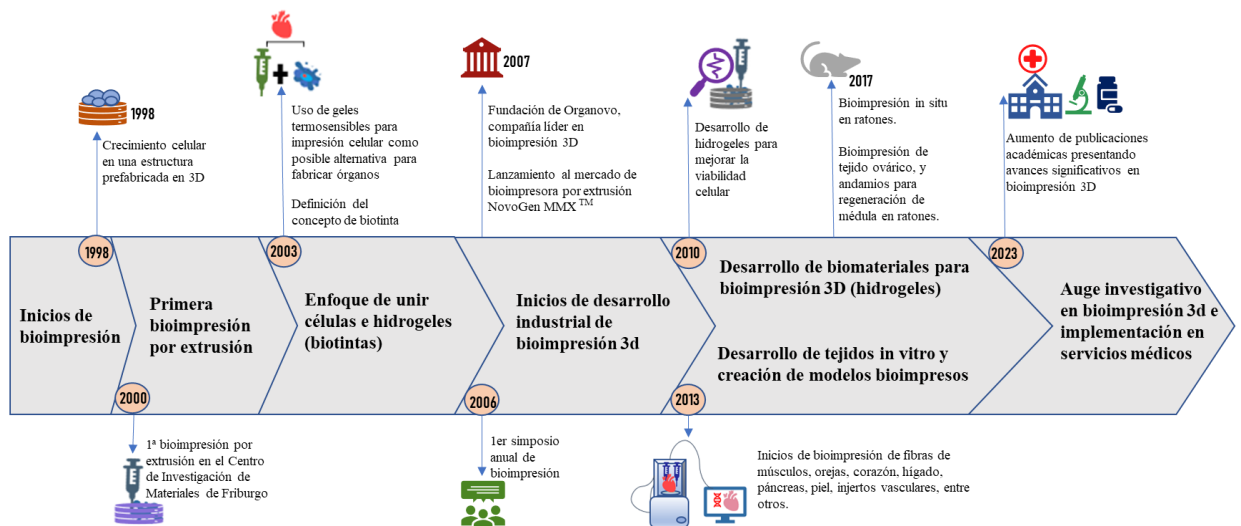
En el campo de ingeniería tisular Juan Carlos Briceño profesor titular del Departamento de Ingeniería Biomédica en la Universidad de los Andes lidera con sus investigaciones (EL HERALDO, 2016). Sus estudios son enfocados en la dinámica cardiovascular y creación de hemosustitutos, que ayuden a mejorar el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares (Universidad de los Andes, s.f). Muchas investigaciones se centran en la utilización de la Submucosa Intestinal Porcina para fabricar injertos vasculares regenerativos

(IVRs), que se integran al sistema y promueven la formación de un endotelio y la renovación de la pared vascular mientras se evita la oclusión por trombosis (Sánchez et al., 2018; Valencia et al., 2018).

Otras investigaciones han sido enfocadas en apósitos que sean biocompatibles, biodegradables, con propiedades antibacterianas y en lo posible que generen un ambiente húmedo que promueva la regeneración, han llevado a diseñar una matriz 3D e hidrogel a base de submucosa intestinal porcina, Quitosano (Q) y Ácido Hialurónico como materiales para la regeneración de heridas crónicas (Briceño et al., 2018).

Figura 3

Hitos en la evolución de la Bioimpresión 3D



Nota. Representación de la trayectoria de la bioimpresión 3D desde el año 1998 hasta el 2023. Tomado y adaptado de (Mendoza et al., 2023).

Desde su inicio a mediados de 1998, la bioimpresión ha experimentado un crecimiento superando las expectativas. La investigación en bioimpresión ha evolucionado marcando logros notables que indican un futuro para esta tecnología innovadora. La Figura 3 ofrece una representación de la trayectoria de la bioimpresión 3D desde el año 1998 hasta el 2023, resaltando su importancia en el campo biomédico. Muestra hitos clave, como el inicio de la bioimpresión, la

introducción de la bioimpresión por extrusión y biotintas, los primeros avances en impresoras, hidrogeles y tejidos bioimpresos in vitro e in situ, hasta la investigación actual.

3. Metodología

3.1 Revisión bibliográfica

3.1.1 Selección de palabras preliminares

Se realizó una búsqueda bibliográfica preliminar para identificar palabras claves en el área de estudio. Esta búsqueda permitió reconocer conceptos como parámetros de búsqueda. Las palabras claves seleccionadas fueron: *bioprinting*, *bioink* y *extrusion*.

3.1.2 Definición del motor de búsqueda

Un motor de búsqueda es una interfaz virtual que simplifica la recuperación de archivos en servidores de internet mediante búsquedas con palabras clave (Rodríguez, 2003). A partir de los resultados obtenidos en 3.1.1, se establecieron motores de búsqueda para obtener un banco de datos. Esta búsqueda se realizó a través de dos bases de datos de alto impacto y relevancia científica con la intención de establecer resultados confiables. Las bases de datos utilizadas fueron Scopus y Web of Science (WoS).

Motor de búsqueda WoS: **bioprinting** (Topic) and **bioink** (Topic) and **extrusion** (Topic)

Motor de búsqueda Scopus: **bioprinting** and **bioink** and **extrusion**

3.2 Selección y descarga de datos bibliométricos

3.2.1 Filtros y criterios de selección y exclusión

Se llevó a cabo una búsqueda preliminar con los motores de búsqueda y se aplicaron filtros generales a las bases de datos, como se indica en la Tabla 1:

Tabla 1

Filtros establecidos para la búsqueda.

Base de datos	Periodo	Tipo de documento	Idioma	Fuente	Etapas de publicación
Scopus	2014-2023	Artículo	Inglés	Revistas	Final
WoS	2014-2023	Artículo	Inglés	Science Citation Index Expanded	-

En el Apéndice A se pueden observar los motores de búsqueda generados por las bases de datos. Además, se determinaron criterios de selección y exclusión para seleccionar los artículos. Estos criterios se determinaron con la finalidad de hallar estudios relevantes y significativos en el campo de la bioimpresión 3D con biotintas para aplicaciones médicas. Los criterios de selección y exclusión fueron:

- Periodo de publicación: 2014 - 2023 (hasta octubre 29 de 2023).
- Sólo artículos originales publicados en revistas científicas.
- No se incluyeron artículos de revisión.
- Los estudios reportados deben incluir la fabricación de un hidrogel o el desarrollo de materiales compuestos donde el hidrogel haga parte del sistema.
- Los artículos deben presentar la aplicación de la biotinta: ingeniería de tejidos (regeneración/reparación de tejidos).
- Los estudios pueden incluir la evaluación de biotintas con y sin células.
- Se excluyeron estudios que sean sólo teóricos (modelamiento computacional), modelos predictivos y optimizadores.
- Se incluyeron estudios *in vitro* e *in vivo* (ingeniería de tejidos).

- Se incluyeron modelos *in vitro* (modelos de detección de órganos, enfermedades y fármacos).
- Se incluyeron sólo estudios que evaluaron el proceso de bioimpresión en sí. (La biotinta debe haber sido probada para impresión 3D).

Para cada base de datos, los criterios anteriores fueron aplicados manualmente a cada uno de los resultados de búsqueda, con el fin de eliminar aquellos artículos que no cumplieran dichos requisitos. En la Tabla 2, se evidencian los resultados obtenidos aplicando los filtros y criterios de selección y exclusión:

Tabla 2

Criterios de selección y exclusión

	Bases de datos	
	Scopus	WoS
Artículos aplicando las palabras claves y filtros iniciales.	358	320
Artículos aplicando los criterios de selección y exclusión.	297	270
Artículos eliminados aplicando los criterios de selección y exclusión.	61	50

3.2.2 Descarga de metadatos

Implementando 3.1.2 y 3.2.1 se descargaron los metadatos de los artículos en formatos RIS, CSV y Plain Text File en las bases de datos Scopus, y WoS. Formatos de descarga sugeridos por el manual del software VOSviewer (van Eck y Waltman, 2023). En el Apéndice B se presenta un esquema resumen de la selección y descarga de documentos.

3.3 Construcción de mapas bibliométricos a partir del software VOSviewer.

3.3.1 Aprendizaje de la herramienta e interpretación de resultados

El primer paso en esta etapa de la metodología fue el de aprender cuidadosamente cómo utilizar el software VOSviewer, comprendiendo sus diferentes funciones y el proceso o lenguaje

adecuado para interactuar con éste y así obtener los mapas necesarios para realizar los análisis deseados. En este sentido, se recurrió a la diversidad de material audiovisual disponible en internet, así como al manual del software, los cuales fueron estudiados rigurosamente por varias semanas. El aprendizaje de la herramienta se validó mediante material de práctica disponible en tutoriales, con el apoyo de los directores del proyecto.

3.3.2 Creación de mapas bibliométricos

Los tipos de análisis empleados fueron co-autoría y co-ocurrencia. Para la identificación y estudio de autoría conjunta en la creación de documentos se utiliza co-autoría (Delgado y Milanés, 2022). Por otra parte, para el estudio de las apariciones conjuntas de dos términos en un texto dado y para identificar la estructura conceptual y temática de un dominio científico, se emplea co-ocurrencia (Delgado y Milanés, 2022; Galvez, 2018).

Tabla 3

Parámetros para análisis de co-autoría y co-ocurrencia

Análisis de Co-autoría						
	Mapa #1		Mapa #2		Mapa #3	
	Min. Número de documentos	Min. Número de citaciones	Min. Número de documentos	Min. Número de citaciones	Min. Número de documentos	Min. Número de citaciones
Autores	2		3		5	
Organizaciones	1	50	1	100	1	150
Países	1	0	4	14	8	327
Análisis de Co-ocurrencia						
	Mínimo número de ocurrencias					
	Mapa #1		Mapa #2		Mapa #3	
Todas las palabras del documento	5		8		14	
Resumen y título	15		26		40	

A partir de 3.2.2, se crearon los mapas de redes bibliométricas mediante el software VOSviewer. Se efectuó un primer análisis basado en co-autoría y sus unidades de análisis: autores, organizaciones y países. Asimismo, se realizó un análisis de co-ocurrencia basado en el análisis

de todas las palabras claves y en datos de texto con el título y resumen. Los mapas de redes bibliométricos fueron construidos teniendo en cuenta los valores registrados en la Tabla 3 para cada unidad de análisis de co-autoría.

3.3.3 Creación de tesauros

Un tesauro es una herramienta que genera un vocabulario controlado y sinónimos del área de interés, permitiendo así la selección de los términos adecuados para una búsqueda de información correcta en las bases de datos (IEEE, s.f). En función de los resultados obtenidos en 3.3.2, se implementó de la creación de tesauros con el fin de normalizar palabras con sus sinónimos (bioingeniería y bio-ingeniería) y sus plurales; de esta manera se permitió un correcto análisis del mapa bibliométrico. Para la construcción del tesauro se descargaron los términos en bruto del software VOSviewer en formato texto. Este archivo fue cargado en Excel donde se normalizaron las palabras utilizando el comando REPLACE BY. En la Tabla 4 se presenta un ejemplo.

Tabla 4

Ejemplo de tesauro para análisis de co-ocurrencia.

Label	Replace by
3d bioprinting	
3d-bioprinting	3d bioprinting
bioprinting	3d bioprinting

3.3.4 Selección manual de términos

Teniendo en cuenta el tesauro construido y la implementación de 3.3.2, se realizó una depuración manual de términos sin relevancia antes de construir el mapa bibliométrico.

3.4 Visualización de los datos y análisis de resultados

Se obtuvieron doce mapas bibliométricos para cada unidad de análisis (estas unidades de análisis corresponden al tipo de investigación que se abordó: autores, países, organizaciones, etc) con los que se realizó un análisis de la visualización de red y la visualización de sobreposición. En los primeros se obtuvo información mediante los pesos de cada palabra y el índice de fuerza total de enlace (medida de relación entre palabras y se determina por la sumatoria de la fuerza de todos los enlaces de cada nodo) y, además, se establecieron los clústeres o grupos de red. En la segunda clase de mapas se analizó información respecto al desarrollo y tendencia de la temática en función del año promedio de publicación.

Considerando la visualización de los mapas para las dos bases de datos, se hizo una comparación identificando sus similitudes, diferencias y palabras emergentes.

3.5 Publicación de resultados e informe final

Se redactó el libro de tesis de grado donde se presentaron los resultados obtenidos y el análisis correspondiente.

4. Resultados y análisis

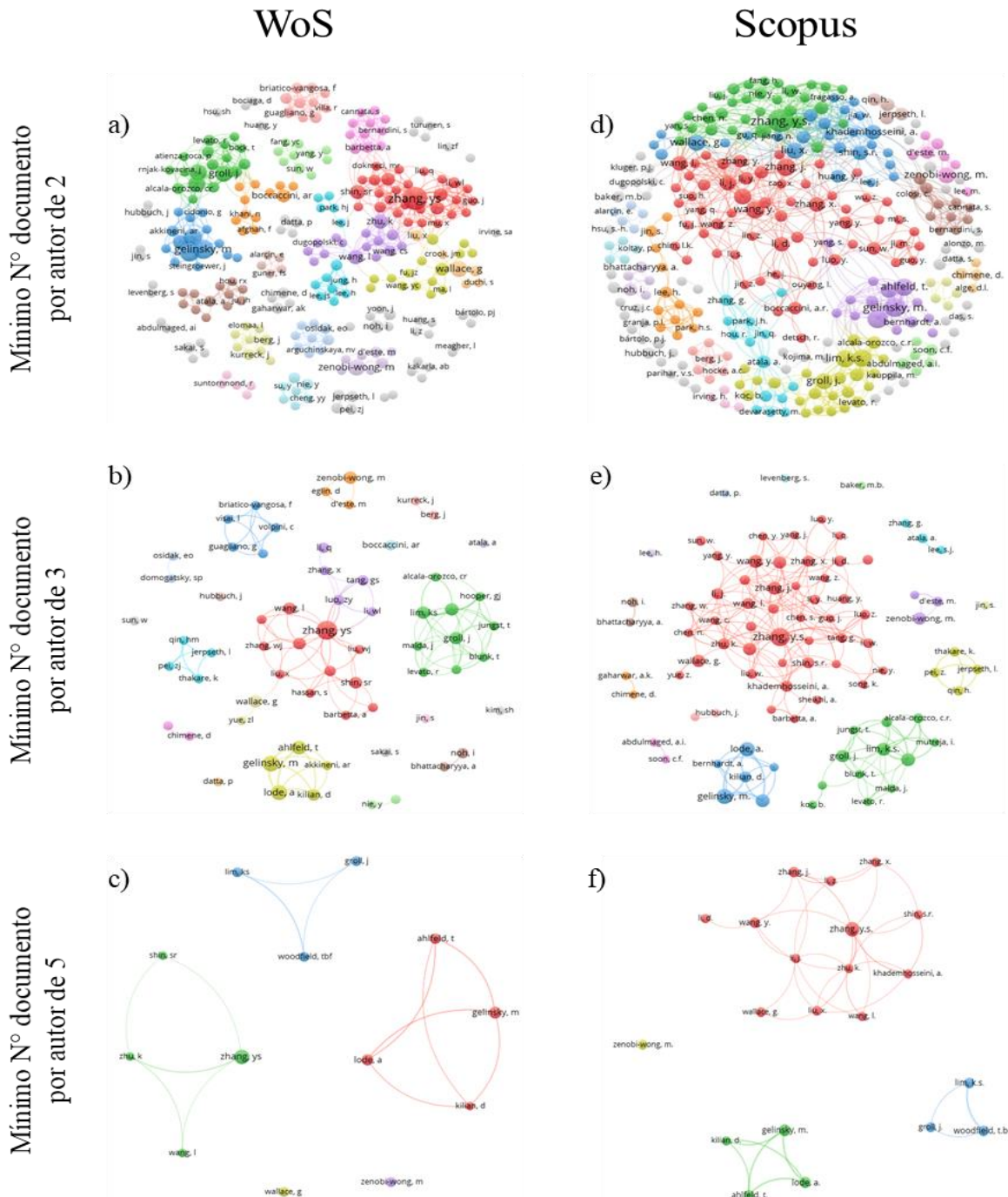
Los mapas obtenidos para los análisis de co-autoría y co-ocurrencia, se construyeron partiendo de un conjunto de datos correspondiente a 10 años de información bibliográfica, con un total de 270 y 297 documentos encontrados en las bases de datos WoS y Scopus, respectivamente.

4.1 Análisis de Co-autoría

4.1.1 Autores

Figura 4

Análisis de co-autoría: autores en WoS y Scopus



Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de documentos por autor para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 2 documentos, b) y e) Mínimo 3 documentos, c) y f) Mínimo 5 documentos. Para una mejor visualización ir al apéndice C.

El análisis de coautoría examina la autoría conjunta de documentos entre académicos en un campo de investigación. El objetivo de esta investigación es entender la interacción de la comunidad académica (autores, organizaciones y países) en el campo de bioimpresión 3D utilizando biotintas a través del método de extrusión y así identificar información de los académicos establecidos y la tendencia de este campo. La evolución de una temática puede determinarse no solo por el desarrollo científico de cada autor, sino por las redes de colaboración que se hacen visibles mediante un análisis bibliométrico, brindando información para futuras colaboraciones e investigaciones que fortalezcan el campo de estudio.

Para WoS en la Figura 4 se observan los mapas obtenidos para el análisis de co-autoría por autores. En la Figura 4a), teniendo como parámetro un mínimo de dos documentos por autor, se identifican 265 autores. Esta cifra disminuye a 64 y 13 en las Figuras 4b) y 4c), al aumentar este parámetro a 3 y 5 documentos respectivamente. Para Scopus, bajo los mismos criterios, la Figura 4d) presenta 302 autores, y las Figuras 4e) y 4f) registran 86 y 21 autores, respectivamente.

Por otro lado, se evidencian agrupaciones llamadas clústeres, las cuales se reconocen ya que VOSviewer asigna un color a cada una. Los clústeres representan la interacción entre nodos debido a un tema en común o línea de investigación de interés para los autores. Para WoS, en la Figura 4b), se forman 21 clústeres y cada uno de estos es llamado en función del nodo de mayor peso. Tomando en cuenta lo anterior el clúster rojo se denomina Zhang YS, el clúster verde Lim KS y el clúster amarillo Gelinsky M, quienes corresponden a los clústeres con mayor fuerza total de enlace. Para Scopus, en el caso de la Figura 4e) se forman 15 clústeres. El clúster rojo es denominado Zhang YS, el clúster azul Gelinsky M, y el clúster verde Lim KS, los cuales corresponden a los clústeres con mayor fuerza de enlace. Por otra parte, puede que en un mismo clúster coexistan dos o más autores con la misma fuerza total de enlace. Esto se evidencia en el

clúster azul en la Figura 4e), donde, además del autor Gelinsky M, también figura el autor Lode A con un peso igual.

El autor con mayor fuerza total de enlace tanto en WoS como en Scopus es Zhang Yu Shrike. No obstante, en el análisis generado para el mapa de la Figura 4c) de WoS y el mapa de la Figura 4f) de Scopus, el autor con mayor fuerza total de enlace es Gelinsky (Apéndice D). Esta situación se debe a la selección de un mínimo número de documentos por autor de 5, lo que lleva a eliminar autores que no cumplen con el parámetro y a reducir la fuerza total de enlace para cada nodo. Así la eliminación de relaciones entre autores resulta en el desplazamiento de estos y en la ocupación de sus lugares por otros autores. Teniendo en cuenta lo anterior, se podría establecer que posiblemente Zhang Yu Shrike ha generado redes de cooperación con autores que inician en el campo de estudio o que han realizado menos de cinco investigaciones.

El autor con más publicaciones corresponde a Zhang, Yu Shrike con una totalidad de 13 documentos tanto en WoS como en Scopus (Apéndice E). Sus publicaciones se centran en el estudio y creación de biotintas que mantenga adhesión en condiciones húmedas, viscosidad, reología, biocompatibilidad, entre otras, las cuales evidencian respuestas celulares favorables. Sus avances le han permitido crear biotintas basadas en dos fases acuosas inmiscibles con propiedades antibacterianas y antiinflamatorias. Otro de sus aportes ha sido la creación de una biotinta que permite construcciones planas y volumétricas a través de bioimpresión por extrusión lo cual ayudaría en la regeneración de tejidos con un mínimo de invasión al poder imprimirse in situ.

Analizando los mapas de sobreposición (Apéndice F), se puede observar que la mayoría de las publicaciones, de los principales autores en este campo, se concentran entre los años 2019 y 2020. Por otro lado, es posible contemplar que el promedio de publicaciones recientes corresponde

a grupos de autores que han estado trabajando en grupos pequeños separados de los autores de mayor influencia.

4.1.2 Organizaciones

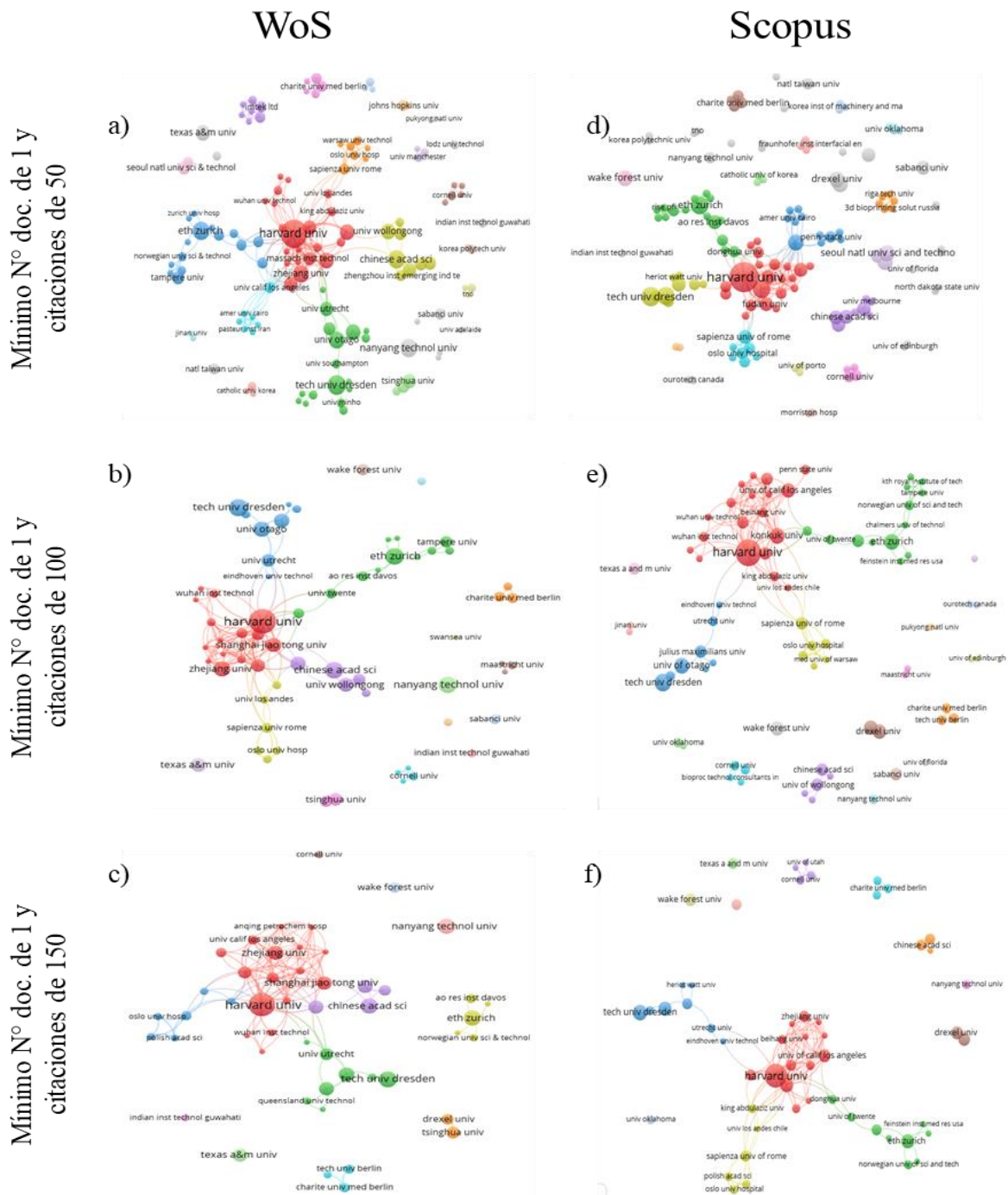
En la Figura 5 se observan los mapas obtenidos para el análisis de coautoría por organizaciones. Se estableció un valor fijo de cantidad mínima de documentos por organización de 1, teniendo en cuenta que es un tema reciente con información publicada a partir del 2014. Por el contrario, la cantidad mínima de citas por organización se varió.

Para WoS, en la Figura 5a) se tiene una totalidad de 127 organizaciones para un mínimo número de citas por organización de 50. Al incrementar este parámetro, se reduce el número de organizaciones que superan los filtros; en la Figura 5b), se obtienen 65 con un mínimo de 100 citas, y en la Figura 5c), solo 49 organizaciones alcanzan el mínimo de 150. Respecto a los clústeres, en la Figura 5a) se evidencian 29 organizaciones en total, de los cuales 10 existen de manera independiente, es decir, no colaboran con otras. En la Figura 5b), la cantidad de clústeres disminuye a 17, 8 de estos conformados por una sola organización. Finalmente, en la Figura 5c), se identifican 12 clústeres, incluyendo 5 que son individuales.

Para Scopus, usando los mismos umbrales de citas que en WoS (50, 100 y 150), la Figura 5d) muestra 138 organizaciones, disminuyendo a 77 en la Figura 5e) y a 54 en la Figura 5f) respectivamente. Por otro lado, en la Figura 5d) se evidencia una totalidad de 37 clústeres, 11 de estos no colaboran con otras organizaciones. Para la Figura 5e) la cantidad de clústeres disminuye a 20 y 7 de estos permanecen con solo una organización. Finalmente, en la Figura 5f) se evidencian 13 clústeres, incluyendo 5 que permanecen de forma individual.

Figura 5

Análisis de co-autoría: organizaciones en WoS y Scopus



Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de citaciones por organización para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 50 citaciones, b) y e) Mínimo 100 citaciones, c) y f) Mínimo 150 citaciones. Para una mejor visualización ir al apéndice G.

En WoS, entre las organizaciones con una mayor fuerza total de enlace se encuentran: Universidad de Harvard, Universidad de Konkuk, Instituto de Tecnología de Massachusetts y Universidad Jiao Tong de Shanghai. Contrario al análisis anterior estas organizaciones siempre lideran, independientemente del mínimo número de citas asignado. Lo anterior indica que la totalidad de las colaboraciones de estas organizaciones con otras se ha mantenido aún variando el parámetro del mínimo número de citas, resultado de poseer una gran cantidad de citas en todos sus documentos (Apéndice H). En este caso, la Universidad Harvard se establece como la organización con más documentos referentes en este campo con una totalidad de 18 documentos (Apéndice E).

Entre las organizaciones con mayor fuerza total de enlace en Scopus se encuentran: Universidad de Harvard, Universidad de Konkuk, Universidad Jiao Tong de Shanghai, Universidad de California los Ángeles, Research Institute for Bioscience and Biotechnology (Nepal), Universidad Beihang y Sapienza Universidad de Roma. Estas organizaciones siempre lideran, independientemente del mínimo número de citas asignado, sin embargo, contrario a lo presentado con WoS, al cambiar el número de citas de 50 a 100 o a 150, la Universidad de California pasa de ocupar el tercer lugar con mayor total fuerza de enlace al cuarto lugar, paralelamente, bajo los criterios anteriormente mencionados, la Universidad Jiao Tong de Shanghai pasa del cuarto lugar al tercer lugar (Apéndice H). Es de resaltar, que la Universidad Harvard se establece como la organización con más documentos referentes en este campo con una totalidad de 14 documentos (Apéndice E), además, las seis organizaciones con mayor fuerza de enlace total están enlazadas a ella, sin estar en un mismo clúster.

Además, se logró evidenciar que el tiempo de las publicaciones en promedio de la Universidad Harvard se concentra entre los años 2019 y 2020 (Apéndice I), no obstante también

pudo observarse que la Universidad Harvard, tiene publicaciones con las universidades Sichuan y Zhengzhou, entre el año 2020 y 2021, esto establece un interés de la universidad de Harvard de seguir aportando en esta temática de investigación y por formar o crear redes de colaboración con universidades que inician investigación en este campo.

4.1.3 Países

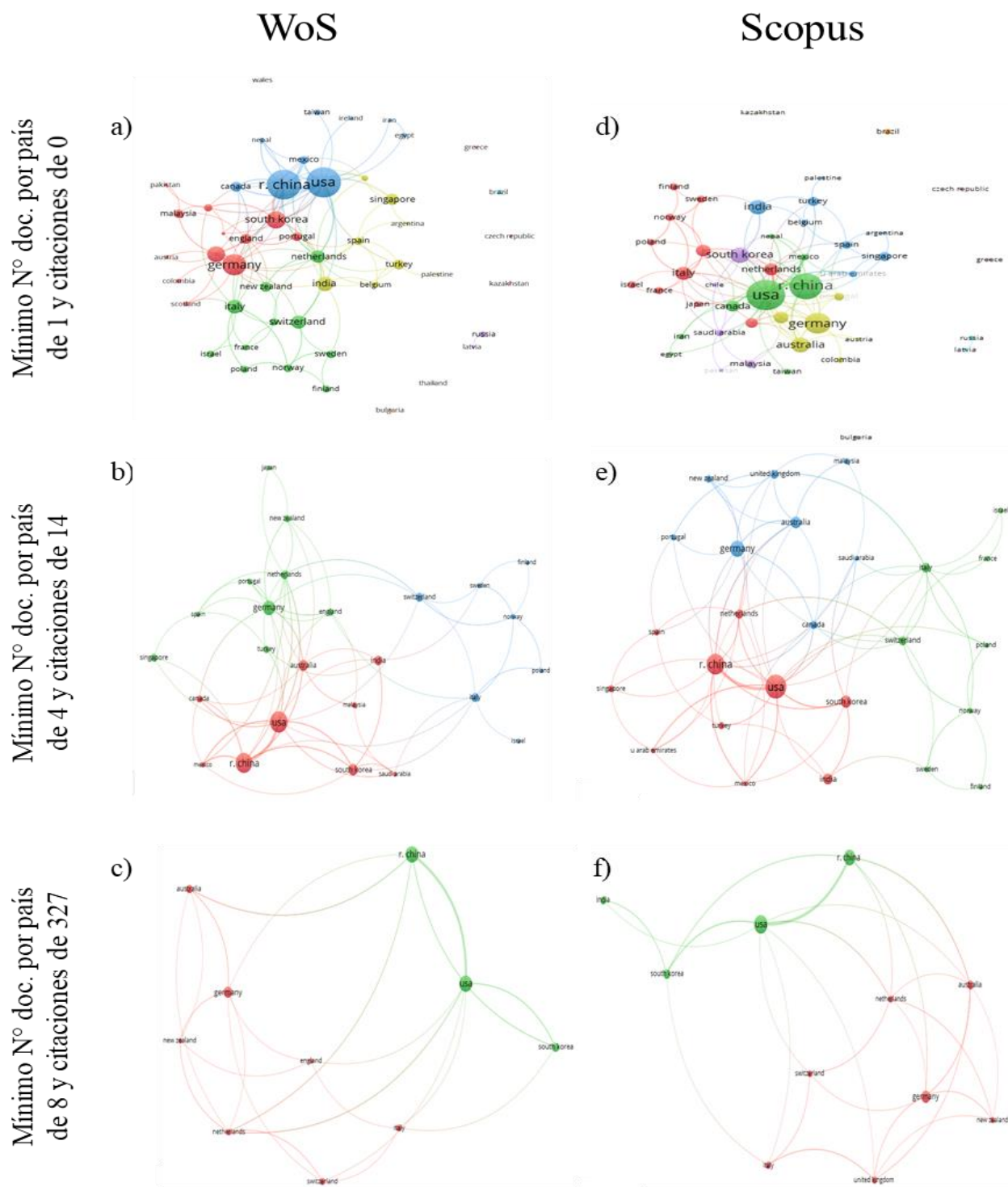
En la Figura 6 se observan los mapas obtenidos para el análisis de coautoría por países. Los parámetros que se modificaron fueron el mínimo número de documentos y el mínimo número de citas por país. Para WoS, en la Figura 6a) con mínimo 1 documento y 0 citas, 49 países alcanzan el umbral, en la Figura 6b) 25 países se evidencian con un mínimo de 4 documentos y 14 citas, por último, en la Figura 6c) 10 países se evidencian al alcanzar el umbral de un mínimo de 8 documentos y 327 citas.

Los países China, USA, Países Bajos y Corea del Sur se posicionan con la mayor fuerza total de enlace en todas las figuras, independiente del mínimo número de citas y documentos asignado en cada una (Apéndice K). Lo anterior indicaría que estos países se relacionan con otros que figuran entre los de mayor cita y con una alta creación de documentos. El país que más publicaciones logra tener es USA con un total de 68 documentos, seguido de China con un total de 64. USA colabora con los países China, Países Bajos, Corea del Sur, Suiza, Inglaterra e Italia (Apéndice E).

Por otra parte, para Scopus, se tienen 46 países en la Figura 6d) con mínimo 1 documento y 0 citas, 26 países en la Figura 6e) con mínimo 4 documentos y 14 citas, y por último, 11 países en la Figura 6f) con mínimo 8 documentos y 327 citas. Los dos países que lideran en estas figuras son USA y China (Apéndice K), los cuales tienen una mayor totalidad de fuerza

Figura 6

Análisis de co-autoría: países en WoS y Scopus



Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de documentos y citaciones por país para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 1 documento y 0 citaciones, b) y e) Mínimo 4 documentos y 14 citaciones, c) y f) Mínimo 8 documentos y 327 citaciones. Para una mejor visualización ir al apéndice J.

de enlace independiente de los parámetros utilizados, con un total de 84 publicaciones para USA, seguido de China con un total de 62 publicaciones (Apéndice E). A diferencia de lo presentado en el análisis de WoS, la posición con la mayor totalidad de fuerza de enlace de estos países en las Figuras 6d), 6e) y 6f) si varían. Además, se evidencia que USA colabora directamente con todos estos países a excepción de Alemania que, aunque no esté directamente relacionada con USA, si lo está con otros países como China, Australia y Países Bajos (Apéndice L).

En cuanto a Colombia, en la Figura 6a), correspondiente a la base de datos WoS, aparece con 2 documentos y con una fuerza total de enlace de 1, y para Scopus en la Figura 6d) con una fuerza total de enlace de 1 y 3 documentos (Apéndice M). Realizando una búsqueda de estos documentos en las bases de datos se logra encontrar una totalidad de 38 citaciones en WoS y 61 en Scopus. En WoS, esto corresponde a las colaboraciones de la Universidad Nacional de Colombia con la Universidad Erlangen-Núremberg de Alemania entre el año 2020 y 2021, y en Scopus a las colaboraciones de estos mismos países entre los años 2018 y 2020, lo anterior se ve reflejado en los mapas de sobreposición para países (Apéndice N). Por otra parte, tanto en Scopus como en WoS también se encuentra la Universidad de los Andes, quien ha trabajado individualmente en los años 2019 y 2021. A pesar de esto, debido a los parámetros establecidos para el tipo de análisis de organizaciones, tanto la Universidad de los Andes como la Universidad Nacional de Colombia no logran los umbrales correspondientes y por tanto no se pueden visualizar. No obstante, estas dos organizaciones colombianas aportan al desarrollo de esta temática de estudio.

Estos resultados permiten plantear posiblemente la existencia de estudios en esta temática que aún se encuentran en curso y por ende no han sido publicados, también debería considerarse

la oportunidad que esto representa, ya que al ser una temática nueva en Colombia hay posibilidades para plantear nuevas ideas y perspectivas en este campo. Por otro lado, al observar la gráfica de sobreposición podemos ver que los países de mayor relevancia en el campo de investigación presentan promedio de publicaciones entre los años 2020 y 2021, años en los cuales Colombia ha aportado en la generación de conocimiento en este campo. Por otro lado, se establece a Finlandia, España, Malasia e Israel como los países con un promedio de publicaciones mayor al 2022 y un tamaño de nodo pequeño, lo que establece su reciente interés en el desarrollo de este campo. Esta tendencia puede brindar una oportunidad para investigadores colombianos en la búsqueda de recursos y alianzas estratégicas que aporten al desarrollo de esta temática.

4.2 Análisis de Co-ocurrencia.

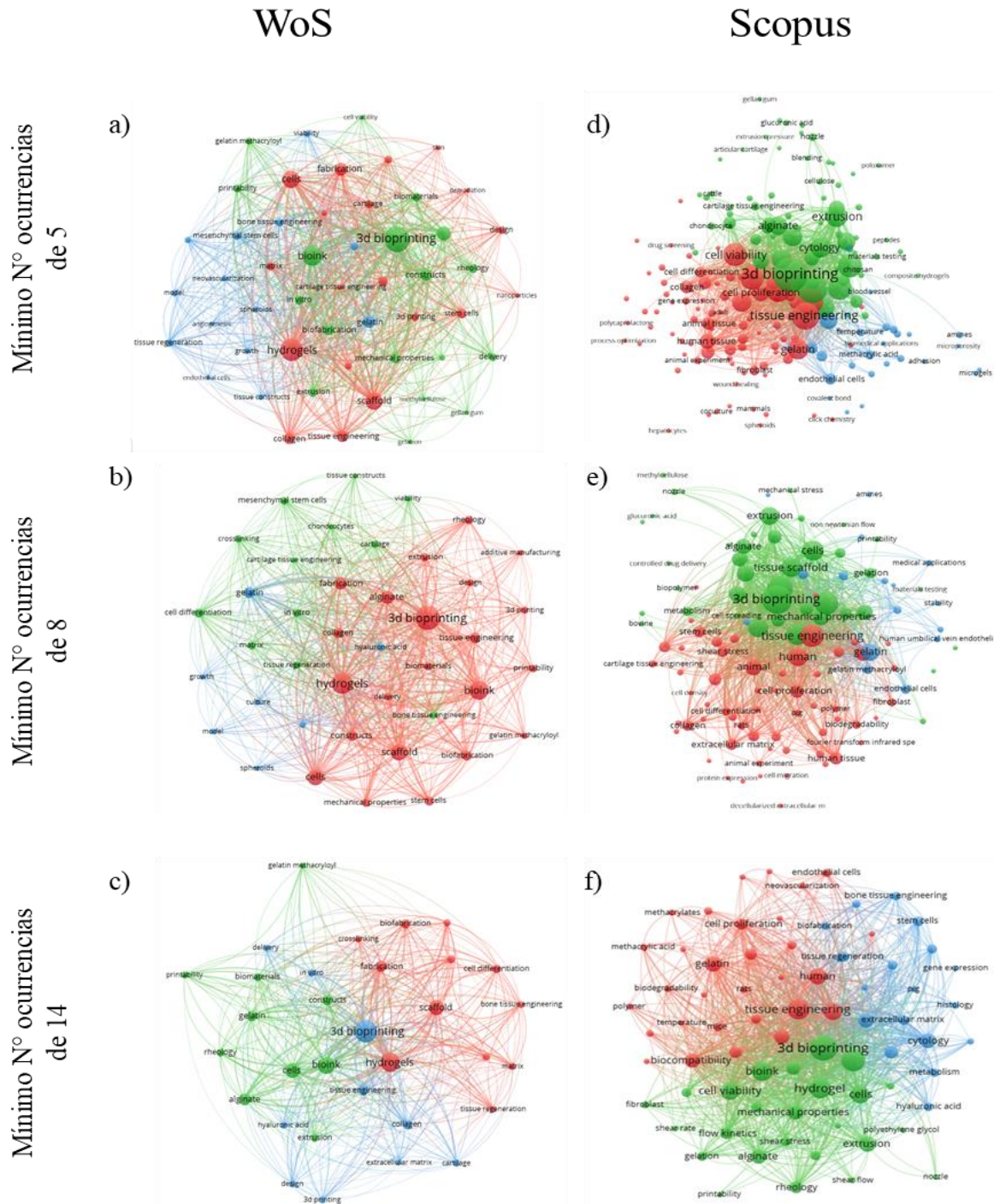
La co-ocurrencia en este campo se define como la aparición de dos palabras en el mismo documento. La relación de dos palabras suele medirse por el número de coincidencias de las palabras, es decir la cantidad de documentos en los que las palabras coexisten (van Eck, 2011).

El objetivo del análisis de co-ocurrencia no sólo es determinar la aparición conjunta de dos palabras en un grupo determinado de artículos, sino también analizar su vinculación conceptual. La aparición frecuente de estas palabras en una gran cantidad de artículos suele suponer que los autores ven algún tipo de conexión lógica entre ellas. El análisis de estos términos permite mapear, extraer contenido, clasificar, analizar el conocimiento y representar su navegación. Las ciencias de la información definen este tipo de estudio como parte al análisis del dominio del conocimiento, el cual es un área interdisciplinar de investigación.

4.2.1 Análisis de Co-ocurrencia con todas las palabras claves

Figura 7

Análisis de co-ocurrencia incluyendo todas las palabras claves del documento en WoS y Scopus



Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de ocurrencias de cada palabra para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 5 ocurrencias. b) y e) Mínimo 8 ocurrencias, c) y f) Mínimo 14 ocurrencias. Para una mejor visualización ir al apéndice O.

En la Figura 7 se observan los mapas obtenidos para el tipo de análisis de co-ocurrencia para todas las palabras claves. Para WoS, en la Figura 7a) se evidencian 3 clústeres con una totalidad de 51 palabras clave, esto al definirse un mínimo de ocurrencias de 5, para la Figura 7b) y 7c) la cantidad de clústeres se mantiene en 3 y las palabras claves disminuyen a 41 y a 32, definiendo un mínimo de ocurrencias de 8 y 14 respectivamente. Por otro lado, para Scopus en las Figuras 4d), 4e) y 4f) se identificaron 181, 115 y 73 palabras clave, utilizando los mismos parámetros de WoS (mínimos de ocurrencia de 5, 8 y 14, respectivamente), e igualmente la cantidad de clústeres se mantienen en 3.

Analizando las palabras clave para WoS se establecen a *3d bioprinting*, *hydrogels*, *bioink*, *scaffold* y *cells*, como los términos con mayor fuerza total de enlace y ocurrencias. En el caso de Scopus, las palabras clave de mayor relevancia son *3d bioprinting*, *3d printing*, *tissue engineering*, *hydrogel* y *bioink*. Por otra parte, logra evidenciarse que, los nodos de mayor peso en cada una de las redes, para cada base de datos, mantienen una fuerte relación entre ellos, quedando en evidencia su fuerte vinculación (Apéndice P). Esta vinculación se debe a que la bioimpresión 3D es una técnica emergente con potencial aplicación en el campo de la ingeniería de tejidos, que emplea biotintas basadas en hidrogeles y células para la creación de andamios y la formación de tejidos.

Teniendo en cuenta que las palabras claves evidencian los puntos de vista del autor y de los editores, el análisis anterior nos permite establecer, que en un proceso de publicación de conocimiento en esta temática sería adecuado seleccionar como palabras claves un subconjunto de las palabras anteriormente mencionadas ya que esto puede aumentar la visibilidad de la investigación. Además, al analizar la madurez de los términos (Apéndice Q) establecida por colores y teniendo en cuenta que el tono morado representa los términos antiguos o en declive, el

verde y azul los términos de rango intermedio, y el amarillo los términos que representan los temas emergentes, se concluye que las palabras mencionadas anteriormente se clasifican en un rango intermedio. Por otro lado, se observan palabras emergentes como *alginate*, *methacrylic acid*, *gelatin methacryloyl*, *printability*, *biodegradability*, *in vitro*, *in vivo* que nos presenta la posible tendencia a estudios centrados en el desarrollo y caracterización de biotintas a partir de estos materiales, para su aplicación en sistemas de bioimpresión 3D.

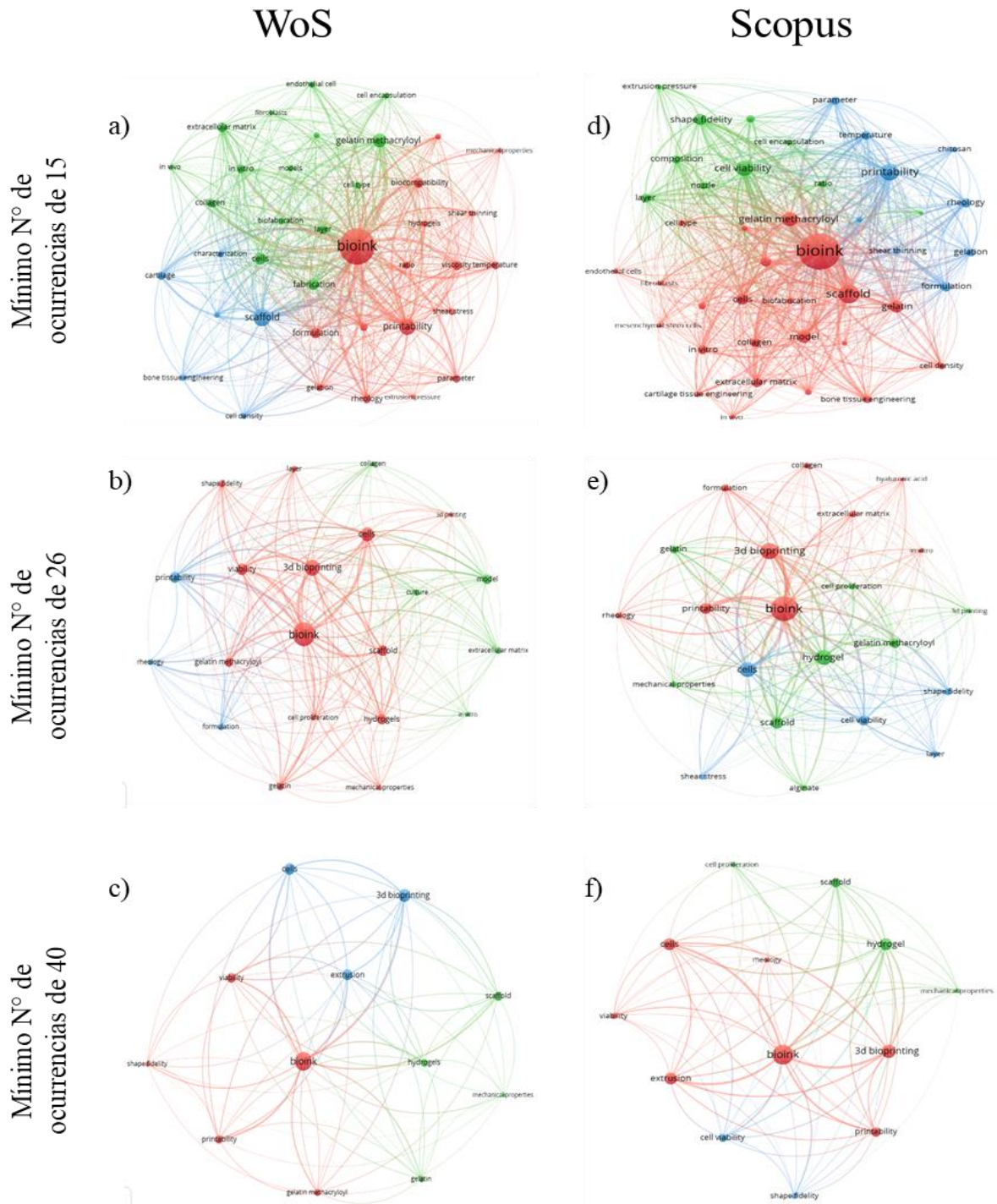
4.2.2 Análisis de Co-ocurrencia con palabras claves del título y resumen

En la Figura 8 se observan los mapas obtenidos para el tipo de análisis de co-ocurrencia y para palabras claves: título y resumen. En WoS, para la Figura 8a) se asignó un mínimo de ocurrencia de 15 obteniendo una totalidad de 38 palabras claves y 3 clústeres, la cantidad de clústeres se sigue manteniendo en las Figuras 8b) y 8c), las palabras clave disminuyen a 21 y 12 modificando el mínimo de ocurrencias a 26 y 40 respectivamente. Para Scopus, en las Figuras 8d), 8e) y 8f) se identificaron 42, 22 y 13 palabras clave, utilizando los mismos parámetros de WoS (mínimos de ocurrencia de 15, 26 y 40, respectivamente), e igualmente la cantidad de clústeres se mantienen en 3.

A partir de los análisis de co-ocurrencia de palabras claves de título y resumen, se pueden visualizar tres clústeres formados en todos los mapas de WoS y Scopus, estos podrían corresponder a las líneas de desarrollo de la temática en general. Siguiendo este planteamiento, se tendría que una parte de estas palabras claves correspondería a las aplicaciones de la bioimpresión en un ser vivo ya que se tienen palabras como *scaffold*, *cartilage*, *bone tissue engineering*, *etc*; otro de los grupos formados pertenecería al desarrollo y formulación de las biotintas, teniendo como palabras clave *biocompatibility*, *gelation*, *viscosity*, *etc*; y, por último, se visualizan las palabras *models*,

Figura 8

Análisis de co-ocurrencia incluyendo palabras claves: título y resumen en WoS y Scopus



Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de ocurrencias de cada palabra para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 15 ocurrencias. b) y e) Mínimo 26 ocurrencias, c) y f) Mínimo 40 ocurrencias. Para una mejor visualización ir al apéndice R.

endothelial cell, cell type, etc las cuales pertenecerían a la planificación requerida para el tipo de biomaterial y la aplicación de este en sistemas *in vivo* o *in vitro*.

Por otra parte, y en coherencia con lo anteriormente mencionado, los gráficos de sobreposición de palabras clave (Apéndice S) muestran una tendencia al desarrollo de temáticas relacionadas con el estudio de biotintas y su aplicación en sistemas *in vivo* e *in vitro*, indicado por las palabras claves *chitosan, gelatin methacryloil, in vivo, in vitro, scaffold, hydrogels y biocompatibility* las cuales han sido las más utilizadas en los trabajos publicados después del año 2020.

5. Conclusiones

Se estableció a través del análisis de coautoría que los parámetros asignados para cada gráfica influyen en la totalidad de nodos que se logran visualizar, por tanto, si se desea tener una perspectiva general de la contribución de los autores, organizaciones y países en esta temática, debe contemplarse un parámetro con un valor mínimo que permita obtener información representativa en cuanto a publicaciones y citas para cada unidad de análisis

A partir del estudio bibliométrico realizado, se evidenció que Estados Unidos y China son los países con mayores contribuciones científicas en el desarrollo de biotintas para bioimpresión 3D aplicada a la ingeniería de tejidos. Asimismo, Finlandia, España, Malasia e Israel se destacan como países de relevancia emergente, lo cual abre la posibilidad para las entidades de investigación

colombianas de crear convenios y buscar recursos para el desarrollo de nuevas investigaciones en esta temática.

Por su parte, Zhang Yu Shrike (Universidad Harvard, USA) aparece como el autor con mayor influencia en el campo, reportando algunos trabajos de colaboración entre China y USA. En el caso de las organizaciones, la Universidad de Harvard se evidencia como la institución más relevante en esta área, con la mayor cantidad de publicaciones, citas y colaboraciones promedio.

De acuerdo con los estudios de sobreposición y relaciones de co-autoría en VOSviewer, se confirmó que el periodo 2019 – 2020 ha sido el de mayor publicación de trabajos en este campo de investigación lo que indica que el desarrollo de biotintas para bioimpresión 3D para aplicaciones de regeneración de tejidos es un tema de interés creciente que además presenta importantes dinámicas de colaboración.

Finalmente, del análisis de co-ocurrencia se concluye que la selección de palabras clave en este estudio desempeña un papel esencial al definir la orientación del desarrollo de esta investigación. Las palabras clave con mayor peso bibliométrico (nodos principales) presentadas en los dos tipos de análisis de co-ocurrencia (con todas las palabras claves y del título y resumen) son principalmente: *3D bioprinting, cells, bioink, hidrogels, extrusion, scaffold, gelatin, alginate, gelatin methacryloyl, printability y mechanical properties*.

La recurrente aparición de los términos como *3D bioprinting* y *extrusion* denota una continua dedicación al avance y perfeccionamiento de las técnicas de impresión tridimensional, destacando la relevancia estratégica de la precisión y la metodología de deposición de las biotintas. Por otro lado, la presencia dominante de las palabras *cells, bioink y hydrogels* refleja un interés en

la formulación de biotintas tipo hidrogel que puedan imprimirse con o sin células directamente, resaltando la importancia de la creación de un microambiente propicio para la regeneración tisular. Por su parte los nodos *gelatin*, *alginate* y *gelatin methacryloyl* evidencian que estos tres polímeros poseen propiedades de biocompatibilidad y versatilidad que les confiere un potencial atractivo para ser usados en bioimpresión 3D. Asimismo, *printability* y *mechanical properties* son términos que sugieren la constante preocupación por la calidad técnica del proceso de impresión y las propiedades mecánicas del producto final, las cuales deben simular aquellas del tejido natural a regenerar. Finalmente, la palabra *scaffold* enfatiza la importancia del diseño de estructuras de soporte tridimensionales que promuevan todos los procesos celulares (migración, adhesión y proliferación) necesarios para la adecuada producción de tejidos funcionales.

De lo anterior, puede estimarse que estas palabras clave no solo reflejan las corrientes actuales de investigación, sino que también anticipan tendencias futuras, indicando un enfoque continuo en mejorar técnicas, perfeccionar materiales y avanzar en el diseño de andamios para optimizar la aplicabilidad clínica de la bioimpresión 3D por extrusión en la regeneración de tejidos y órganos humanos.

Se determinó que los resultados bibliográficos obtenidos para cada base de datos (Scopus y WoS) difieren el uno del otro, para la primera se obtienen 297 documentos, mientras que para la segunda 270. Esto se debe al alcance que las revistas asociadas a las bases de datos pueden tener. Estos resultados iniciales influyen en gran medida en la cantidad de nodos, ya que independientemente de los parámetros establecidos, en Scopus se logra visualizar una mayor cantidad de metadatos en comparación a la base de datos WoS.

Referencias

- Ali, O. A., Doherty, E., Mooney, D. J. & Emerich, D. (2011). Relationship of vaccine efficacy to the kinetics of DC and T-cell responses induced by PLG-based cancer vaccines. *Biomatter*, 1(1), 66–75. <https://doi.org/10.4161/biom.1.1.16277>
- Alvarez, E. y Michán, L. (2018). La ciencia de la ciencia. *Revista Digital Universitaria (RDU)*. Vol. 19, núm. 4. DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2018.v19n4.a1>
- Barney, C. y Rodríguez, V. (2022). ¿Usaría un órgano impreso en 3d? Que tan alejada está Colombia de esta realidad. *Concéntrica*. <https://concentrika.ucentral.edu.co/actualidad-en-internet/usaria-un-organo-impreso-en-3d-que-tan-alejada-esta-colombia-de-esta-realidad/>
- BBC News. (30 August 2022). Could 3D printing be the future of organ transplants? BBC News. [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=IUx_vkB3PFc
- Bhatia, S.N. & Chen, C.S. (1999). Tissue Engineering at the Micro-Scale. *Biomedical Microdevices* 2, 131-144. <https://doi.org/10.1023/A:1009949704750>
- Bigliardi, B. & Filippelli, S. (2022). Chapter 4 - Factors affecting the growth of academic oriented spin-offs. *Innovation Strategies in the Food Industry (Second Edition)*. 53-72 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323852036000128>
- Bordons, M., Fernández, M.T. & Gómez, I. (2002) Advantages and limitations in the use of impact factor measures for the assessment of research performance. *Scientometrics*. 53, 195–206. <https://doi.org/10.1023/A:1014800407876>
- Briceño, J., Escobar, J., Niño, V., Bonilla, L., Quintero, M., Díaz, J. & Camargo, C. (2018) "In vitro Biological Evaluation of Small Intestinal Submucosa - Chitosan / Hyaluronic Acid Tridimensional Scaffolds as Deep Wound Healing Dressings," IX International Seminar of

- Biomedical Engineering (SIB), Bogota, Colombia, pp. 1-9, doi: 10.1109/SIB.2018.8467734.
- Camps, D. (2008). Limitaciones de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la actividad científica biomédica, *Colombia Médica*. 39(1): 74-79.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95342008000100009
- Carrizo, G. (2006). Hacia un concepto de bibliometría. <https://docplayer.es/41384366-Hacia-un-concepto-de-bibliometria.html>.
- Chen X.B., Fazel Anvari-Yazdi A., Duan X., Zimmerling A., Gharraei R., Sharma N.K., Sweilem S. & Ning L. (2023). Biomaterials / bioinks and extrusion bioprinting. *Bioactive Materials*, 28, 511-536. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2023.06.006>.
- Chen, Y., Lai, K., Chiu, Y., Wu, Y., Shiau, A. & Chen, M. (2019) Implantable microneedles with an immune-boosting function for effective intradermal influenza vaccination, *Acta Biomaterialia*, 97, 230-238.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1742706119305379>
- Chiono, A., Vitale-Brovarone, C., Dario, P & Vozzi, G. (2022). Biofabricación: un enfoque potente para el desarrollo de nuevas soluciones contra pandemias y para una medicina personalizada funcional. *Conferencia Internacional en Biofabricacion*, Pisa.
- COPE. (2023). *Bioimprimen en 3D un modelo de melanoma para ver cómo responde a la quimioterapia*. COPE. https://www.cope.es/actualidad/noticias/bioimprimen-modelo-melanoma-para-ver-como-responde-quimioterapia-20230622_2777725
- CWTS Leiden University. (2017). VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>
- Delgado, Á. y Milanés, Y. (2021). *Introducción a la bibliometría: fundamentos, fuentes y herramientas*. Biblioteca CRAI de la Universidad Pablo de Olavide

- https://es.slideshare.net/bibupo/introduccion-a-la-bibliometria-fundamentos-fuentes-y-herramientas?from_search=0
- Dey, M., & Ozbolat, I.T. (2020). 3D bioprinting of cells, tissues and organs. *Sci Rep* 10, 14023. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70086-y>
- EL HERALDO. (2016). Impresión de órganos en 3D revoluciona la medicina. EL HERALDO. <https://www.elheraldo.co/entretenimiento/impresion-de-organos-en-3d-revoluciona-la-medicina-245316>
- Filippo, D. y Fernández, M. (s.f). BIBLIOMETRÍA: IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS. http://www.ricyt.org/wp-content/uploads/2019/09/Estado_2002_10.pdf
- Fundación Clínica Shaio. (2015). *Imprimimos el primer corazón en 3D*. Fundación Clínica Shaio. <https://www.shaio.org/prensa/imprimimos-el-primer-corazon-en-3d>
- Galvez, C. (2018). Análisis de co-palabras aplicado a los artículos muy citados en Biblioteconomía y Ciencias de la Información (2007-2017). *Transinformación*, 30(3), 277-286. <https://www.scielo.br/j/tinf/a/RgynpHSFbrMk4PFG55bGfwr/?lang=es>
- Gu, Z., Fu, J., Lin, H. & He, Y. (2020). Development of 3D bioprinting: From printing methods to biomedical applications. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 15(5), 529-557. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2019.11.003>
- Guillermo, J., Passamai, V.E., Katz, S., Castro, G.R. & Alvarez, V. (2022). Hydrogels for extrusion-based bioprinting: General considerations. *Bioprinting*, 27, e00212. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2022.e00212>
- Gungor-Ozkerim, P.S., Inci, I., Zhang, Y.S., Khademhosseini, A. & Dokmeci, M.R. (2018). Bioinks for 3D bioprinting: an overview. *Biomaterials Science*, 6, 915-946. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/bm/c7bm00765e>

Hello World HD. (26 July 2021). What 3D bioprinting is and how it works. [Vídeo]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=NOGoUYVP2PY>

HRSA. (2023). Estadísticas sobre la donación de órganos. HRSA (Health Resources & Services Administration) [https://donaciondeorganos.gov/conocer/2n8u/estadisticas-sobre-la-](https://donaciondeorganos.gov/conocer/2n8u/estadisticas-sobre-la-donaciondeorganos#:~:text=Actualmente%2C%20hay%20m%C3%A1s%20de%20104.000,edades%2C%20or%C3%ADgenes%20%C3%A9tnicos%20y%20g%C3%A9neros)

[donaciondeorganos#:~:text=Actualmente%2C%20hay%20m%C3%A1s%20de%20104.000,edades%2C%20or%C3%ADgenes%20%C3%A9tnicos%20y%20g%C3%A9neros](https://donaciondeorganos.gov/conocer/2n8u/estadisticas-sobre-la-donaciondeorganos#:~:text=Actualmente%2C%20hay%20m%C3%A1s%20de%20104.000,edades%2C%20or%C3%ADgenes%20%C3%A9tnicos%20y%20g%C3%A9neros)

Jackman, J., Schaut, R., Brewer, M., Mendoza, K., Narasimhan, B. & Jones, D. (2018). A polyanhydride-based implantable single dose vaccine platform for long-term immunity. *Vaccine*. 8;36(7):1024-1025. doi: 10.1016/j.vaccine.2017.11.067. PMID: 29413093.

Jerez, A. (2022). *La bioimpresión comienza a construir los cimientos de la medicina personalizada*. ABC.es. https://www.abc.es/economia/abci-bioimpresion-comienza-construir-cimientos-medicina-personalizada-202107110118_noticia.html

Kang, HW., Lee, S., Ko, I., Kengla, C., Yoo, J. & Atala, A. (2016). A 3D bioprinting system to produce human-scale tissue constructs with structural integrity. *Nat Biotechnol* 34, 312–319. <https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1038/nbt.3413>

Ke, D., Niu, C. & Yang, X. (2022). Evolution of 3D bioprinting-from the perspectives of bioprinting companies. *Bioprinting*, 25, e00193. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2022.e00193>

Khalil, S.; Nam, J. & Sun, W. (2005). Multi-nozzle deposition for construction of 3D biopolymer tissue scaffolds. *Rapid Prototyping Journal*, 11(1), 9–17. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-13844256142&origin=inward&txGid=29ea03fe2215577cb1c72092535ecf55>

- Kim, S., Utsunomiya, H., Koski, J.A., Wu, B.M., Cima, M.J., Sohn, J., Mukai, K., Griffith, L.G. & Vacanti J.P. (1998). Survival and function of hepatocytes on a novel three-dimensional synthetic biodegradable polymer scaffold with an intrinsic network of channels. *Annals of surgery*, 228(1), 8–13. <https://doi.org/10.1097/00000658-199807000-00002>
- King S.M., Presnell S.C. & Nguyen D.G. (2014). Abstract 2034: Development of 3D bioprinted human breast cancer for in vitro drug screening. *Cancer Research*, 74 (19). <https://doi.org/10.1158/1538-7445.AM2014-2034>
- La Asociación de Fabricantes y Distribuciones. (2020). ¿Qué es la bioimpresión y qué utilidad tiene? AECOC. <https://www.aecoc.es/innovation-hub-noticias/que-es-la-bioimpresion-y-que-utilidad-tiene/>
- Landers R., Hübner U., Schmelzeisen R. & Mülhaupt R. (2002). Rapid prototyping of scaffolds derived from thermoreversible hydrogels and tailored for applications in tissue engineering. *Biomaterials*, 23(23), 4437-47. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142961202001394?via%3Dihub>
- Mendoza L., Jesús M.R., Macías A., Marcos A.C., and Díaz A. (2023). Evolution of bioprinting and current applications. *Int J Bioprint*, 9(4), 742. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10261138/>
- Merck KGaA. (s. f.). 3D bioprinting. <https://www.sigmaaldrich.com/CO/es/applications/materials-science-and-engineering/3d-bioprinting>
- Mironov V. (2006). Toward human organ printing: Charleston Bioprinting Symposium. *ASAIO Journal (American Society for Artificial Internal Organs: 1992)*, 52(6), e27–e30. <https://doi.org/10.1097/01.mat.0000248999.25334.6a>

- Mohan, T. S., Datta, P., Nesaei, S., Ozbolat, V. & Ozbolat, I. T. (2022). 3D Coaxial Bioprinting: Process Mechanisms, Bioinks and Applications. *Progress in biomedical engineering (Bristol, England)*, 4(2), 022003. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/ac631c>
- Mordor Intelligence. (2023). *ANÁLISIS DEL TAMAÑO Y LA PARTICIPACIÓN DEL MERCADO DE LA BIOIMPRESIÓN 3D TENDENCIAS Y PRONÓSTICOS DE CRECIMIENTO (2023 - 2028)*. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/3d-bioprinting-giving-new-life-drivers-barriers-and-trends-industry>
- Muschler, G., Nakamoto, Chizu., M. & Griffith, L. (2004). Engineering Principles of Clinical Cell-Based Tissue Engineering. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 86(7), 1541-1558. https://journals.lww.com/jbjsjournal/abstract/2004/07000/engineering_principles_of_clinical_cell_based.29.aspx
- Nagaraj, A., Etxeberria, A.E., Naffa, R., Zidan, G. & Seyfoddin, A. (2022). 3D-Printed Hybrid Collagen/GelMA Hydrogels for Tissue Engineering Applications. *Biology* 11, 1561. <https://doi.org/10.3390/biology11111561>
- Noh, S., Myung, N., Park, M., Kim, S., Zhang, SU. & Kang, HW. (2018). 3D Bioprinting for Tissue Engineering. *Clinical Regenerative Medicine in Urology*. pp 105-123. https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1007/978-981-10-2723-9_5
- Olguín, H. (2021). *Bioimpresión de músculo artificial: el trabajo premiado de alumna Tec. CONECTA: Tecnológico de Monterrey.* <https://conecta.tec.mx/es/noticias/nacional/investigacion/bioimpresion-de-musculo-artificial-el-trabajo-premiado-de-alumna>

- Ozbolat, I.T. (2015). Bioprinting scale-up tissue and organ constructs for transplantation. *Trends in Biotechnology*, vol.33, pp.395-400. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167779915000967>
- Ozbolat, I.T. (2017). *3D Bioprinting: Fundamentals, Principles and Applications*. <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/book/9780128030103/3d-bioprinting>
- Pedroza S.C., Rodriguez M., Pérez B.E., Alvarez M.M. & Santiago G.T. (2021). Bioinks for 3D Bioprinting: A Scientometric Analysis of Two Decades of Progress. *International journal of bioprinting*, 7(2), 333. <https://doi.org/10.18063/ijb.v7i2.337>
- Perez-Valle, A.; Del Amo, C. & Andia, I. (2020). Overview of Current Advances in Extrusion Bioprinting for Skin Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18): 6679. <https://doi.org/10.3390/ijms21186679>
- Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4):340-9.
- Atala, A. & Yoo, J. J. (2015). *Essentials of 3d biofabrication and translation*. Academic Press an imprint of Elsevier. <http://site.ebrary.com/id/11079920>.
- SaluData. (2023). Estadísticas donación y trasplante de órganos y tejidos en Bogotá D.C. 2022. SaluData. <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/datos-de-salud/enfermedades-cronicas/donacion-de-organos/>
- Sánchez, P., Brey, E. M. & Briceño, J. C. (2018). Endothelialization mechanisms in vascular grafts. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 12(11), 2164–2178. <https://doi.org/10.1002/term.2747>
- Song, D., Xu, Y., Liu, S., Wen, L. & Wang, X. (2021). Progress of 3D Bioprinting in Organ Manufacturing. *Polymers*, 13(18), 3178. <https://doi.org/10.3390/polym13183178>

- Spinak, E. (1996). Diccionario Enciclopédico de Bibliometría, Cienciometría e Informetría, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243329/PDF/243329spa.pdf.multi>
- Spinak, E. (1998). Indicadores cienciométricos. *SciELO*. 27 (2), p. 141-148. <https://www.scielo.br/j/ci/a/LXSkMHSNcxDcMsBVC53TkLf/?format=pdf&lang=es>
- Terrada, M y López, J. (1991) *La producción científica española y su posición en la comunidad internacional*.
- Unagolla, J.M. & Jayasuriya, A.C. (2020). Hydrogel-based 3D bioprinting: A comprehensive review on cell-laden hydrogels, bioink formulations, and future perspectives. *Applied Materials Today*, 18, 100479. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.100479>
- Universidad de los Andes. (s.f). *Juan Carlos Briceño/ UniAndes*. Universidad de los Andes. <https://ingbiomedica.uniandes.edu.co/es/departamento/nuestro-equipo/profesores-planta/juan-carlos-briceno>
- Valencia, K., Jaramillo, J., Cedano, F., López, R., Sandoval, N. & Briceño, J. (2018). Design and Evaluation of a Structural Reinforced Small Intestinal Submucosa Vascular Graft for Hemodialysis Access in a Porcine Model. *ASAIO Journal*. 64(2), 270–277. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000618>
- Vallejo, M. (2005). Estudio Longitudinal de la producción española de tesis doctorales en educación matemática (1975-2002). (Tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/580/15389807.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- van Eck, N. & Waltman, L. (2023). VOSviewer Manual. https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf
- van Eck, N. J. & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

- Xia, Z., Jin, S. & Ye, K. (2018). Tissue and Organ 3D Bioprinting. *SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation*, 23(4), 301-314. <https://journals-sagepub-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/doi/full/10.1177/2472630318760515>
- Yan, Y., Wang, X., Xiong, Z., Liu, H., Liu, F., Lin, F., Wu, R., Zhang, R. & Lu, Q. (2005). Direct Construction of a Three-dimensional Structure with Cells and Hydrogel. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 20(3), 259–269. doi:10.1177/0883911505053658
- Yongcong, F., Yuzhi, G., Tiankun, L., Runze, X., Shuangshuang, M., Xingwu, M., Ting, Z., Liliang, O., Zhuo, X. & Wei, S. (2022). Advances in 3D Bioprinting. *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers* 1(1), 100011. <https://doi.org/10.1016/j.cjmeam.2022.100011>
- Zhang, S. & Wang, H. (2019). Current Progress in 3D Bioprinting of Tissue Analogs. *SLAS Technology*, 24(1), 70-78. <https://doi.org/10.1177/2472630318799971>
- Zhang, Y.S, Oklu, R., Dokmeci, M.R. & Khademhosseini, A. (2018). Three-Dimensional Bioprinting Strategies for Tissue Engineering. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(2), a025718. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a025718>
- Zimmerling, A. & Chen, X. (2020). Bioprinting for combating infectious diseases. *Bioprinting*, 20, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405886620300312>

Apéndices

Apéndice A. Motores de búsqueda generales generados por las bases de datos WoS y Scopus.

A continuación, se presentan las ecuaciones generales obtenidas por las bases de datos WoS y Scopus como motores de búsqueda.

Web of Science: bioprinting (Topic) AND bioink (Topic) AND extrusion (Topic) and 2014 or 2015 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 or 2019 or 2018 or 2017 or 2016 or 2015 or 2014 (Publication Years) and Article (Document Types) and English (Languages).

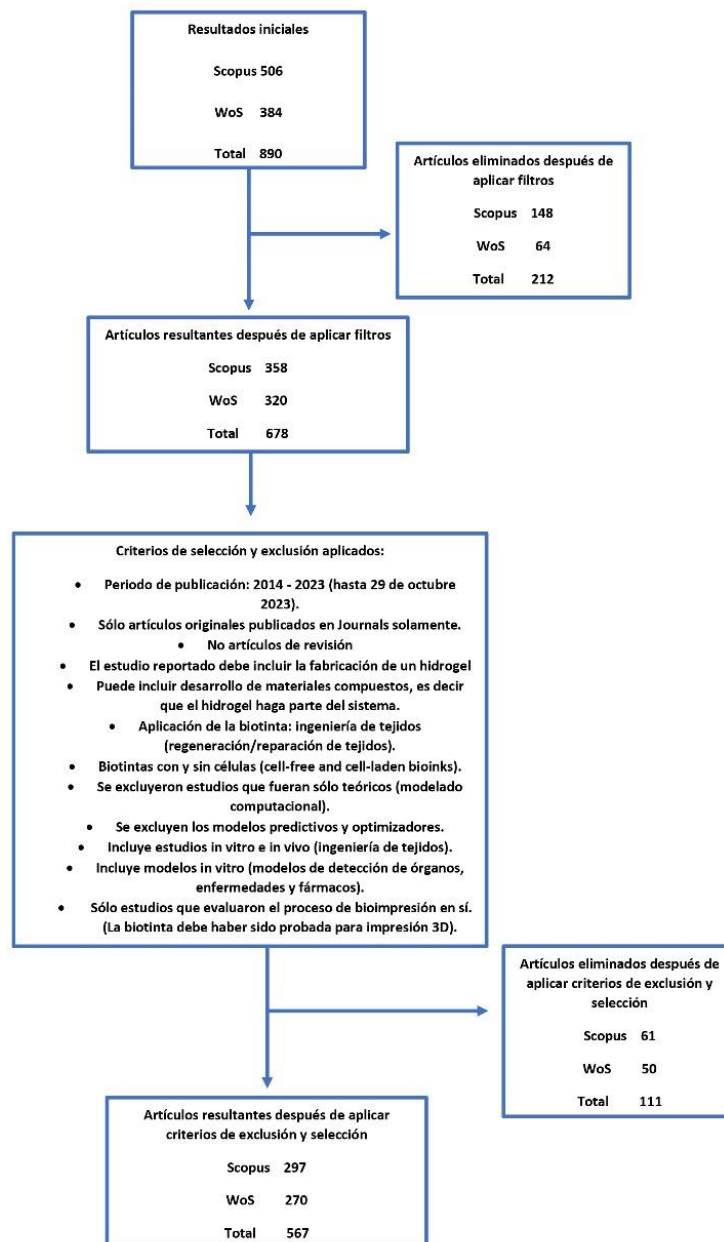
Scopus: (TITLE-ABS-KEY (bioprinting) AND TITLE-ABS-KEY (bioink) AND TITLE-ABS-KEY (extrusion)) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final"))

Apéndice B. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica y criterios de selección.

A continuación, se presenta diagrama de flujo que muestra un resumen de la búsqueda bibliográfica, los criterios de exclusión, inclusión y elegibilidad aplicados, y la cantidad de documentos finales para la realización del análisis bibliométrico.

Figura 9

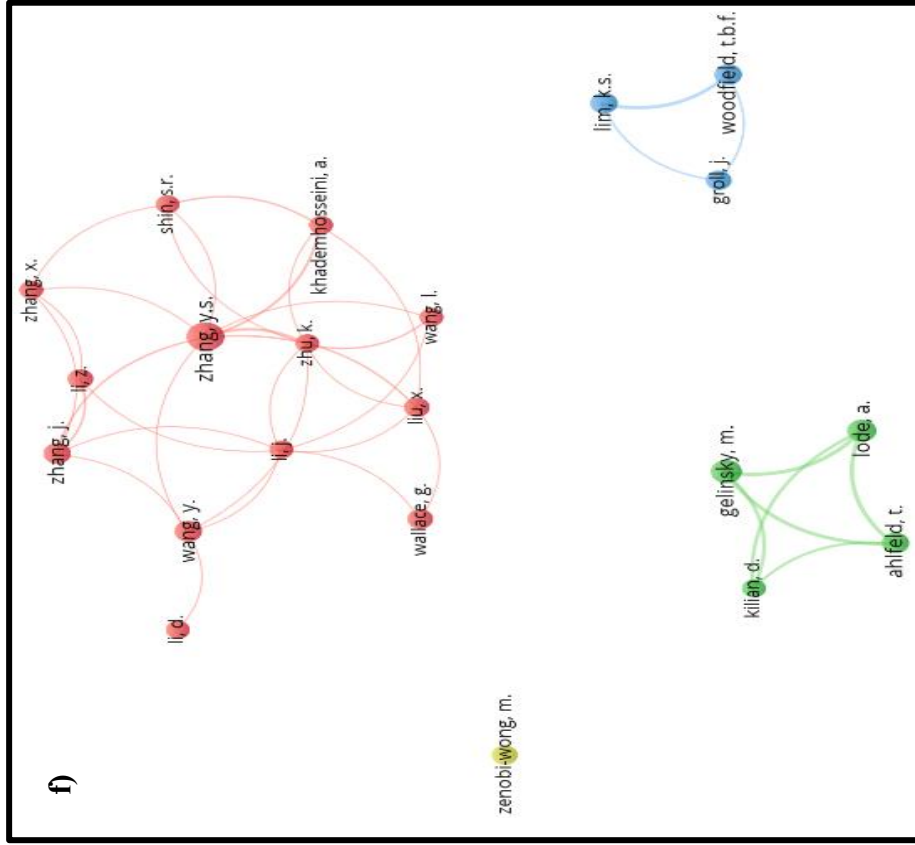
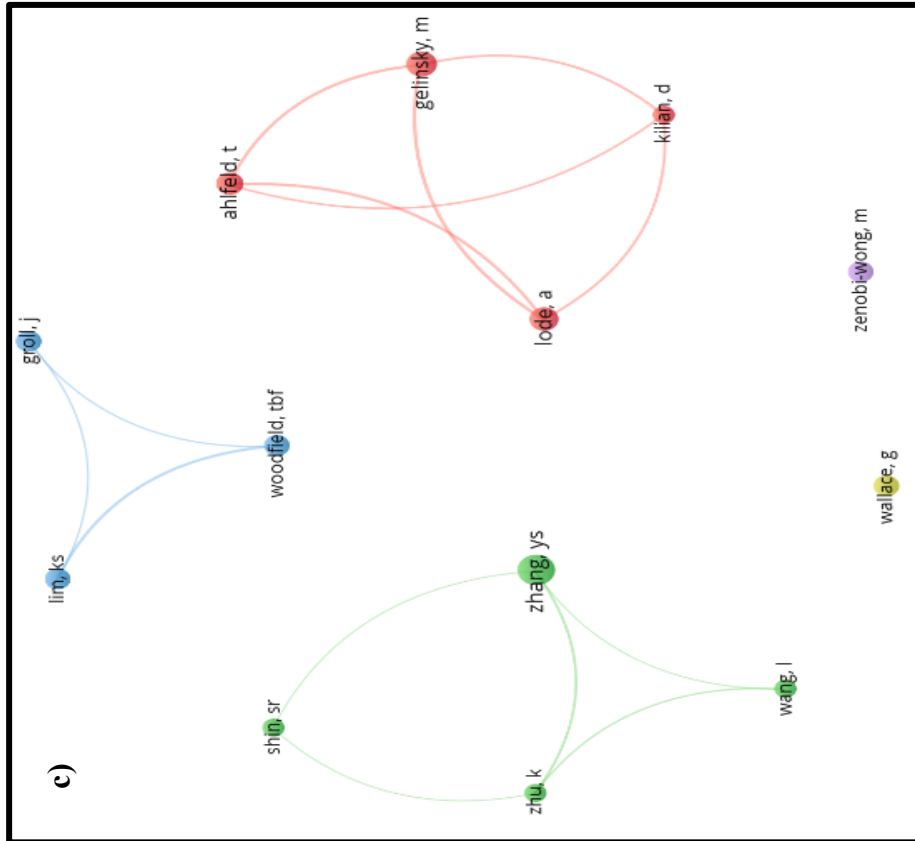
Diagrama de flujo de búsqueda bibliográfica y criterios de selección



Mínimo N° documento por autor de 5

WoS

Scopus



Apéndice D. Tablas de autores con mayor fuerza total de enlace para mínimo de documentos de 2, 3 y 5, en WoS y Scopus.

En las tablas 5, 6 y 7 se resaltan los autores con mayor fuerza total de enlace en el análisis de co-autoría, variando el parámetro del número mínimo de documentos por autor, considerando valores de 2, 3 y 5 respectivamente, tanto para WoS como para Scopus.

Tabla 5

Autores con mayor fuerza total de enlace para un mínimo número de documento por autor de 2

WoS		Scopus	
Autores	Fuerza total de enlace	Autores	Fuerza total de enlace
Zhang, Yu Shrike	72	Zhang, Yu Shrike	79
Gelinsky, Michael	37	Gelinsky, Michael	37
Lode, Anja	35	Lim, Khoon S	35
Ahlfeld, Tilman	32	Lode, Anja	35
Lim, Khoon S	31	Woodfield, Tim B. F	35
Woodfield, Tim B. F	31	Wang, L.	34
Groll, Juergen	30	Zhu, Kai	34
Zhu, Kai	29	Ahlfeld, Tilman	32
Tang, Guosheng	27	Li, W.	30
Luo, Zeyu	26	Groll, Juergen	29

Tabla 6

Autores con mayor fuerza total de enlace para un mínimo número de documento por autor de 3

WoS		Scopus	
Autores	Fuerza total de enlace	Autores	Fuerza total de enlace
Zhang, Yu Shrike	32	Zhang, Yu Shrike	45
Gelinsky, Michael	23	Gelinsky, Michael	26
Lode, Anja	23	Lode, Anja	26
Ahlfeld, Tilman	21	Lim, Khoon S	25
Lim, Khoon S	20	Woodfield, Tim B. F	25
Woodfield, Tim B. F	20	Ahlfeld, Tilman	23
Groll, Juergen	17	Zhu, Kai	20
Kilian, David	16	Zhang, J	19
Zhu, Kai	15	Kilian, David	18
Hooper, Gary J	13	Hooper, Gary J	17

Tabla 7

Autores con mayor fuerza total de enlace para un mínimo número de documento por autor de 5

WoS		Scopus	
Autores	Fuerza total de enlace	Autores	Fuerza total de enlace
Gelinsky, Michael	20	Gelinsky, Michael	20
Lode, Anja	20	Lode, Anja	20
Ahlfeld, Tilman	18	Ahlfeld, Tilman	18
Kilian, David	14	Zhang, Yu Shrike	15
Lim, Khoon S	8	Kilian, David	14
Woodfield, Tim B. F	8	Zhu, Kai	11
Zhu, Kai	7	Lim, Khoon S	9
Zhang, Yu Shrike	6	Woodfield, Tim B. F	9
Groll, Juergen	4	Khademhosseini, Ali	7
Wang, Ling	3	Li, J	7

Apéndice E. Perfiles generales de investigación

A continuación, la Tabla 8 desglosa los diez autores, organizaciones y países más destacados en la generación de documentos para el análisis de co-autoría, utilizando parámetros de restricción mínima en cada unidad de análisis.

Tabla 8

Perfiles generales de investigación de co-autoría para WoS y Scopus

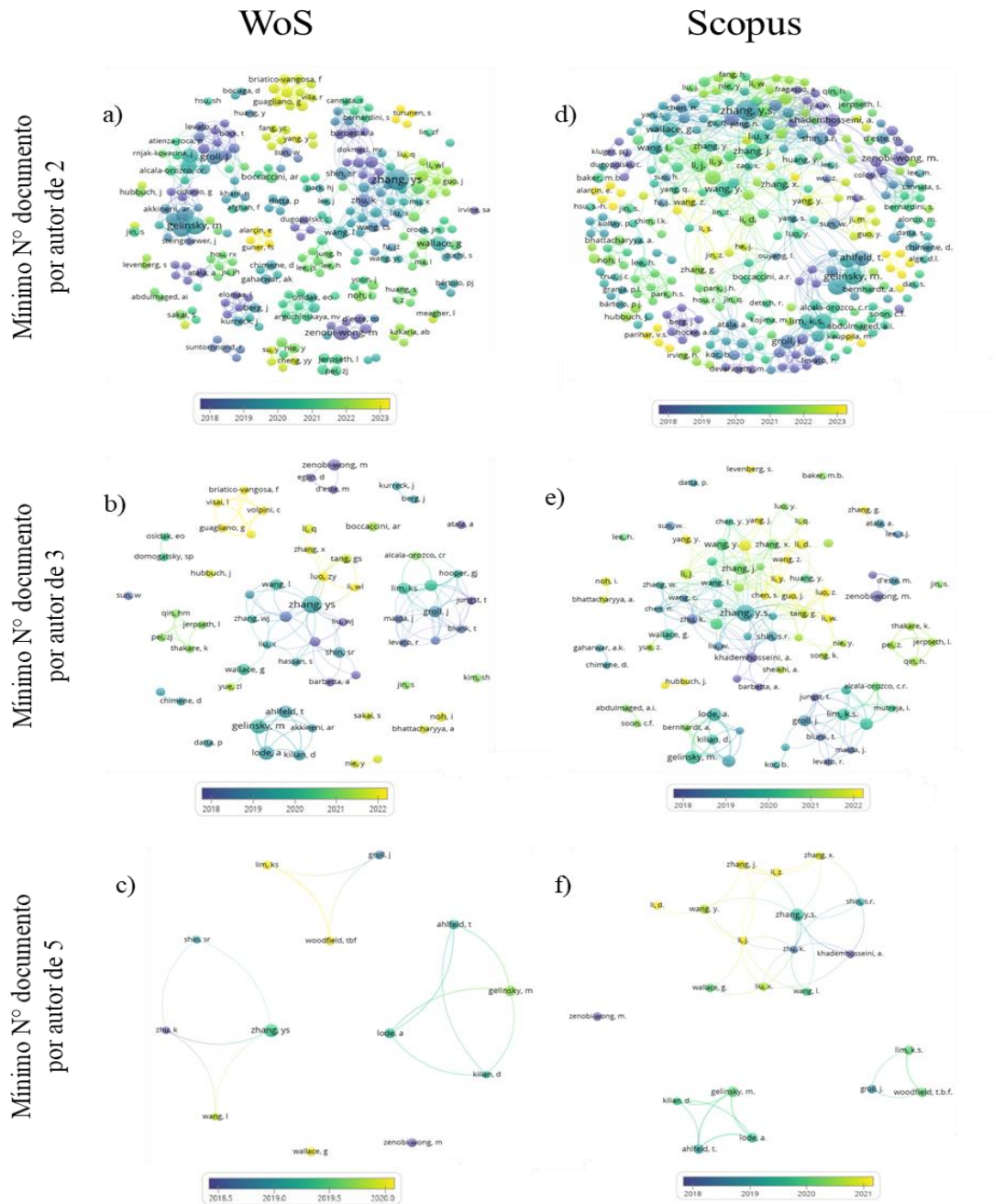
ITEM	BASE DE DATOS			
	WEB OF SCIENCE		SCOPUS	
	Nodo	# Doc	Nodo	#Doc
Autores	Zhang, Yu Shrike	13	Zhang, Yu Shrike	13
	Gelinsky, Michael	9	Gelinsky, Michael	9
	Lode, Anja	8	Lim, Khoon S	7
	Ahlfeld, Tilman	7	Lode, Anja	8
	Lim, Khoon S	6	Woodfield, Tim B. F	7
	Woodfield, Tim B. F	6	Wang, L.	5
	Groll, Juergen	6	Zhu, Kai	5
	Zhu, Kai	5	Ahlfeld, Tilman	7
	Tang, Guosheng	4	Li, W.	4
	Luo, Zeyu	4	Groll, Juergen	6
Organizaciones	Harvard University	18	Harvard University	14
	Konkuk University	5	Konkuk University	5
	Massachusetts Institute of Technology	4	Universidad de California, Los Ángeles	4
	Shanghai Jiao Tong University	6	Shanghai Jiao Tong University	3
	Universidad de California, Los Ángeles	3	Res. Institute for Bioscience and Biotechnology	2
	Res. Institute for Bioscience and Biotechnology	2	Beihang University	2
	Beihang University	2	Sapienza University Rome	3
	Sapienza University Rome	3	Zhejiang University	3
	Zhejiang University	7	Anqing Petrochemical Hospita	1
	Fudan University	6	Nanjing University	1
Países	USA	68	USA	84
	R. China	64	R. China	62
	Netherlands	12	South Korea	22
	South Korea	22	Australia	20
	Germany	33	Germany	38
	Mexico	5	Netherlands	12
	Australia	19	Italy	15
	Italy	14	Mexico	4
	Canada	8	Canada	11
	Norway	5	United Kingdom	13

Apéndice F. Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría de autores

La Figura 10 presenta una visualización de autores y el promedio de sus publicaciones en el análisis de coautoría, abarcando el periodo desde 2014 hasta 2023.

Figura 10

Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría: autores en WoS y Scopus



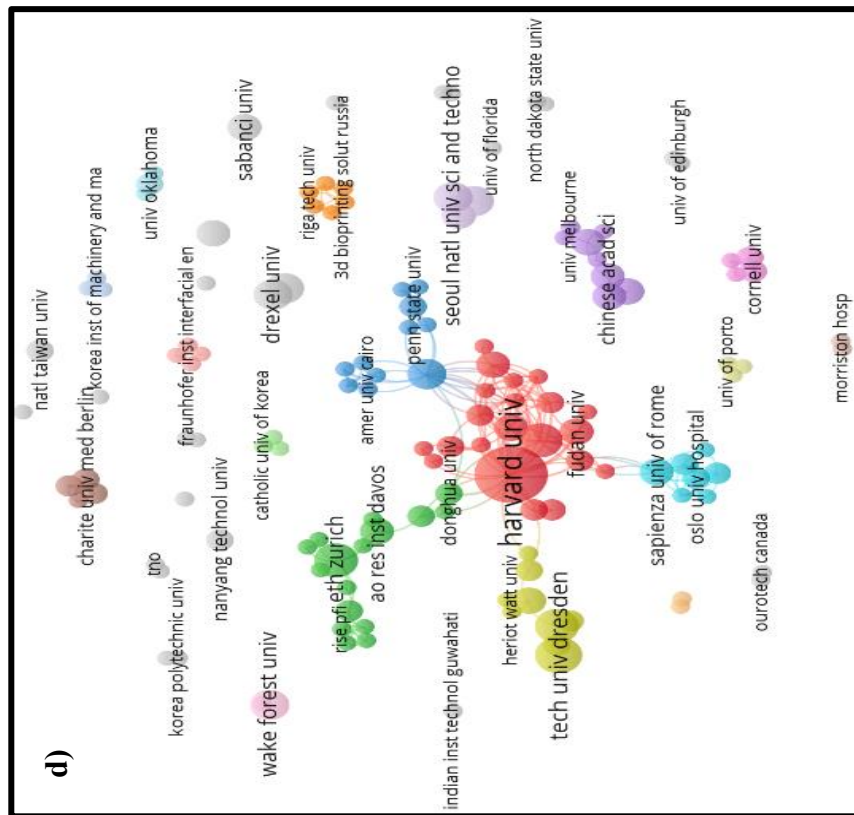
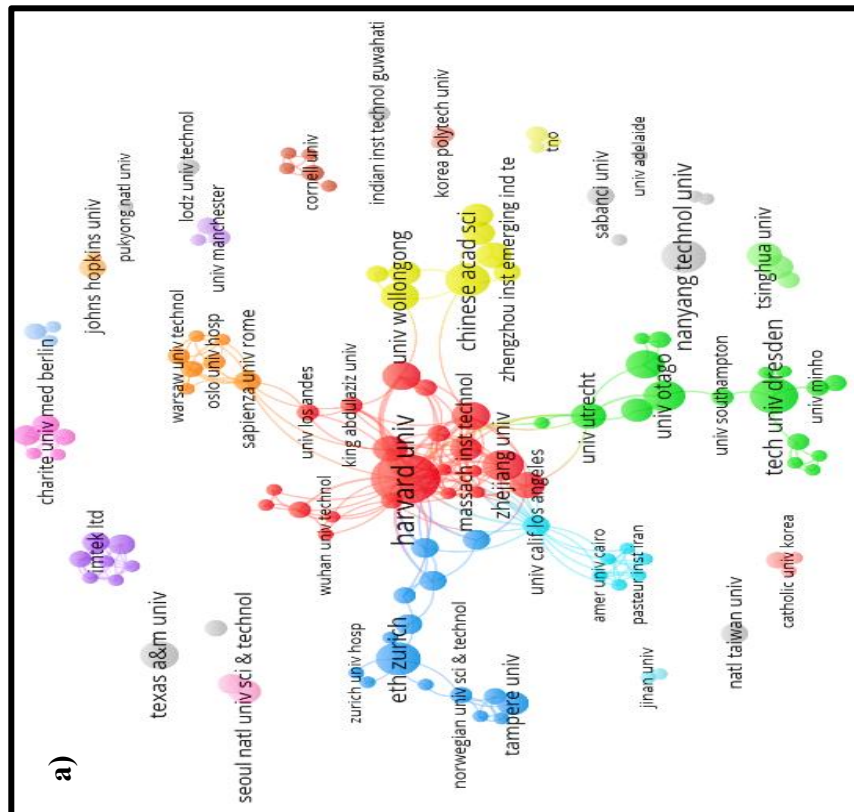
Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de documentos por autor para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 2 documentos, b) y e) Mínimo 3 documentos, c) y f) Mínimo 5 documentos.

Apéndice G. Co-autoría – Organizaciones

Mínimo N° doc. de 1 y citaciones de 50

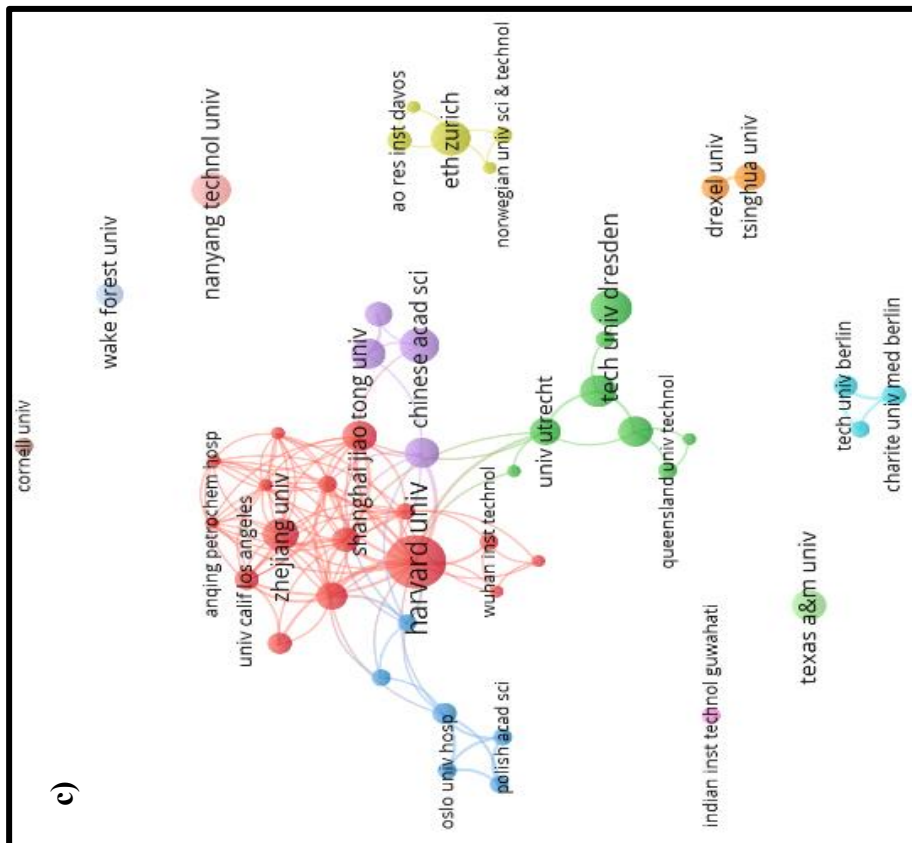
WoS

Scopus

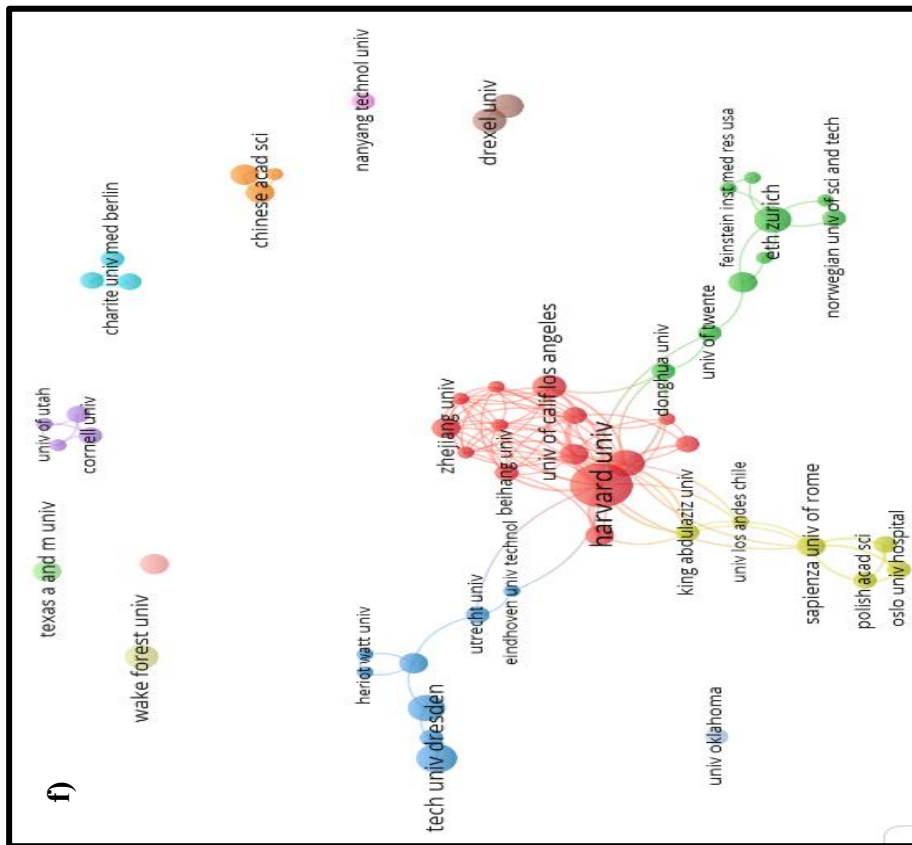


Mínimo N° doc. de 1 y citaciones de 150

WoS



Scopus



Apéndice H. Tabla de las organizaciones con mayor fuerza total de enlace

A continuación, se presenta la Tabla 9 en la que se resaltan las diez organizaciones con la mayor fuerza total de enlace en el análisis de coautoría, con el parámetro menos estricto (mínimo número de documentos por citación de 1, y un mínimo número de citaciones de una organización de 50) para WoS y Scopus.

Tabla 9

Organizaciones con mayor fuerza total de enlace

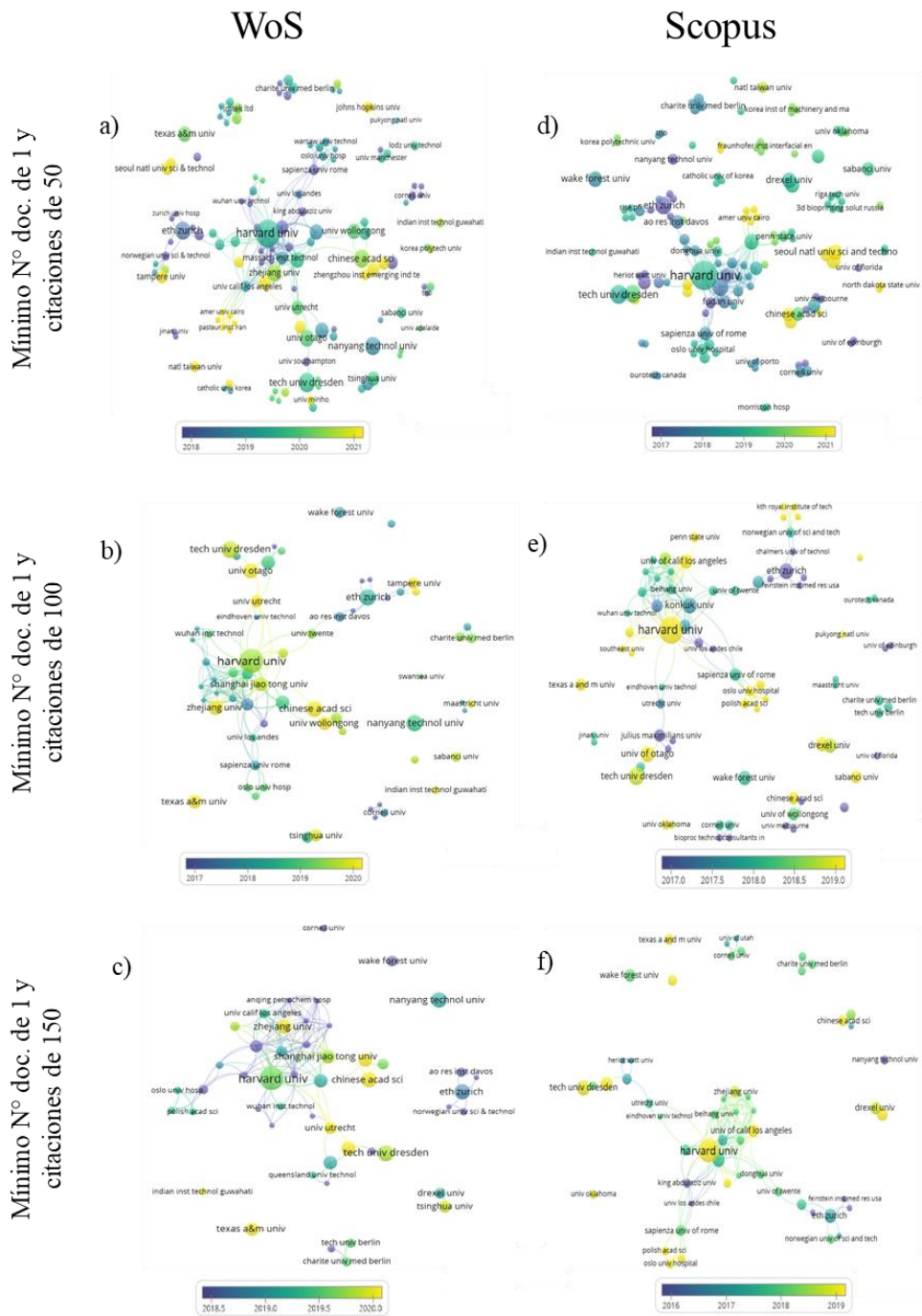
WoS		Scopus	
Organizaciones	Fuerza total de enlace	Organizaciones	Fuerza total de enlace
Harvard University	50	Harvard University	41
Konkuk University	25	Konkuk University	21
Massachusetts Institute of Technology	24	Universidad de California, Los Ángeles	21
Shanghai Jiao Tong University	21	Shanghai Jiao Tong University	18
Universidad de California, Los Ángeles	21	Res. Institute for Bioscience and Biotechnology	14
Res. Institute for Bioscience and Biotechnology	15	Beihang University	13
Beihang University	14	Sapienza University Rome	13
Sapienza University Rome	13	Zhejiang University	11
Zhejiang University	13	Anqing Petrochemical Hospita	10
Fudan University	12	Nanjing University	10

Nota: Datos obtenidos con un mínimo número de documentos por citación de 1, y un mínimo número de citaciones de una organización de 50.

Apéndice I. Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría de organizaciones

La Figura 11 presenta una visualización de las organizaciones y el promedio de sus publicaciones en el análisis de coautoría, desde el 2014 hasta 2023.

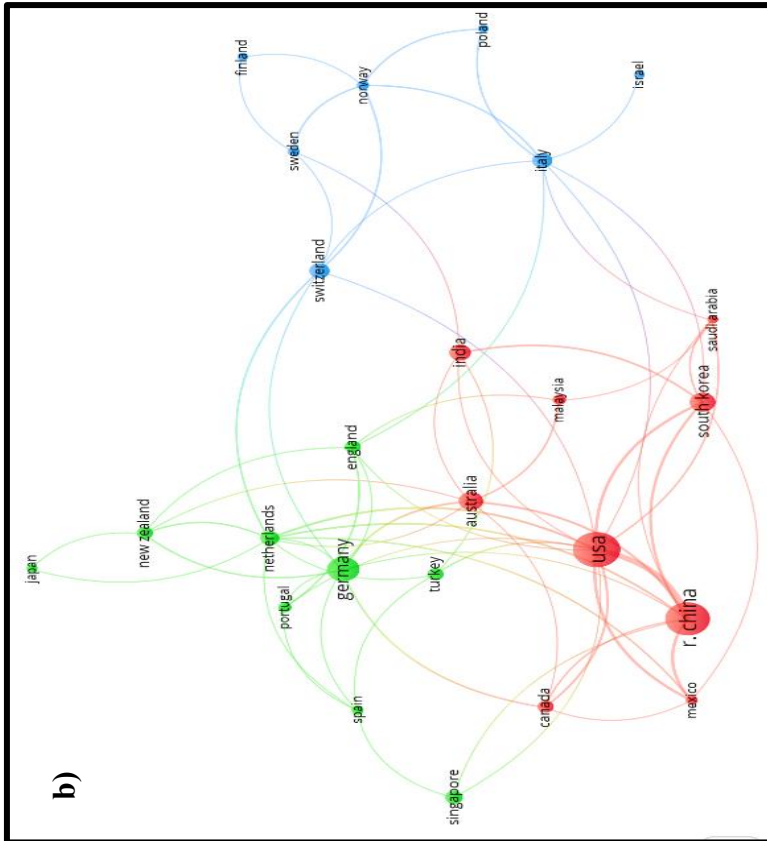
Figura 11
Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría: organizaciones en WoS y Scopus



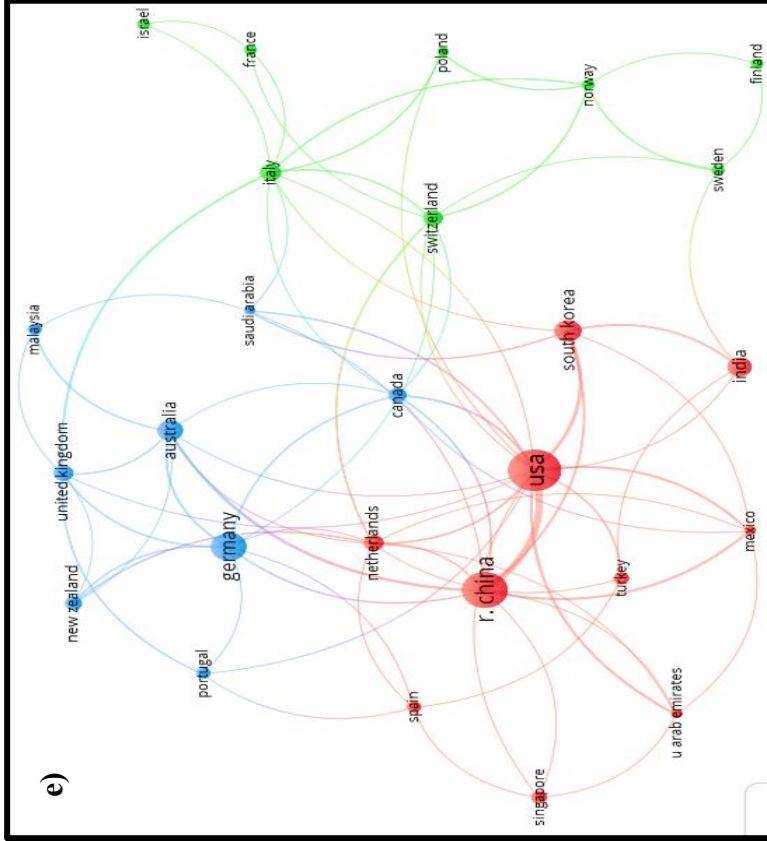
Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de citaciones por organización para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 50 citaciones, b) y e) Mínimo 100 citaciones, c) y f) Mínimo 150 citaciones.

Mínimo N° doc. por país de 4 y citaciones de 14

WoS

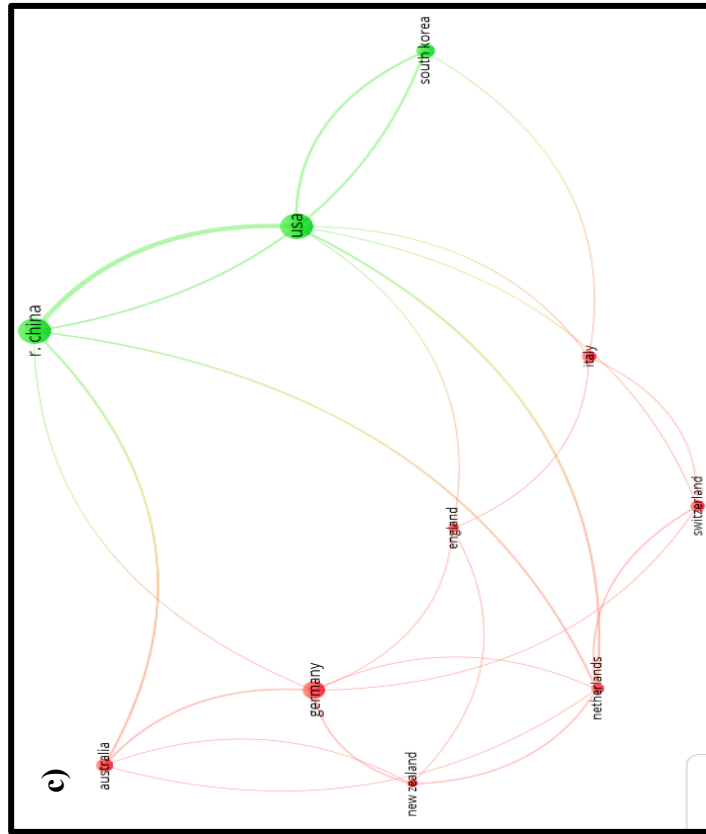


Scopus

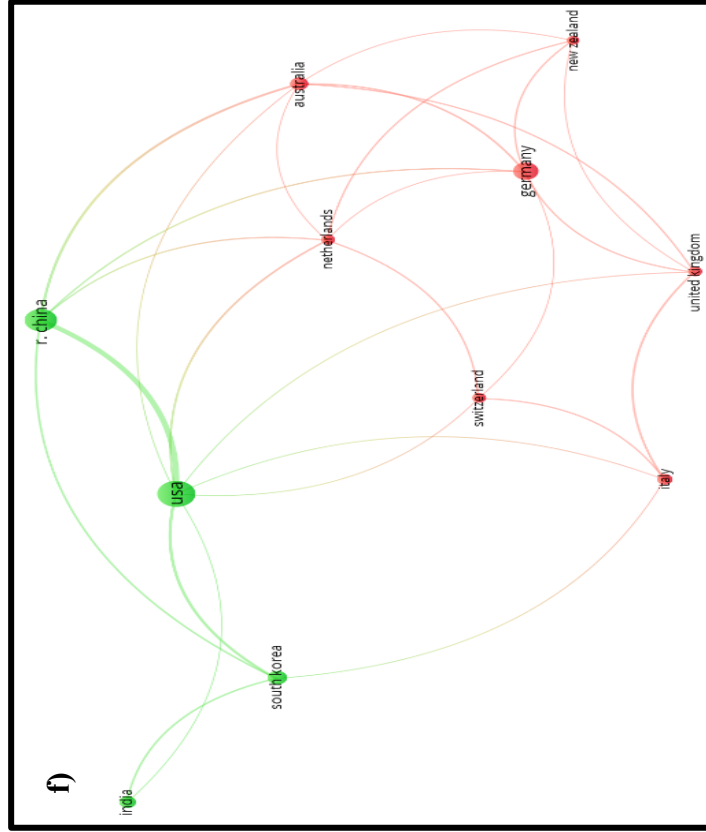


Mínimo N° doc. por país de 8 y citaciones de 327

WoS



Scopus



Apéndice K. Tabla de los países con mayor fuerza total de enlace

A continuación, se presenta la Tabla 10 en la que se resaltan los diez países con la mayor fuerza total de enlace en el análisis de coautoría, con el parámetro menos estricto (mínimo número de documentos por país de 1, y un mínimo número de citas por país de 0).

Tabla 10

Países con mayor fuerza total de enlace

WoS		Scopus	
Organizaciones	Fuerza total de enlace	Organizaciones	Fuerza total de enlace
USA	59	USA	60
R. China	46	R. China	45
Netherlands	20	South Korea	18
South Korea	18	Australia	17
Germany	16	Germany	17
Mexico	16	Netherlands	17
Australia	15	Italy	16
Italy	13	Mexico	13
Canada	9	Canada	12
Norway	9	United Kingdom	12

Nota: Datos obtenidos con un mínimo número de documentos por país de 1, y un mínimo número de citas por país de 0.

Apéndice L. Tablas con fuerzas de enlaces entre países de mayor fuerza de enlace total

A continuación, se exhiben las Tablas 11 y 12, que destacan a los diez países con mayor fuerza total de enlace en el análisis de coautoría con el parámetro menos restrictivo (número mínimo de documentos de 1 y citas de 0 por país), tanto para WoS como para Scopus. Se detallan los enlaces entre estos países y la fuerza asociada a cada uno de ellos.

Tabla 11

Fuerzas de enlace entre países de mayor fuerza de enlace total en WoS

	R. China	USA	Netherlands	South Korea	Germany	Mexico	Australia	Italy	Canada	Norway	Fuerza de enlace	Citaciones
R.China	---	22	3	4	1	5	4	---	2	---	41	2280
USA	22	---	4	5	---	5	---	1	3	---	40	1533
Netherlands	3	4	---	---	1	2	1	---	---	---	11	954
South Korea	4	5	---	---	---	1	---	1	---	---	11	847
Germany	1	---	1	---	---	---	3	---	2	---	7	408
Mexico	5	5	2	1	---	---	---	---	1	---	14	391
Australia	4	---	1	---	3	---	---	---	1	---	9	231
Italy	---	1	---	1	---	---	---	---	---	2	5	715
Canada	2	3	---	---	2	1	1	---	---	---	9	607
Norway	---	---	---	---	---	---	---	2	---	---	2	732

Tabla 12

Fuerzas de enlace entre países de mayor fuerza de enlace total en Scopus

	USA	R. China	South Korea	Australia	Germany	Netherlands	Italy	Mexico	Canada	United Kingdom	Fuerza de enlace	Citaciones
USA	---	22	6	1	---	3	1	4	3	1	41	6214
R. China	22	---	3	5	2	2	---	4	2	---	40	3823
South Korea	6	3	---	---	---	---	1	1	---	---	11	2277
Australia	1	5	---	---	3	1	---	---	1	2	13	1255
Germany	---	2	---	3	---	1	---	---	2	2	10	2278
Netherlands	3	2	---	1	1	---	---	1	---	---	8	817
Italy	1	---	1	---	---	---	---	---	1	3	6	887
Mexico	4	4	1	---	---	1	---	---	1	---	11	232
Canada	3	2	---	1	2	---	1	1	---	---	10	255
United Kingdom	1	---	---	2	2	---	3	---	---	---	8	1237

Apéndice M. Relación de co-autoría entre los países Colombia y Alemania

A continuación, en las Figuras 12 y 13 se evidencia la colaboración conjunta entre Colombia y Alemania en este campo de investigación utilizando el parámetro menos estricto (mínimo número de documentos por país de 1, y un mínimo número de citas por país de 0) para cada una de las bases de datos.

Figura 12

Co-autoría entre Colombia y Alemania para WoS

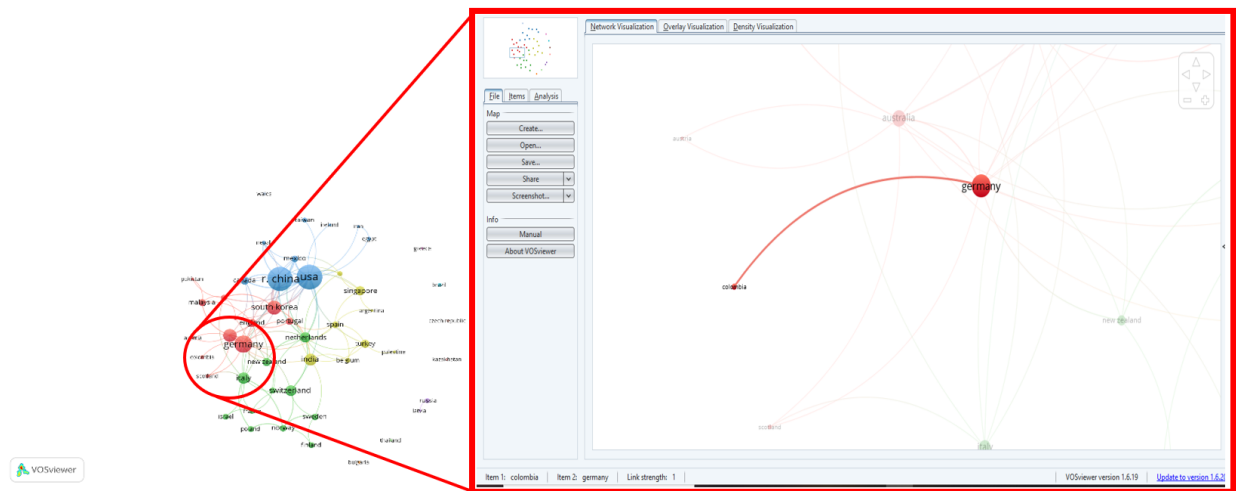
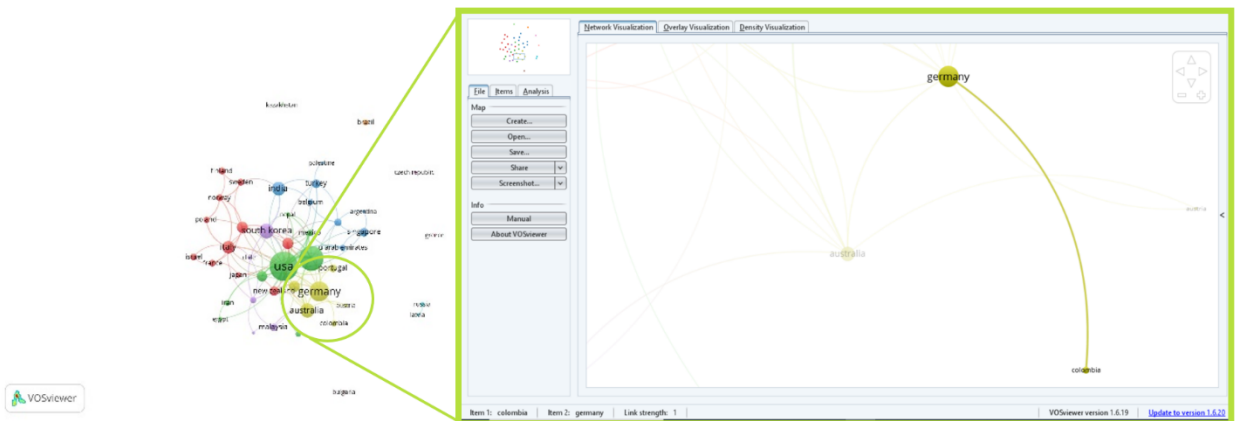


Figura 13

Co-autoría entre Colombia y Alemania para Scopus

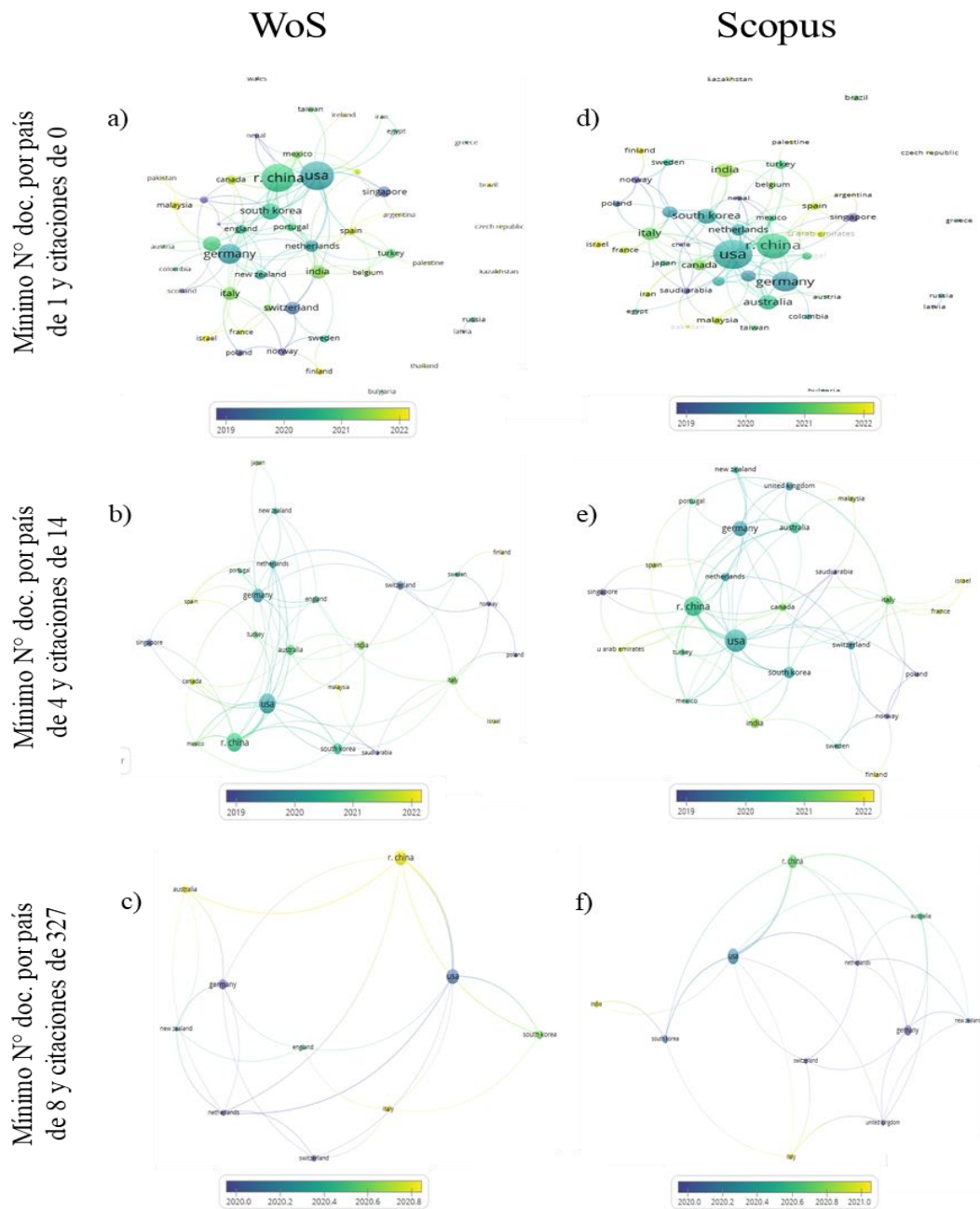


Apéndice N. Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría de países

La Figura 14 presenta una visualización de los países y el promedio de sus publicaciones en el análisis de coautoría, abarcando el periodo desde 2014 hasta 2023.

Figura 14

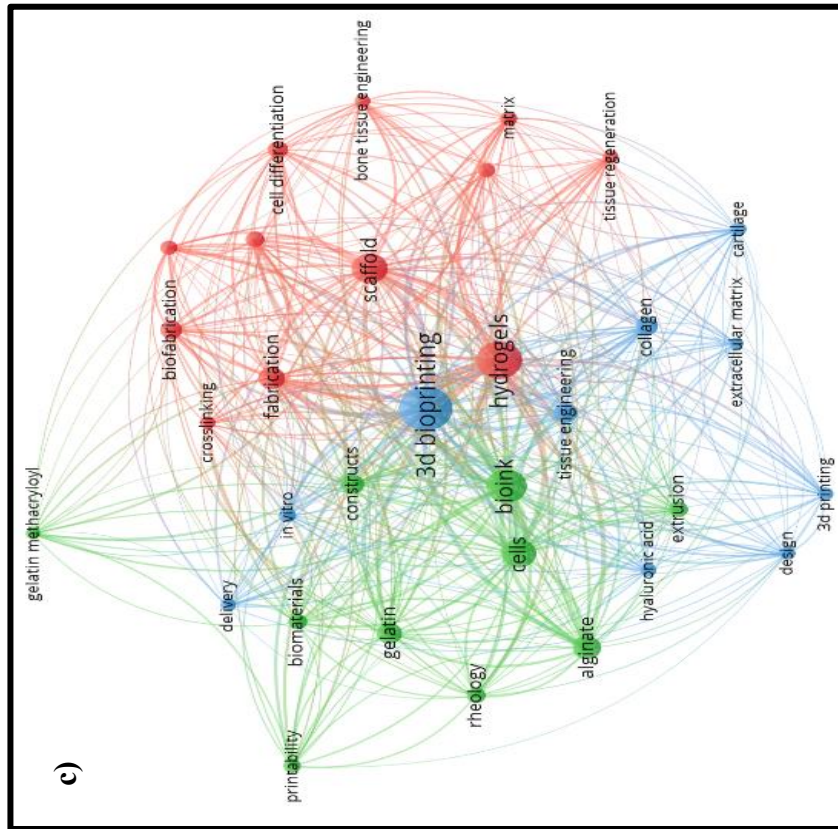
Mapas de sobreposición de análisis de co-autoría: países en WoS y Scopus



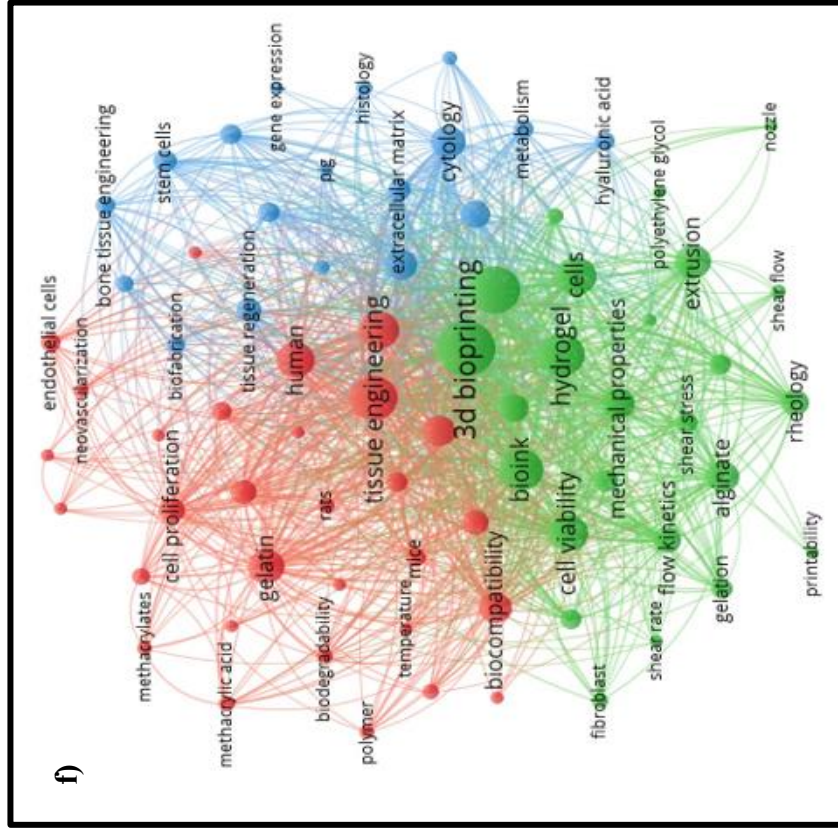
Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de documentos y citas por país para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 1 documento y 0 citas, b) y e) Mínimo 4 documentos y 14 citas, c) y f) Mínimo 8 documentos y 327 citas.

Mínimo N° ocurrencias de 14

WoS



Scopus



Apéndice P. Tablas de fuerzas de enlaces entre términos de mayor co-ocurrencia con todas las palabras claves

A continuación, en las Tablas 13 y 14 se presentan los diez términos de mayor co-ocurrencia con el parámetro menos estricto para esta unidad de análisis (mínimo número de co-ocurrencias de una palabra de 5), y sus fuerzas de enlace entre ellos, para cada base de datos.

Tabla 13

Fuerzas de enlace de términos con mínimo 5 co-ocurrencias en WoS

	3d bioprinting	hydrogels	bioink	scaffold	cells	fabrication	alginate	gelatin	tissue engineering	constructs	Fuerza de enlace
3d bioprinting	---	81	74	54	40	32	36	26	29	21	393
hydrogels	81	---	55	44	31	25	28	21	18	16	319
bioink	74	55	---	33	33	13	28	18	15	13	282
scaffold	54	44	33	---	25	20	12	9	11	9	217
cells	40	31	33	25	---	16	15	14	12	12	198
fabrication	32	25	13	20	16	---	8	9	6	11	140
alginate	36	28	28	12	15	8	---	12	7	4	150
gelatin	26	21	18	9	14	9	12	---	5	7	121
tissue engineering	29	18	15	11	12	6	7	5	---	2	105
constructs	21	16	13	9	12	11	4	7	2	---	95

Tabla 14

Fuerzas de enlace de términos con mínimo 5 co-ocurrencias en Scopus

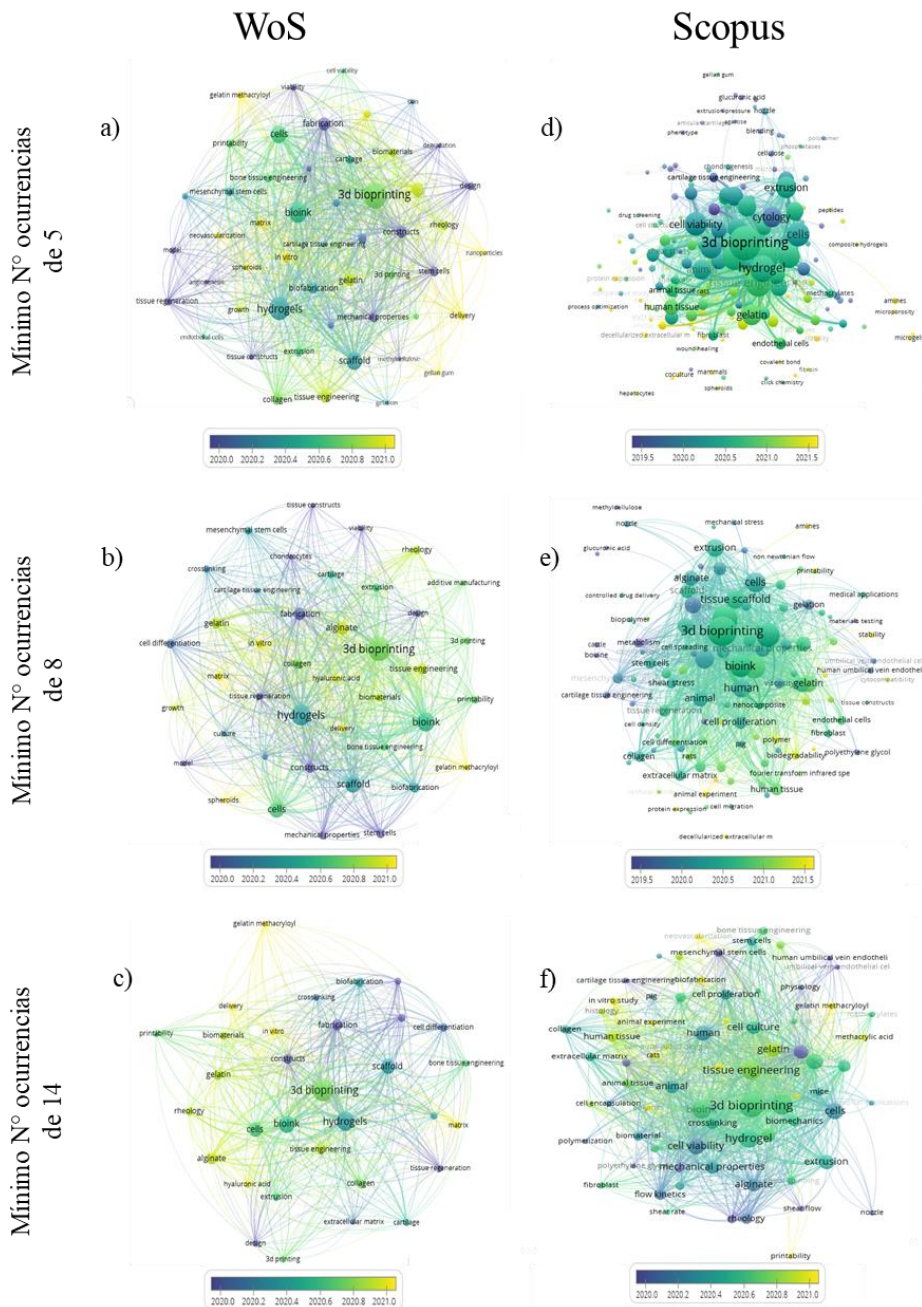
	3d bioprinting	3d printing	tissue engineering	hydrogel	bioink	cell viability	cells	tissue scaffold	human	gelatin	Fuerza de enlace
3d bioprinting	---	192	166	163	144	122	128	124	117	99	1255
3d printing	192	---	141	128	105	91	103	116	88	77	1041
tissue engineering	166	141	---	105	90	73	94	110	79	75	933
hydrogel	163	128	105	---	95	86	85	76	74	69	881
bioink	144	105	90	95	---	78	69	66	73	21	741
cell viability	122	91	73	86	78	---	63	58	73	47	691
cells	128	103	94	85	69	63	---	69	53	51	715
tissue scaffold	124	116	110	76	66	58	69	---	66	56	741
human	117	88	79	74	73	73	53	66	---	49	672
gelatin	99	77	75	69	21	47	51	56	49	---	544

Apéndice Q. Mapas de sobreposición de análisis de co-ocurrencia de términos con todas las palabras claves

En la Figura 15 se muestra los términos de mayor co-ocurrencia y el promedio de sus apariciones en el análisis de co-ocurrencia, abarcando el periodo desde 2014 hasta 2023.

Figura 15

Mapas de sobreposición análisis de co-ocurrencia incluyendo todas las palabras claves del documento en WoS y Scopus



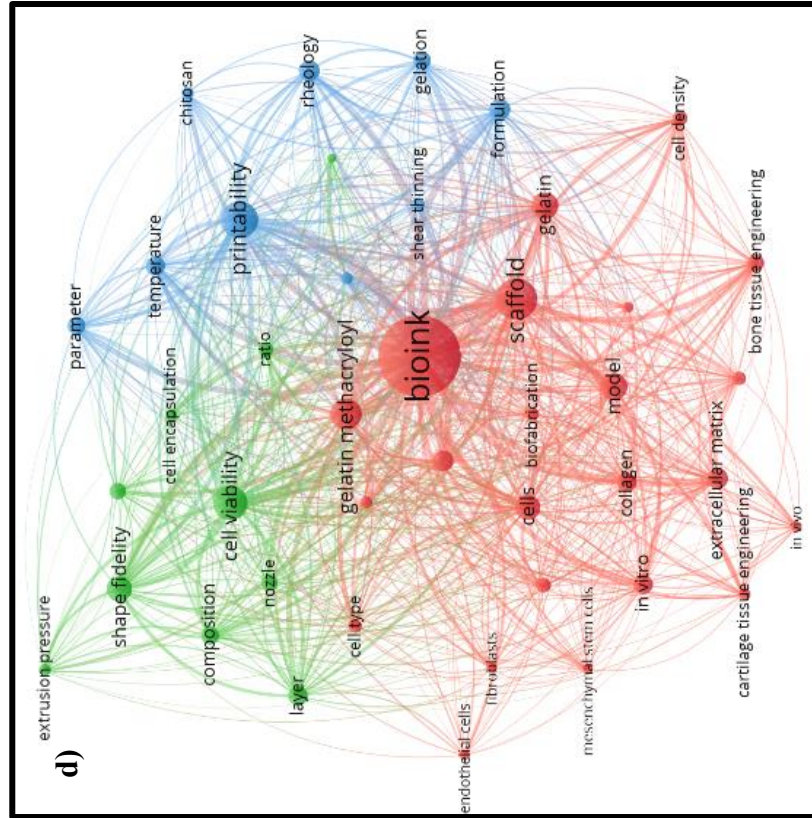
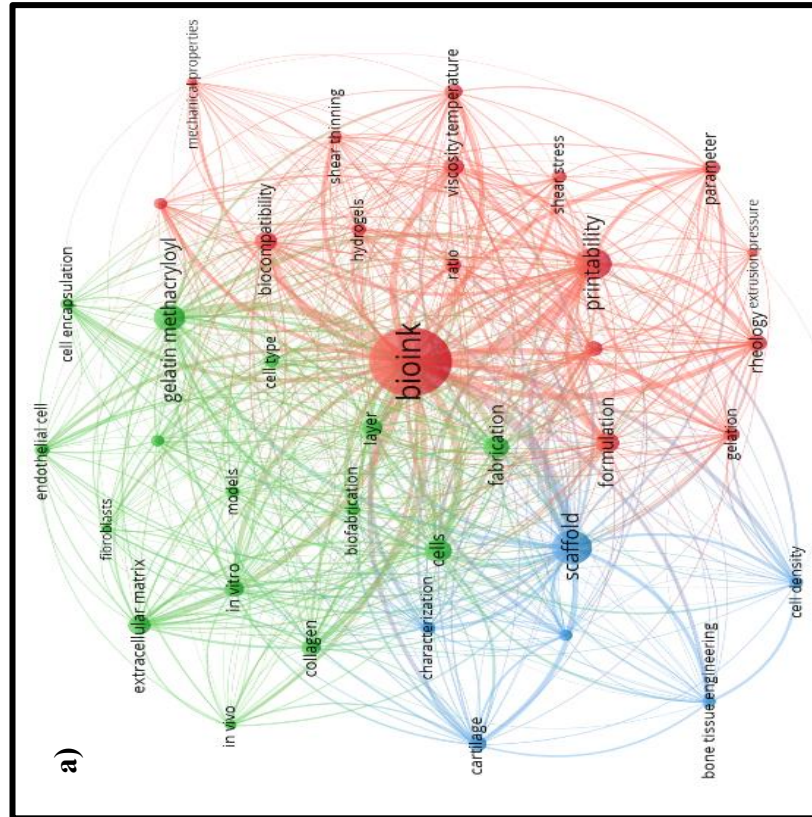
Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de ocurrencias de cada palabra para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 5 ocurrencias. b) y e) Mínimo 8 ocurrencias, c) y f) Mínimo 14 ocurrencias.

Apéndice R. Co-ocurrencia: Títulos y resúmenes

Mínimo N° de ocurrencias de 15

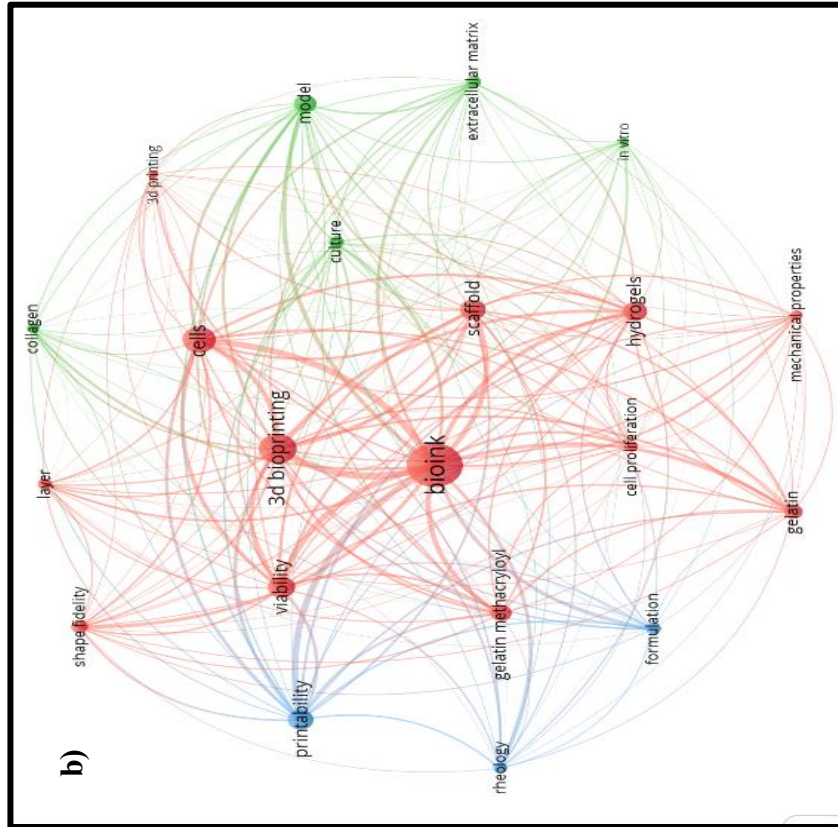
WoS

Scopus

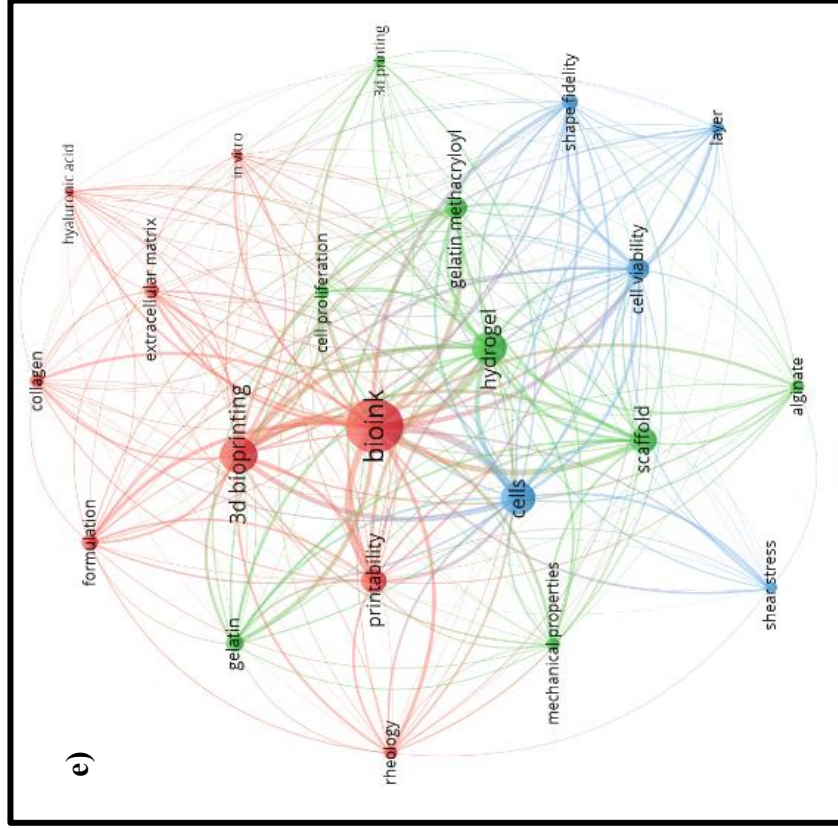


Mínimo N° de ocurrencias de 26

WoS

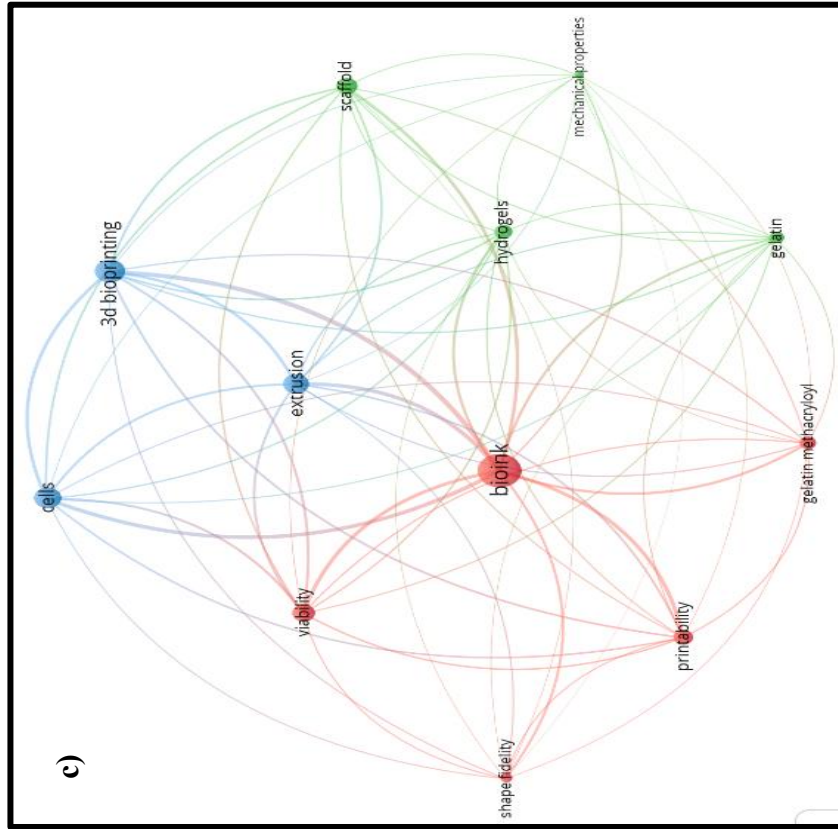


Scopus

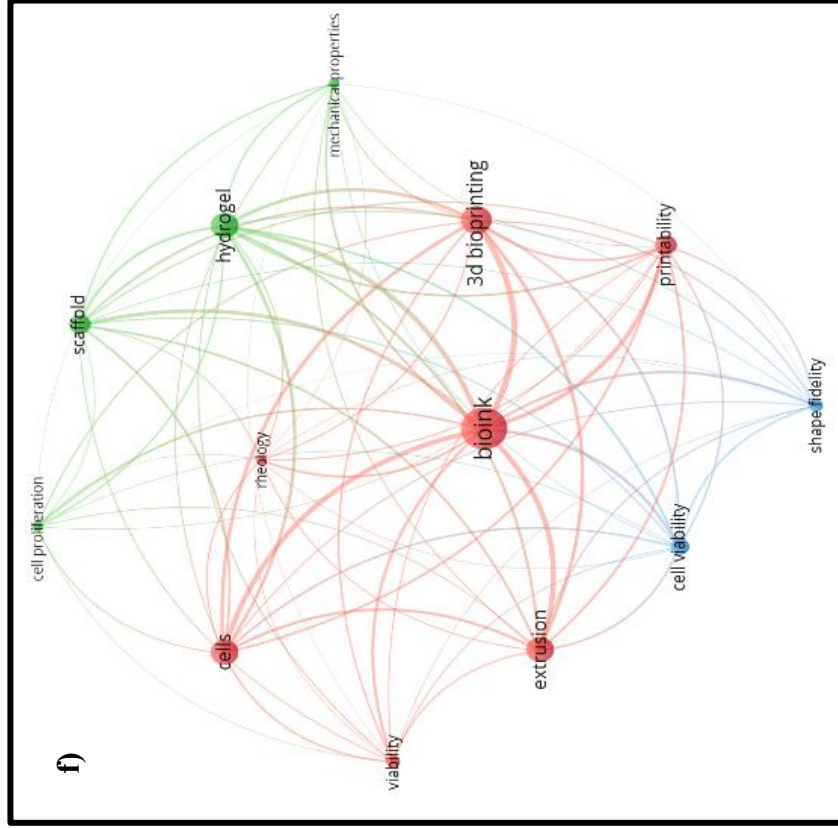


Mínimo N° de ocurrencias de 40

WoS



Scopus

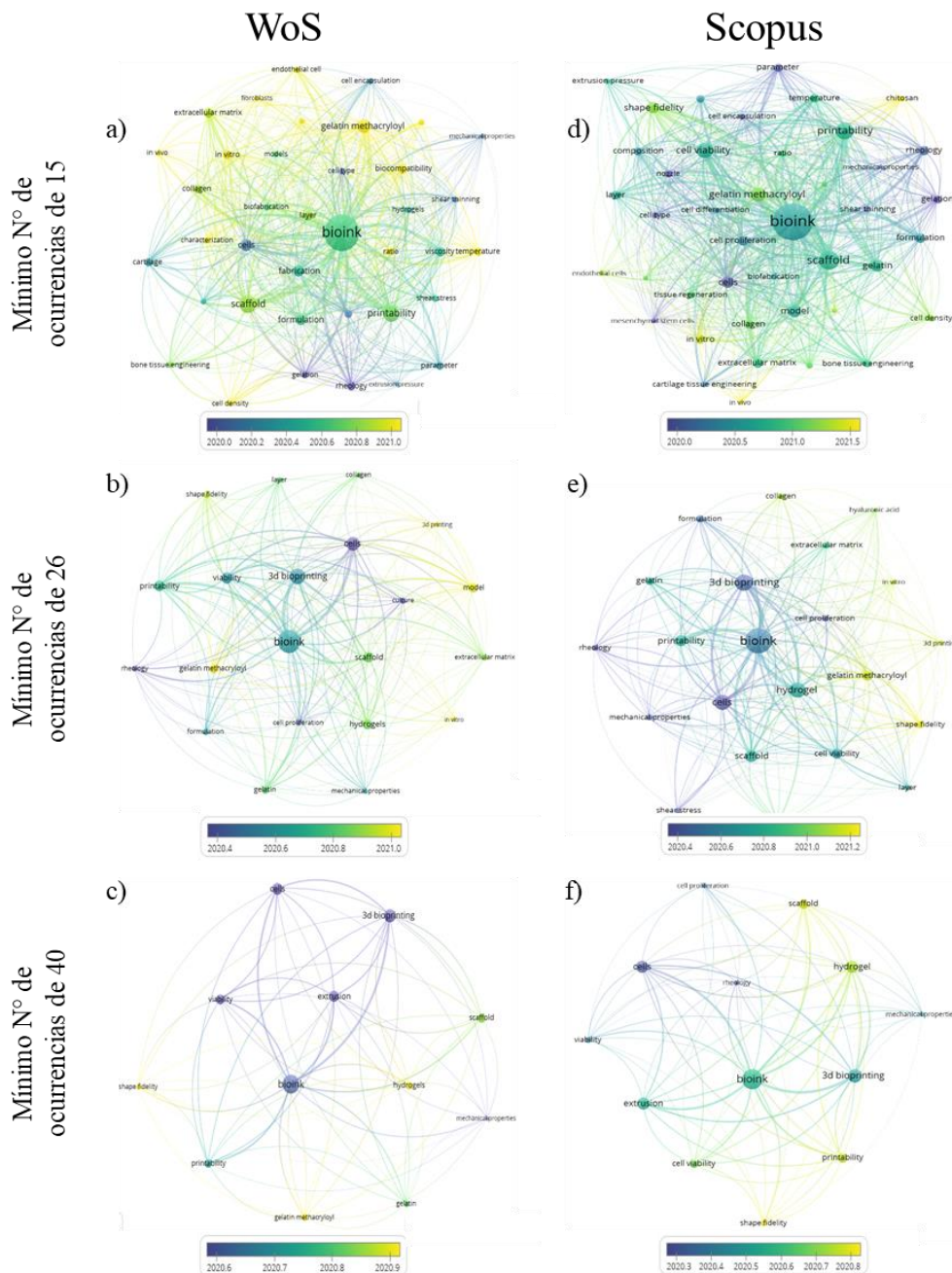


Apéndice S. Mapas de sobreposición de análisis de co-ocurrencia de términos de títulos y resúmenes

En la Figura 16 se muestra los términos de mayor co-ocurrencia y el promedio de sus apariciones en el análisis de co-ocurrencia de palabras clave de títulos y resúmenes, desde el 2014 hasta 2023.

Figura 16

Mapas de sobreposición de análisis de co-ocurrencia incluyendo palabras clave: título y resumen en WoS y Scopus



Nota: Análisis de acuerdo con el mínimo número de ocurrencias de cada palabra para WoS y Scopus, respectivamente: a) y d) Mínimo 15 ocurrencias. b) y e) Mínimo 26 ocurrencias, c) y f) Mínimo 40 ocurrencias.