

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS



***CARACTERIZACIÓN BIBLIOMÉTRICA DE LA PRODUCCIÓN
CIENTÍFICA SOBRE IMPRESIÓN 3D DE ALIMENTOS***

**AFE a Tesis presentada a la Universidad de Chile para optar al
grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos Y Memoria para
optar al Título de Ingeniero en Alimentos por:**

Marcelo Beltrán González

**Director/a de Tesis: Roberto Lemus
Director/a de Tesis: Luis Puente**

Santiago-CHILE

Octubre 2024

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACIÓN DE AFE A TESIS DE MAGÍSTER.

Se informa a la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la AFE a Tesis de Magíster y Memoria de Título presentada por el candidato

Marcelo Beltrán González

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de AFE a Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos área de especialización (si corresponde), en el examen público rendido el día

Director de Tesis:

Roberto Lemus M

Luis Puente D

Comisión Evaluadora de Tesis:

Gipsy Tabilo

Patricio Orellana

Jaime Ortiz V

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Enfoque de Revisión Bibliográfica.....	4
3.2. Impresión 3D.....	16
3.3. Tecnologías de Impresión.....	19
4. OBJETIVOS.....	22
4.1. Objetivo General.....	22
4.2. Objetivos Específicos.....	22
5. MATERIALES Y METODOS.....	23
5.1. Definición del objetivo y alcance del estudio bibliométrico.....	24
5.2. Elección de técnicas de análisis bibliométrico.....	24
5.3. Recolección de la información bibliográfica.....	25
5.4. Análisis bibliométrico.....	26
5.5. Softwares.....	26
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
6.1. Análisis de Rendimiento.....	29
6.2. Mapeo Científico.....	45
6.3. Técnicas de Enriquecimiento:.....	56
7. CONCLUSIÓN.....	66
8. REFERENCIAS.....	67
9. ANEXO.....	71
9.1. Información bibliométrica adicional generada por software Bibliometrix:.....	71
9.2. Información bibliométrica adicional generada por software VOSviewer.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distintas medidas de centralidad. Obtenida de (Isherwood & Coetzee, 2011).....	13
Figura 2. Diferencia entre procesos de manufactura aditiva y sustractiva	16
Figura 3. Cadena de procesos de impresión 3D (Gebhardt, 2011)	17
Figura 4. Diagrama de una impresora 3D de alimento por extrusión (Nachal et al., 2019).....	18
Figura 5. Diagrama del proceso de impresión de alimentos 3D por extrusión y ejemplos (a) Formulación de pasta, (b) Puré en base a cerdo (c) masa de pizza. Adaptado de (Godoi et al., 2016).....	20
Figura 6. Diagrama tecnologías impresión aglutinante y sinterizado laser selectivo (Mantihal et al., 2020).	21
Figura 7. Diagrama resumen del proceso de bio-impresión (Godoi et al., 2016).....	21
Figura 8. Flujo de trabajo análisis bibliométrico.	23
Figura 9. Número de publicaciones y publicaciones acumuladas anualmente.	29
Figura 10. Distribución de publicaciones según países incluyendo SCP y MCP (países con al menos 10 publicaciones por país y Chile).	30
Figura 11. Mapa de países con al menos una publicación en impresión 3D de alimentos.	31
Figura 12. Ley de Lotka.....	36
Figura 13. Palabras claves elegidas por los autores con mayor frecuencia.....	42
Figura 14. Palabras más frecuentes bajo KeywordPlus.	44
Figura 15. Red de colaboración de países en impresión 3D de alimentos (países con al menos 5 publicaciones).....	45
Figura 16. Red de colaboración de instituciones en impresión 3D de alimentos (Instituciones con al menos 5 publicaciones).	47
Figura 17. Red de colaboración de autores en impresión 3D de alimentos (autores con al menos 3 publicaciones).....	49
Figura 18. Red de colaboración de autores chilenos en impresión 3D de alimentos.....	50
Figura 19. Densidad de co-ocurrencia de palabras claves de autores en impresión 3D de alimentos. (Al menos 5 co-ocurrencias).....	51
Figura 20. Palabras más frecuentes entre los años 2014-2023.	52

Figura 21. Red de análisis de citas de documentos sobre impresión 3D de alimentos. (Publicaciones con al menos 20 citas).....	53
Figura 22. Red de análisis de citas de documentos sobre impresión 3D de alimentos. (Toda la base de datos)	54
Figura 23. Red de análisis de citas de autores sobre impresión 3D de alimentos. (Autores con al menos 4 publicaciones y al menos 5 citas).....	55
Figura 24. Mapeo temático palabras claves de autor.....	56
Figura 25. (a). Clúster representativo de temáticas motoras.	57
(b) Clúster representativo de temáticas base.	57
Figura 26. Mapeo temático palabras claves de autor, con agrupación por sinónimos.	58
Figura 27. Tendencia de palabras clave por año.....	63
Figura 28. Evolución temática	64
Figura 29. Mapa de estructura conceptual	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los principales métodos de revisión. (Adaptada de (Donthu et al., 2021).....	6
Tabla 2. Métricas para el análisis de rendimiento, adaptada de (Donthu et al., 2021)	8
Tabla 3. Resumen de técnicas para el mapeo científico adaptado de (Donthu et al., 2021b).....	11
Tabla 4. Visión general de datos utilizados en el análisis bibliométrico.....	27
Tabla 5. Principales 20 instituciones con publicaciones impresión 3D de alimentos.....	32
Tabla 6. 10 revistas con más publicaciones en el área de impresión 3D de alimentos.	33
Tabla 7. 10 autores relevantes en impresión 3D de alimentos.	35
Tabla 8. 5 documentos con mayor número de citas totales.....	37
Tabla 9. 5 documentos con mayor número de citas locales.....	39
Tabla 10. Documentos representativos de los clústeres temáticos.	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Gráfico de 3 campos, Autores-Referencias-Keywords	71
Anexo 2. Ley de Bradford	72
Anexo 3. Producción de fuentes en el tiempo	73
Anexo 4. Producción de autores en el tiempo (10 autores con más publicaciones).....	74
Anexo 5. Espectroscopia de referencias	75
Anexo 6. Wordcloud (Palabras claves de autor)	76
Anexo 7. TreeMap palabras claves autor.....	77
Anexo 8 frecuencia de palabras claves en el tiempo (10 palabras más recurrentes)	78
Anexo 9. Tendencia de los temas en base palabras claves.....	79
Anexo 10. Tabla Co-ocurrencia de palabras claves con métricas de red.....	80
Anexo 11. Evolución temática en impresión 3D de alimentos.	82
Anexo 12. Mapa de colaboración	83
Anexo 13 Análisis de Co-autoría, unidad de análisis autores, mínimo 5 documentos y 0 citas.97 autores presentes, 48 en red.	84
Anexo 14. Análisis de Co-autoría, unidad de análisis organizaciones, mínimo 5 documentos y 0 citas.98 instituciones presentes, 82 en red.....	85
Anexo 15 Análisis de Co-autoría, unidad de análisis países, mínimo 5 documentos y 0 citas.49 países presentes, 48 en red.....	86
Anexo 15 Análisis de Co-ocurrencia, unidad de análisis todas las palabras claves (keywordplus y de autor), mínimo 5 co-ocurrencias. 450 palabras claves en red.	87
Anexo 16 Análisis de Co-ocurrencia, unidad de análisis palabras claves de autor, mínimo 5 co- ocurrencias. 136 palabras claves presentes 135 en red.	88
Anexo 17 Análisis de Co-ocurrencia, unidad de análisis keywordplus, mínimo 5 co-ocurrencias. 291 palabras claves presentes.....	88
Anexo 18 Análisis de citas, unidad de análisis documentos, mínimo 20 citas. 416 documentis presentes, 293 en red.....	90
Anexo 19 Análisis de citas, unidad de análisis fuentes, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 53 fuentes, 51 en red.	91

Anexo 20 Análisis de citas, unidad de análisis autores, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 97 autores, 94 en red.	92
Anexo 21 Análisis de citas, unidad de análisis organizaciones, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 98 organizaciones.	93
Anexo 22 Análisis de citas, unidad de análisis países, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 49 países.	94
Anexo 23 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis documentos, mínimo de citas 20. Documentos 416, 391 en red.	95
Anexo 24 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis fuentes, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 53 fuentes.	96
Anexo 25 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis autores, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 97 autores.	97
Anexo 26 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis organizaciones, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 98 instituciones.	98
Anexo 27 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis países, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0.	99
Anexo 28 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis países, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0.	100
Anexo 29 Analisis Co-citas, unidad de análisis citas referenciadas, mínimo citas referenciadas 20. Citas referenciadas 204.	101
Anexo 30 Analisis Co-citas, unidad de análisis fuentes citadas, mínimo citas de una fuente 20. 470 fuentes.	102
Anexo 31 Análisis Co-citas, unidad de análisis autores citados, mínimo citas de un autor 20. 318 autores.	103

1. RESUMEN

La impresión 3D de alimentos es una tecnología que puede revolucionar el procesamiento de alimentos y desarrollo de productos debido a sus múltiples ventajas. Los documentos de investigación sobre la impresión 3D de alimentos datan de y desde entonces ha aumentado su cantidad exponencialmente. En este trabajo se recopilaron y analizaron documentos científicos relacionados a la impresión 3D de alimentos. Los datos fueron recogidos y analizados con los softwares VOSViewer (v1.6.20) y Bibliometrix (2023.12.0) con el fin de conocer la tendencia de publicación anual, autores contribuyentes, países, instituciones, revistas y la relación de estos parámetros. Con un total de 1301 documentos analizados se determinó mediante métricas de rendimiento, técnicas de mapeo científico y de enriquecimiento, la tendencia de crecimiento a lo largo de los años, identificando a China como el país más productivo con el autor PhD. Min Zhang, académico de la universidad de Jiangnan, como el más influyente tanto por número de publicaciones, citas totales y finalmente índices *h* y *g*. Revistas como *Food Hydrocolloids* y *Journal of Food Engineering* son las idóneas para publicar documentos relacionados a la impresión 3D de alimentos. Así también se relacionaron los parámetros anteriormente identificando redes de co-autoría, co-ocurrencia, citas y clusters temáticos. Para todos los análisis se evalúa el caso de la investigación nacional para proporcionar una perspectiva que permita a los científicos locales guiar su investigación en base a los hallazgos obtenidos en este estudio.

ABSTRACT

3D food printing is a technology that can revolutionize food processing and product development due to its multiple advantages. Research papers on 3D food printing have been increasing exponentially since the first publications on the topic. This study collected and analyzed scientific documents related to 3D food printing. The data were gathered and analyzed using VOSViewer (v1.6.20) and Bibliometrix (2023.12.0) software to understand the annual publication trend, contributing authors, countries, institutions, journals, and the relationships between these parameters.

With a total of 1301 documents analyzed, performance metrics, scientific mapping techniques, and enrichment techniques were used to determine the growth trend over the years. China was identified as the most productive country, with Dr. Min Zhang from Jiangnan University being the most influential author based on the number of publications, total citations, and h- and g-indices. Journals such as Food Hydrocolloids and Journal of Food Engineering were found to be ideal for publishing documents related to 3D food printing. The study also identified co-authorship networks, co-occurrence, citations, and thematic clusters. All analyses evaluated the national research case to provide a perspective that allows local scientists to guide their research based on the findings of this study.

2. JUSTIFICACIÓN

Alrededor del mundo la impresión 3D está siendo investigada ampliamente en el sector alimentario, especialmente la basada en extrusión, donde varios autores han trabajado e informado sus hallazgos en revistas académicas. Así mismo el trabajo bibliométrico está obteniendo una tendencia exponencial de académicos en varias partes del mundo pero el foco en Latinoamérica y especialmente en Chile no se ve representado de gran manera. Esto indica una gran disparidad en la capacidad de investigación entre la región y el resto del mundo.

La bibliometría permite comprender de manera integral y sistemática el estado de las tendencias de investigación y desarrollo. Es por esto por lo que juega un rol crucial en el proceso de toma de decisiones, ayudando a los investigadores a tener una perspectiva de los productos, procesos, consumidores y ayudar a inversionistas de investigación

Por lo tanto comprender el estado actual de la investigación en este campo permitirá determinar con certeza guiar su investigación en cuanto a temas que desarrollar junto a sus tendencias, autores influyentes con los cuales relacionarse, naciones e instituciones a las cuales se está desarrollando la investigación y así poder generar conocimiento para orientar futuras investigaciones y contribuciones en el campo de la impresión 3D de alimentos en un contexto global como nacional.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Enfoque de Revisión Bibliográfica

Existen distintas alternativas para la revisión sistemática de publicaciones sobre un tema. Entre ellas se destacan el análisis bibliométrico, el meta-análisis y la revisión sistemática de bibliografía (reviews)(Donthu et al., 2021b).

El análisis bibliométrico es una metodología de investigación que utiliza técnicas cuantitativas para evaluar la producción, difusión y el impacto que tiene la literatura científica la cual se basa en el estudio de tendencias y patrones de las publicaciones académicas. Esta metodología permite visualizar la estructura y la dinámica de un campo de investigación específico, considerando un gran número de documentos, utilizando métricas objetivas como lo son el número de citas, colaboración entre autores y frecuencia de palabras clave, entre otras (Donthu et al., 2021). Esto permite un acceso expedito a la identificación de autores, revistas y temas influyentes, así como el mapeo de conexiones entre estos elementos, entregando una visión integral del panorama académico, que ayuda a evaluar la relevancia y difusión de investigaciones particulares; identificar tendencias emergentes; y, apoyar la toma de decisiones estratégicas en la investigación y desarrollo científico (Zupic & Čater, 2015).

De una manera similar el meta-análisis es capaz de manejar grandes cantidades de literatura combinando estadísticamente los resultados de estudios cuantitativos para proporcionar un efecto más preciso sobre los resultados. Este tipo de estudio examina datos de múltiples estudios sobre el mismo tema para determinar tendencias agregando valor al proporcionar una evaluación cuantitativa de la relación entre variables (Hansen et al., 2022).

En esencia, el meta-análisis estima la fuerza general y la dirección de los efectos o relaciones entre estudios, así como también, la variabilidad en la distribución de estimaciones del tamaño de efecto que existe entre estudios y los factores involucrados (Donthu et al., 2021).

Por otro lado las revisiones sistemáticas de literatura tienen como objetivo localizar y sintetizar de manera exhaustiva la investigación que se relaciona con un tópico específico utilizando procedimientos organizados, transparentes y replicables en cada parte del proceso. Ejemplo de una buena revisión sistemática de literatura es la cual comienza con un marco conceptual cohesivo que ayuda a establecer los límites del alcance y que al mismo tiempo identifica los conceptos principales y sus relaciones. En este se deben describir explícitamente los procedimientos utilizados para buscar documentos potencialmente relevantes y establece claramente los criterios de inclusión o exclusión de estudios. Seguido se debe realizar una discusión detallada de los elementos principales en el marco que entrelaza los hallazgos de la investigación estudiada. Finalmente el documento debe finalizar con una presentación de las implicaciones claves, sugerencias para los próximos pasos o mejoras prácticas (Palmatier et al., 2018).

En la tabla 1 se realiza la comparación metodológica del análisis bibliométrico, el meta-análisis y las revisiones sistemáticas a través de distintos criterios que ayudan a los investigadores a tomar decisiones informadas respecto a la elección del método de revisión apropiado.

Por lo tanto, el uso de cualquiera de los tres métodos de revisión dependerá de los objetivos, cantidad y naturaleza de la literatura que se está revisando. Además, estos métodos son complementarios entre sí y ofrecen las respectivas ventajas a los académicos interesados (Donthu et al., 2021b).

Tabla 1. Comparación de los principales métodos de revisión. (Adaptada de (Donthu et al., 2021))

Tipo de Revisión	Objetivo	Apropiado	No apropiado	Alcance	Cantidad de datos	Análisis
Análisis Bibliométrico	<ul style="list-style-type: none"> Resume grandes cantidades de datos bibliométricos para presentar el estado del arte y las tendencias emergentes de un tema o campo de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando el alcance es amplio Cuando la cantidad de datos o publicaciones son muy grandes para una revisión manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando el objetivo de la revisión es específico. Cuando la cantidad de datos o publicaciones es manejable para una revisión manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Amplio 	<ul style="list-style-type: none"> Gran cantidad de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuantitativos (evaluación e interpretación). Cualitativos (Sólo interpretación).
Metaanálisis	<ul style="list-style-type: none"> Resume la evidencia empírica de la relación entre variables al descubrir relaciones no estudiadas en investigaciones existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando el objetivo de la revisión es resumir los resultados en lugar de involucrarse con el contenido que puede ser amplio o específico. Cuando la uniformidad es evidente entre los estudios en el ámbito científico. Cuando el número de estudios homogéneos es lo suficientemente alto 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los estudios en el ámbito son heterogéneos. Cuando el número de estudios homogéneos es relativamente bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> Amplio Específico 	<ul style="list-style-type: none"> Gran cantidad de datos Pequeña cantidad de datos, pero adecuados. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuantitativos (evaluación e interpretación).
Revisión sistemática de literatura	<ul style="list-style-type: none"> Resume y sintetiza los hallazgos de la literatura existente sobre un tema o campo de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando el objetivo de la revisión es específico. Cuando la cantidad de datos o publicaciones es manejable para una revisión manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando el alcance es amplio Cuando la cantidad de datos o publicaciones son muy grandes para una revisión manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Específico 	<ul style="list-style-type: none"> Pequeña cantidad de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cualitativos (Sólo interpretación).

3.1.1. Análisis Bibliométrico

3.1.1.1. Técnicas de análisis bibliométrico

Para los análisis bibliométricos las técnicas existentes se pueden clasificar en dos principales categorías (Donthu et al., 2021). La primera tiene relación con el “análisis de rendimiento”, el cual se enfoca en evaluar las contribuciones de los distintos elementos de investigación, mientras que la segunda categoría corresponde al “mapeo científico”, este se centra en visualizar y entender las relaciones entre los elementos de investigaciones. Finalmente las técnicas de enriquecimiento que corresponden principalmente a análisis de redes (Zupic & Čater, 2015). En conjunto estas técnicas proporcionan la información necesaria para comprender la calidad e impacto de las contribuciones individuales como las conexiones y relaciones más amplias dentro de un campo científico determinado y son complementarias a las dos principales.

3.1.1.2. Análisis de rendimiento

El análisis de rendimiento examina las contribuciones de las publicaciones en un campo determinado. Este es principalmente de tipo descriptivo y puede ser encontrado en la mayoría de las revisiones bibliográficas independiente del tipo de revisión que estas sean. Esto se debe a que es una práctica habitual y esperada en estos trabajos presentar el rendimiento de diferentes elementos de investigación como lo son, por ejemplo, cantidad de publicaciones, autores, instituciones, países, revistas entre otros (Donthu et al., 2021). Sin embargo, estos se presentan de una manera empírica para demostrar el estado del campo de investigación en vez de tener un enfoque analítico con las métricas de rendimiento.

Existe una amplia variedad de medidas del análisis del rendimiento, siendo las más prominentes el número de publicaciones y citas por año o por elemento de investigación, donde el número de publicaciones se traduce como un indicador de productividad en el área, mientras que las citas corresponden a una medida de impacto e influencia. En la tabla 2 se presentan las principales métricas utilizadas en el análisis de rendimiento con una breve descripción.

Tabla 2. Métricas para el análisis de rendimiento, adaptada de (Donthu et al., 2021)

Métricas	Técnica	Nomenclatura	Descripción
Relacionadas a la publicación	Publicaciones totales	TP	Número total de publicaciones en el campo de revisión.
	Numero de autores	NCA	Número total de autores que contribuyen en el campo de revisión.
	Publicaciones por un solo autor.	SA	Número total de publicaciones realizadas por autores únicos.
	Publicaciones con coautoría.	CA	Número total de publicaciones realizadas por equipo de autores.
	Número de años activos de publicaciones.	NAY	Número de años en los que se registra una publicación.
	Productividad por año de publicación.	PAY	Número total de publicaciones entre el número de publicaciones por año. $TP \div NAY$
Relacionadas a citas	Citas totales	TC	Número total de citas en el campo de revisión.
	Citas promedio	AC	Número promedio de citas (por publicación, año, periodo, etc.) en el campo de revisión.
Relacionadas tanto a publicación y a citas	índice de colaboración	CI	Extensión de la colaboración en el campo de revisión. $(NCA \div TP) \div TP$
	Coefficiente de colaboración	CC	Estandariza la extensión de la colaboración entre 0 y 1. $1 - (TP \div NCA)$
	Numero de publicaciones citadas	NCP	Número total de publicaciones citadas en el campo de revisión.
	Proporción de publicación citadas	PCP	Cociente entre el número de publicaciones totales y el total. $NCP \div TP$
	Citas por publicación citada	CCP	Número total de citas por número total de publicaciones citadas.
	Índice-h	<i>h</i>	<i>h</i> número de publicaciones citadas al menos <i>h</i> veces. (Medida de influencia).
	Índice-g	<i>g</i>	<i>g</i> número de publicaciones que han recibido al menos <i>g</i> ² citas. (Medida de impacto.)
Índice-i	<i>i (i-10, i-100)</i>	<i>i</i> número de publicaciones citadas al menos <i>i</i> veces.	

3.1.1.2.1. Science mapping

El mapeo científico (*Science mapping*) es un proceso genérico de análisis y visualización de campos de estudio que genera una representación visual y analítica de las relaciones entre conceptos, temas, autores, publicaciones u otros elementos dentro del ámbito científico (Zupic & Čater, 2015). Las técnicas de para el mapeo científico incluyen: análisis de citas, análisis de co-citas, acoplamiento bibliográfico, análisis de co-palabras y análisis de coautoría, entre otras, con el objetivo de resaltar patrones, tendencias potencialmente significativas y teorías de cambio científico que pueden orientar la exploración e interpretación de estructuras intelectuales visualizadas y patrones dinámicos.(Cobo et al., 2012)

- **Análisis de citas**

El análisis de citas es una técnica básica en el mapeo científico que se basa en la premisa de que las citas reflejan las conexiones de contenido entre publicaciones cuando una publicación cita a otra. En este análisis el impacto está determinado por el número de citas que recibe, por lo tanto, permite determinar las publicaciones más influyentes dentro del campo de revisión. Aunque existen diversas metodologías para determinar la importancia de las publicaciones en un campo de investigación, la medida más objetiva y directa de su impacto es su número de citas (Donthu et al., 2021).

- **Análisis de co-citas**

El análisis de co-citas se basa en la premisa de que publicaciones que se citan frecuentemente de manera conjunta abarcan temas similares. Este análisis permite a revelar como se estructura un campo de estudio y evidenciar temas subyacentes. El beneficio de utilizar este análisis es que además de encontrar las publicaciones más influyentes, se pueden descubrir conglomerados temáticos (*clúster*) que evidencian temas de estudio frecuentes. La desventaja de este análisis es que deja fuera de sus conglomerados temáticos a publicaciones que son recientes o de un nicho particular ya que se concentra en publicaciones altamente citadas (Donthu et al., 2021b).

- **Acoplamiento bibliográfico**

La premisa en la que se basa el acoplamiento bibliográfico es que dos publicaciones que comparten referencias son similares en su contenido. Este análisis se centra en la división de las publicaciones en conglomerados temáticos basados en referencias compartidas y se utiliza mejor dentro de un marco temporal específico (Zupic & Čater, 2015). A diferencia del análisis co-citas los conglomerados temáticos se forman en función de las publicaciones que las citan y, por lo tanto, las publicaciones recientes y de nicho pueden ganar visibilidad a través del acoplamiento bibliográfico.

- **Análisis co-palabras**

A diferencia de las técnicas anteriores, donde el foco estaba en la totalidad de la publicación o artículo, la unidad de análisis para este caso son las palabras. Esta técnica examina el contenido de la publicación, priorizando principalmente las palabras clave y en su defecto, títulos, *abstracts* e inclusive la publicación completa. De la misma manera, la premisa que se asume es que la aparición de ciertas palabras en dos publicaciones genera una relación entre ellas (Donthu et al., 2021).

- **Análisis de coautoría.**

El análisis de coautoría evalúa las interacciones entre académicos en un campo de investigación. Dado que la coautoría es una forma formal de colaboración entre académicos es importante comprender las relaciones de interacción entre ellos incluyendo elementos de afiliaciones con instituciones y países. Es de común conocimiento que la colaboración entre académicos puede dar como resultado mejoras sustanciales en el avance de un tema con contribuciones que generan una sinergia única de conocimientos, experiencias y enfoques enriqueciendo así a la comprensión y la profundidad de la investigación en un área específica.

Tabla 3. Resumen de técnicas para el mapeo científico adaptado de (Donthu et al., 2021b)

Técnica	Objetivo	Unidad de análisis	Datos requeridos
Análisis de Citas	Analizar las relaciones entre publicaciones identificando las publicaciones más influyentes en el campo de estudio.	Documentos, publicaciones	Autores Citas Títulos Journals DOI Referencias Bibliografía
Análisis co-citas	Analizar las relaciones entre las publicaciones citadas y entender el desarrollo fundacional de temas en un campo de estudio.	Documentos, publicaciones	Referencias Bibliografía
Acoplamiento bibliográfico	Analizar la relación entre publicaciones citadas y entender el desarrollo periódico o en un intervalo de tiempo en un campo de estudio.	Documentos, publicaciones	Autores Títulos Journals Revistas DOI Referencias
Análisis co-palabras	Explorar las relaciones existentes o futuras entre temas en un campo de estudio al centrarse en el contenido escrito de la propia publicación.	Palabras	Título Abstracts Autores Palabras clave Textos completos
Análisis de coautoría	Explorar las interacciones sociales y relaciones entre autores, afiliaciones, nacionalidades y así sus impactos en el desarrollo del campo de investigación.	Afiliaciones de los autores	Afiliación de los autores Instituciones Nacionalidades

3.1.1.3. Técnicas de Enriquecimiento

En adición a las técnicas bibliométricas anteriormente nombradas se pueden utilizar complementos para enriquecer los resultados de las técnicas de análisis. Se sugieren tres técnicas de enriquecimiento fundamentadas en el análisis de redes, agrupamiento y visualización (Donthu et al., 2021)

3.1.1.3.1. Análisis de Redes

Las métricas de red se utilizan para enriquecer la evaluación del análisis bibliométrico. Estas brindan información sobre la importancia relativa de los elementos de investigación que no necesariamente se reflejan a través de publicaciones o citas. Para proporcionar mayor claridad se representan en la figura 1 varios de los ejemplos de métricas de red como lo son, *degree of centrality*, *betweenness centrality*, *eigenvector centrality*, *closeness centrality* y *PageRank* las cuales además serán brevemente explicadas a continuación:

- *Degree of centrality*: o grado de centralidad se refiere al número de vínculos relacionales que tiene un elemento de investigación en una red. Por ejemplo, si un autor en una red de coautoría ha trabajado con cuatro autores diferentes, entonces su grado de centralidad sería cuatro. Esta es una de las medidas más simples de centralidad ya que solo se basa en el recuento de los vínculos que se generan (Isherwood & Coetzee, 2011).

- *Betweenness centrality*: o centralidad intermedia se refiere a la capacidad de un nodo para llevar información entre grupos no conectados de nodos, donde cada nodo representa un elemento de investigación (Isherwood & Coetzee, 2011).

- *Eigenvector centrality*: o centralidad del vector propio corresponde al valor es mayor para los nodos que están conectados con nodos altamente conectados, donde cada nodo representa un elemento de investigación. Específicamente un valor más alto *Eigenvector centrality* refleja la importancia del nodo en la red, siendo responsable de transmitir información a otros nodos altamente conectados (Isherwood & Coetzee, 2011).

• *Closeness centrality*: o centralidad de cercanía se refiere a la capacidad de los nodos para llevar información de manera efectiva al estar más cerca de otros nodos en la red. La suma de la distancia de estos nodos con respecto a otros nodos en la red indica la facilidad relativa para que estos nodos lleven información de manera efectiva (Isherwood & Coetzee, 2011).

• *PageRank*: El análisis *PageRank* es una medida alternativa del impacto de una publicación. Este valor se puede utilizar para calcular el prestigio de publicaciones que tienen una influencia en el campo de investigación, al afectar a publicaciones altamente citadas a pesar de no ser altamente citadas en sí misma. En este sentido, una publicación con un alto *PageRank* se considera de alta calidad y por lo tanto se considera como una “cita obligada” entre las publicaciones altamente citadas (Donthu et al., 2021b)

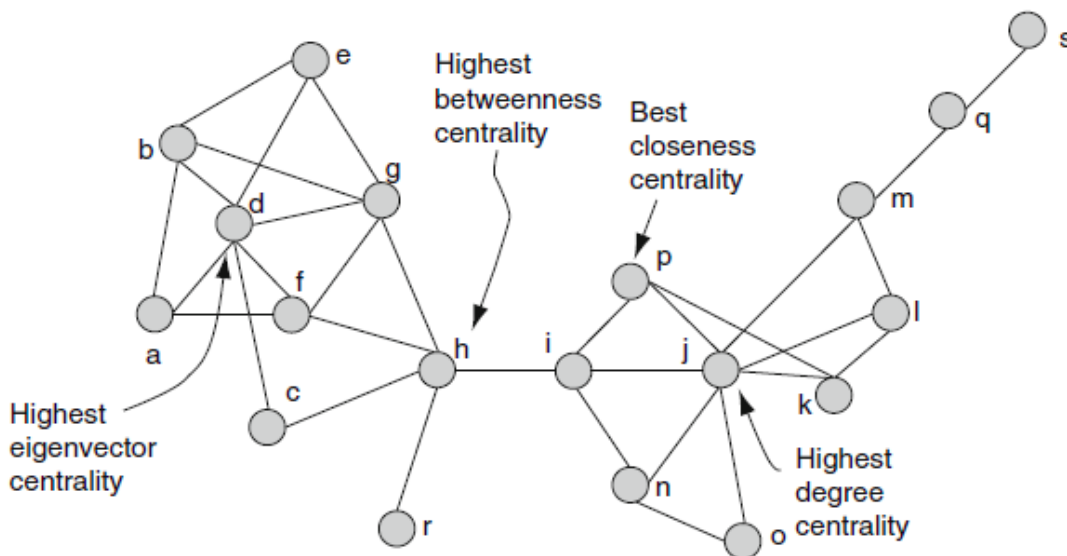


Figura 1. Distintas medidas de centralidad. Obtenida de (Isherwood & Coetzee, 2011)

3.1.1.3.2. Clustering

El *clustering* corresponde a otra técnica de enriquecimiento para el análisis bibliométrico cuyo objetivo principal es crear zonas de agrupamiento temáticas (*clúster*), resultando útil para entender cómo se expresa y desarrolla un campo de estudio particular. Por ejemplo, los clústeres creados cuando se toman las variables de análisis de co-citación y acoplamiento bibliográfico develan los temas principales que sustentan la estructura y su desarrollo a lo largo del tiempo en el campo de investigación. Existen distintas técnicas para el clustering las cuales son el análisis factorial exploratorio, el agrupamiento jerárquico, el algoritmo de isla, el método Louvain, el escalamiento multidimensional y el algoritmo de centros simples, entre otros, cada uno con ventajas y desventajas particulares, pero pueden complementarse entre sí (Zupic & Cater, 2015).

3.1.1.4. Visualización

El análisis bibliométrico va de la mano con la utilización de software para la visualización y representación gráfica de redes (Aria & Cuccurullo, 2017; van Eck & Waltman, 2010). Existen diversos programas para realizar análisis bibliométrico, entre ellos se encuentran *VOSviewer*, *Bibliometrix*, *CiteSpace*, *Bibexcel*, *Gephi*, *SciMat*, etc. La mayoría de estos programas son de código abierto y gratuitos con sus respectivos puntos a favor y en contra por lo que es una buena práctica utilizarlos de manera complementaria.

VOSviewer es un programa desarrollado para la construcción y visualización de mapas bibliométricos. El programa se encuentra disponible de manera gratuita al servicio de la comunidad para la investigación bibliométrica. *VOSviewer* se puede utilizar por ejemplo para construir mapas de autores o revistas basados en datos de co-citación o para construir mapas de palabras clave basados en datos de co-ocurrencia. El programa es capaz de construir mapas que contienen varios miles de elementos permitiendo la visualización con zoom, desplazamiento y opciones de búsqueda (van Eck & Waltman, 2010b).

Para construir un mapa, *VOSviewer* utiliza la técnica de mapeo VOS (*visualization of similarities*, en español, visualización de similares) desarrollada por Van Eck y Waltman en 2007 la cual permite la visualización de la información donde se pueden generar dos tipos de mapas, los basados en distancia y los basados en gráficos. Los mapas basados en distancia son en los cuales la distancia entre dos elementos refleja la fuerza de la relación entre los elementos. Una distancia más pequeña generalmente indica una relación más fuerte. Esto facilita la identificación de clusters de elementos relacionados pero por otro lado dificulta etiquetar elementos de un mapa sin tener que las propias etiquetas se superpongan entre sí. Por otro lado los mapas basados en gráficos son mapas en los que la distancia no necesariamente refleja la fuerza de la relación entre los elementos si no que en su lugar, se dibujan líneas entre los elementos para indicar relaciones. Los elementos se distribuyen de manera bastante uniforme lo que genera que las etiquetas no tengan problemas de superposición. Sin embargo en los mapas basados en gráficos se dificulta ver la fuerza de la relación entre dos elementos. Por esta razón *VOSviewer* prefiere utilizar solamente mapas basados en distancia (van Eck & Waltman, 2010b).

Por otro lado, el software *Bibliometrix* proporciona un conjunto de herramientas para la investigación cuantitativa en bibliometría y cienciometría. Está escrito en lenguaje R que es un entorno y ecosistema de código abierto. La existencia de algoritmos estadísticos sustanciales y efectivo, el acceso a rutinas numéricas de alta calidad y las herramientas integradas de visualización de datos son quizás las cualidades más fuertes para preferir R a otros lenguajes de programación. Este software posee un gran potencial ya que analiza los datos y proporciona tanto métricas de rendimiento y mapeo científico (Aria & Cuccurullo, 2017).

3.2. Impresión 3D

La impresión 3D corresponde a un proceso de manufactura aditiva, es decir, los objetos se construyen a partir de adición de material de la manera correcta para formar el objeto completo. A diferencia de la manufactura sustractiva en donde los objetos son formados a partir de la remoción de material generando de manera comparativa una mayor cantidad de residuos.

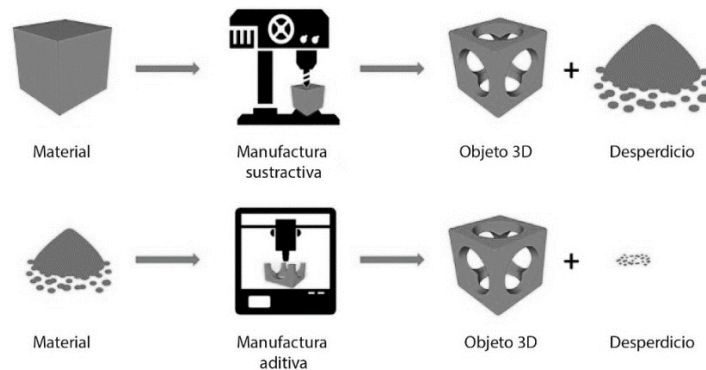


Figura 2. Diferencia entre procesos de manufactura aditiva y sustractiva (Diseño 3D S.P.A, n.d.).

La manufactura aditiva fue originalmente inventada para construir objetos tridimensionales utilizando materiales como metales, cerámicas y polímeros con el objetivo de fabricar piezas complejas en un solo paso. En las primeras etapas de esta tecnología la fabricación de modelos tridimensionales se realizaba a partir de polímeros que reaccionan químicamente con la luz ultravioleta para formar una estructura estable y así imprimir capa por capa construcciones sólidas (Mantihal et al., 2020).

El concepto inicial de la impresión 3D fue desarrollado por Kodama en Japón a finales de la década del 80' y fue desarrollada en principio para la realización de prototipos de partes o maquinaria compleja de manera rápida comparada con los métodos tradicionales, utilizando un proceso de modelado, ensamblaje y fabricación a través del diseño asistido por computador (CAD). Este concepto evolucionó a lo largo del tiempo a una forma más avanzada que puede construir objetos tridimensionales intrincados capa por capa, ya sea utilizando filamentos de materiales plásticos, metal y más recientemente materiales comestibles como lo son el azúcar o el chocolate (Mantihal et al., 2020).

3.2.1. Cadena de procesos

La impresión 3D está caracterizada por una cadena de procesos que está representada en la figura 3. El proceso comienza con la creación de un archivo CAD el cual tiene la representación en el nivel virtual de generación. Este puede ser diseñado en base a instrucciones de diseño o puede ser escaneado de un modelo real para generar este archivo virtual.

Independiente de cómo se genera el archivo, el modelo debe someterse a un proceso llamado *Splicing*. Este proceso involucra un software especializado donde el modelo del archivo se corta en capas o rebanadas, obteniéndose un set de datos de contorno que dan las indicaciones para las coordenadas X e Y, datos relativos al espesor correspondientes a la coordenada Z y el número de capas que da cuenta a esta última coordenada (Gebhardt, 2011).

Finalmente, estas instrucciones son las que son recibidas por la impresora tridimensional, las cuales son ejecutadas en forma de capa y posicionando de manera adecuada cada una de ellas. De esta manera capa a capa el modelo crece hasta que se finaliza la pieza.

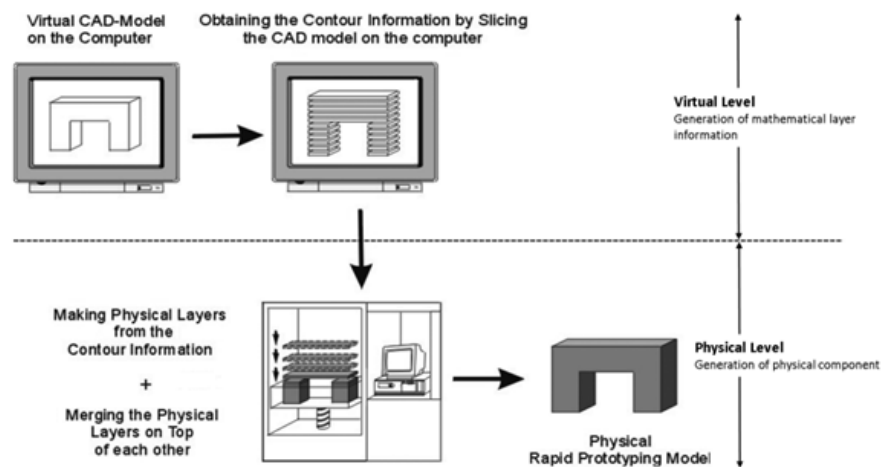


Figura 3. Cadena de procesos de impresión 3D (Gebhardt, 2011)

Estos pasos básicos denominados cadena de procesos, son los mismos para más de 200 tipos de máquinas de impresión 3D. Las impresoras solo difieren en el método de generación de estas capas individuales y en como las capas adyacentes están conectadas para formar la pieza final (Gebhardt, 2011).

3.2.2. Aplicación en alimentos.

La impresión 3D ha comenzado a surgir en el área de alimentos durante la última década y se han diseñado equipos específicos para la impresión con materiales comestibles. Existe en la literatura una serie de estudios e investigaciones sobre impresión 3D de alimentos, abarcando diversas áreas que van desde el desarrollo de ideas conceptuales hasta la comprensión profunda de las propiedades de los materiales y variables operacionales (Sun et al., 2015).

Si bien la impresión 3D tiene distintas técnicas, entre ellas, la estereolitografía (SL), sinterización de láser selectiva (SLS), la más favorable determinada por múltiples autores en la impresión 3D de alimentos es el método de extrusión ya que permite dar forma a alimentos frescos en forma de pastas o líquidos (Sun et al., 2015; Yang et al., 2018)

Una impresora 3D de alimentos típica consta de un circuito de control para lograr la integración entre el computador y la impresora, sistema de motores para guiar las partes móviles, un depósito para almacenar el material de impresión, sensores de flujo, reguladores de presión, boquillas para la extrusión y finalmente una plataforma de impresión la cual se imprime el alimento. Con la interfase digital presente en la impresora o las instrucciones generadas por el computador mediante software, se puede manipular el proceso de fabricación para cumplir con las expectativas del usuario (Nachal et al., 2019).

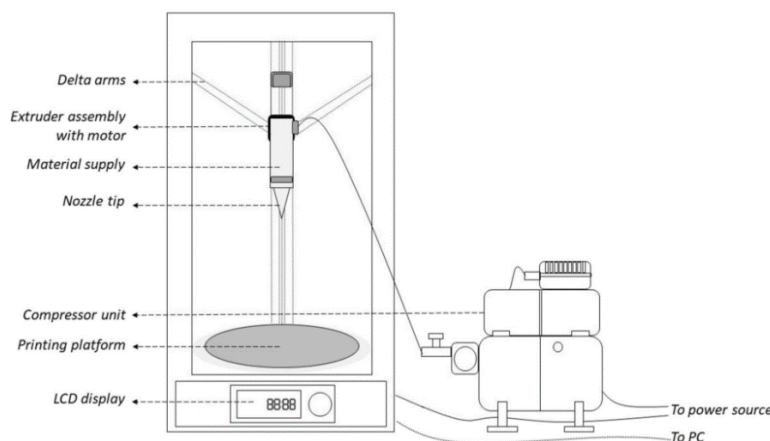


Figura 4. Diagrama de una impresora 3D de alimento por extrusión (Nachal et al., 2019).

Dada la complejidad de la composición de los alimentos, es de vital importancia el conocimiento de las propiedades de los materiales como lo son las propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas entre otras, con el fin de predecir el comportamiento de la matriz de impresión. Así mismo será necesaria la modificación de alimentos mediante la adición de otros ingredientes o aditivos para mejorar la capacidad de impresión de los materiales (Godoi et al., 2016). Es por esto por lo que la modificación de alimentos mediante la adición de otros ingredientes o aditivos será necesaria para mejorar la capacidad de impresión de los materiales. Por lo tanto, los estudios para analizar las diversas propiedades de los materiales alimentarios y los aditivos adecuados aplicables al proceso de impresión 3D de alimentos son vitales.

En cuanto a los equipos disponibles para la impresión 3D de alimentos, estos se encuentran en un nicho muy reducido. La mayoría de las impresoras 3D para alimentos son equipos que se encuentran disponibles en el mercado con modificaciones para cumplir con requisitos de impresión específicos. Ejemplos clásicos de este fenómeno incluyen FAB@home y Frostruder MK2.(Godoi et al., 2016)

3.3. Tecnologías de Impresión.

Se ha experimentado con distintas tecnologías de impresión de alimento considerando las particularidades de cada material, proceso y grado de personalización. Con esto se ha llegado a la conclusión de que las técnicas de impresión se pueden categorizar para líquidos, polvos o cultivos celulares (Godoi et al., 2016). Para el caso de las matrices de impresión líquidas, estas pueden ser depositadas mediante procesos de extrusión e inyección. Los materiales en la clasificación de polvo se utilizan como matriz de impresión mediante deposición seguida de la aplicación de una fuente de calor adecuada o aglutinante de partículas. Finalmente, para los cultivos celulares se utiliza la deposición de estos mismos, o la bio impresión, para imprimir muestras de tejido como la carne (Lipton et al., 2015).

3.3.1. Extrusión

Este proceso consiste en depositar capas mediante una boquilla móvil cargada con el material de impresión. Este enfoque es uno de los más sencillos para el usuario y se puede utilizar para matrices de impresión tanto líquidas como semisólidas. Motores conectados al cabezal de impresión coordinan los movimientos de la boquilla extrusora y a su vez un pistón hidráulico empuja el material fuera de la boquilla con la fuerza suficiente para la deposición capa a capa.

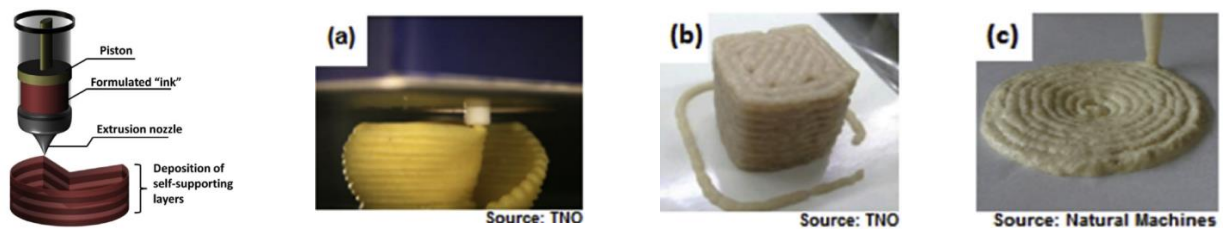


Figura 5. Diagrama del proceso de impresión de alimentos 3D por extrusión y ejemplos (a) Formulación de pasta, (b) Puré en base a cerdo (c) masa de pizza. Adaptado de (Godoi et al., 2016)

3.3.2. Impresión aglutinante y sinterización láser selectiva

La técnica de impresión aglutinante (*Binder Jetting*) es un proceso que consta de la aplicación de un líquido aglutinante con la adición de una fina capa de material de impresión para formar un objeto tridimensional. Esta tecnología se utiliza exclusivamente para materiales en polvo, generalmente azúcar. Mediante este método es factible la fabricación de productos de confiterías únicos y complejos.

En el caso de la sinterización con láser, este actúa como una fuente de calor fusionando selectivamente el material en polvo mediante un escaneo en movimiento de sección transversal determinado por las instrucciones dadas por el software. Para construir el objeto tridimensional, la plataforma de polvo se baja en un grosor de capa después que se escanea la primera capa de sección transversal y se le aplica nuevamente una fina capa de polvo encima de esta (Mantihal et al., 2020). En la figura 6, se esquematiza el proceso de estas dos tecnologías.

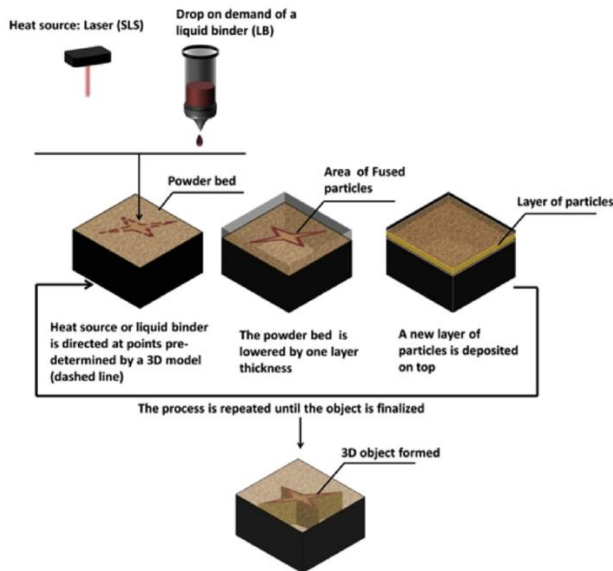


Figura 6. Diagrama tecnologías impresión aglutinante y sinterizado laser selectivo (Mantihal et al., 2020).

3.3.3. Bio-impresión

Esta técnica se basa en la deposición precisa capa a capa de materiales biológicos y en el cultivo de células vivas. Esta tecnología utiliza cilindros multicelulares como bloques de construcción y depende de tipos celulares que se auto adhieren a esta matriz. Gotas de agregados multicelulares recién preparados se depositan a través de una boquilla de inyección en una estructura de soporte biocompatible. El producto final se transfiere a un biorreactor especial para su mantenimiento y maduración para hacerlos aptos para el consumo humano (Godoi et al., 2016).

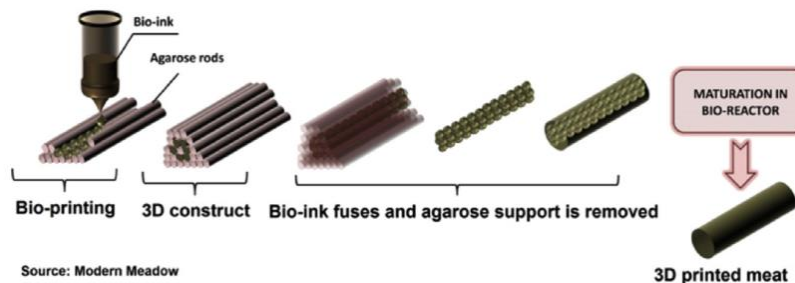


Figura 7. Diagrama resumen del proceso de bio-impresión (Godoi et al., 2016).

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Realizar un análisis bibliométrico sobre la Impresión 3D de alimentos, abordando tanto la perspectiva global como nacional, con el fin de proporcionar una visión integral del estado actual, las tendencias de investigación y la contribución de los diversos actores en este campo emergente.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis bibliométrico para entender la magnitud y dirección de la investigación global en el ámbito de la Impresión 3D de alimentos identificando autores destacados, instituciones y áreas temáticas específicas.
- Analizar patrones y tendencias emergentes en la literatura bibliométrica relacionada con la impresión 3D de alimentos, destacando posibles áreas de crecimiento y desarrollo.
- Identificar y visualizar las colaboraciones entre investigadores, instituciones y países, tanto a nivel global como chileno, para comprender la dinámica de la red de investigación.
- Identificar y analizar las publicaciones más influyentes en el campo, considerando citas y su impacto en la comunidad científica.
- Con base en los hallazgos, ofrecer recomendaciones para orientar futuras investigaciones y contribuciones en el campo de la impresión 3D de alimentos, tanto a nivel global como en el contexto chileno.

5. MATERIALES Y METODOS

La metodología utilizada será basada en la propuesta por los autores (Donthu et al., 2021b; Zupic & Čater, 2015) está ejemplificada en la figura 8 y la descripción de cada uno de los pasos se presenta a continuación:

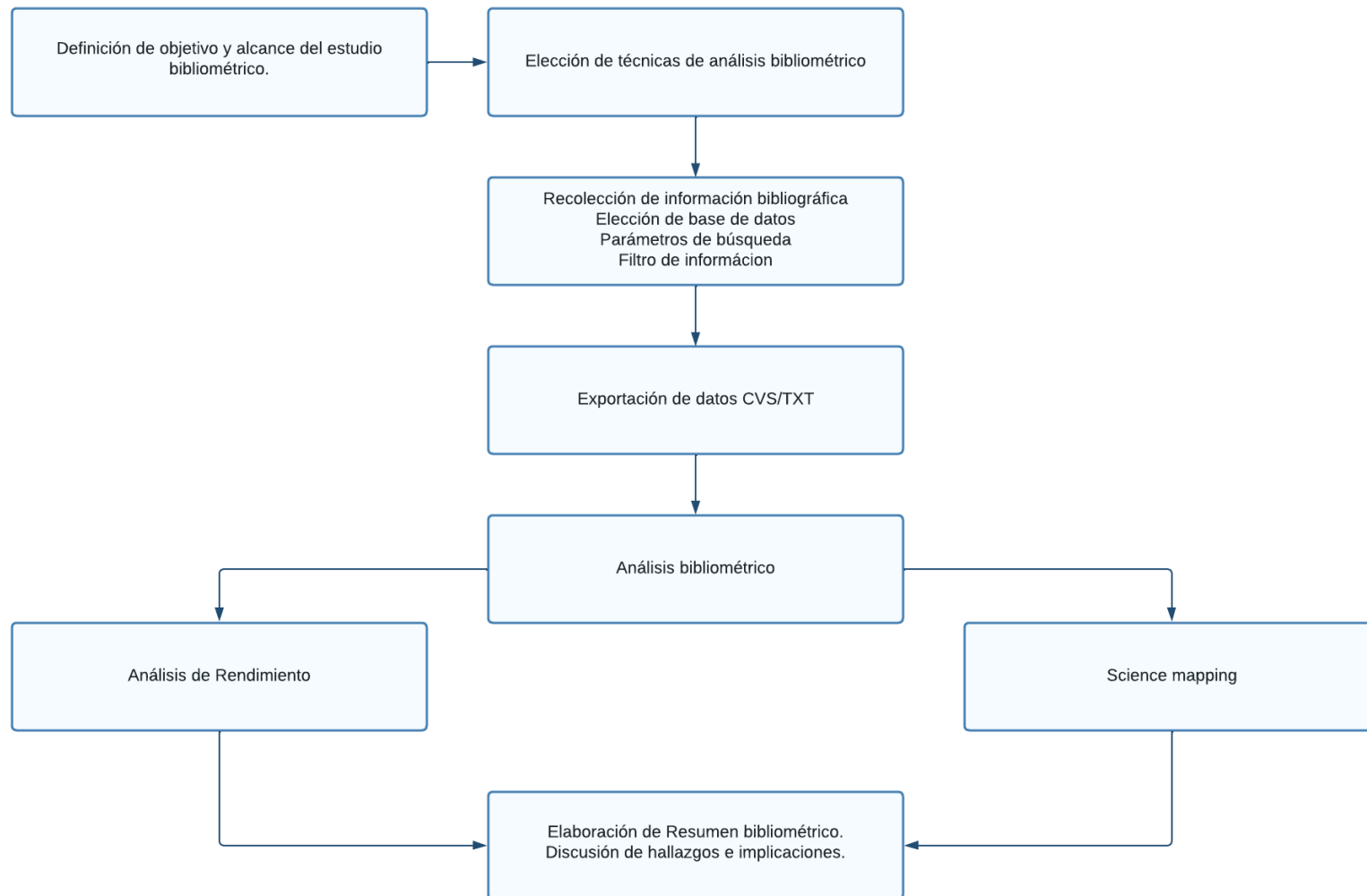


Figura 8. Flujo de trabajo análisis bibliométrico.

5.1. Definición del objetivo y alcance del estudio bibliométrico

Para realizar el análisis bibliométrico fue necesario definir el objetivo y el alcance de este, para seleccionar la técnica de revisión bibliográfica adecuada (revisión, meta-análisis o análisis bibliométrico) es la correcta y cumplir con los parámetros presentados en la tabla 1.

El objetivo de este estudio cumplió con las características presentadas para realizar un análisis bibliométrico, ya que estudió una gran cantidad de datos bibliométricos para presentar el estado del arte, tendencias de investigación, contribución de diversos actores y entregó una mirada particular al contexto nacional en cuanto a la impresión 3D de alimentos.

5.2. Elección de técnicas de análisis bibliométrico

De acuerdo con los objetivos del estudio fue necesario utilizar herramientas de rendimiento y de *science mapping* para presentar la información referente a: (1) Magnitud y dirección de la investigación global, (2) contribución de la investigación chilena, identificando autores, instituciones y áreas temáticas específicas, (3) patrones y tendencias emergentes, (4) colaboraciones entre investigadores, instituciones y países, (5) publicaciones más influyentes, (5) distribución geográfica de la investigación y finalmente (6) ofrecer recomendaciones para orientar futuras investigaciones.

Se utilizaron como métricas de rendimiento: Total de publicaciones, número de autores contribuyentes, publicaciones mono-autor, publicaciones co-autor, periodo de tiempo, total de citas, citas promedio, citas locales, número de publicaciones citadas, índice *h*, índice *g*. Estas son evaluadas unidades de análisis; tiempo, región, instituciones, revistas, autores, documentos y palabras clave.

Así mismo se las utilizaron técnicas de mapeo científico: Análisis de co-autoría, análisis de co-ocurrencia, análisis de citas. Al igual que para las métricas de rendimiento son evaluadas con las unidades de análisis: países, instituciones, autores, documentos, palabras clave. Se incluyen en esta sección técnicas de visualización proporcionada por softwares. Finalmente como técnicas de enriquecimiento se presentó un *clustering* con palabras claves.

5.3. Recolección de la información bibliográfica.

Web of Science (WOS) es reconocido como la herramienta de indexación de literatura más precisa para el conocimiento científico, la cual nos proporcionó información sobre las áreas de investigación más críticas. WOS es habitualmente utilizado como una fuente óptima para la recopilación de datos en análisis bibliométrico (Chen & Liu, 2020).

Las bases de datos utilizadas para este estudio fueron *Science Citation Index Expanded* (SCIE), *Emerging Science Citation Index* (ESCI) *Social Sciences Citation Index* (SSCI) y *Book Citation Index – Science* (BKCI-S), las cuales se encontraban subordinadas a *WOS Core Collection* (WOSCC).

Los parámetros de búsqueda utilizados fueron los siguientes: “3D” en todos los campos y “Food” en todos los campos y “printing” en todos los campos o “3D printing food” o “3D food printing” o “3D food” generando un total de búsqueda de 1329.

Búsquedas preliminares con otros parámetros de búsqueda resultaron con bases de datos de tamaños insuficientes, con temáticas irrelevantes o genéricas por lo que se acotó a los parámetros descritos anteriormente.

Se limitó la búsqueda a publicaciones de tipo artículo y revisiones bibliográficas, dejando fuera documentos de acceso anticipado (*Early Access*), capítulos de libro, revisiones de libros y artículos de conferencia (*proceeding papers*). A su vez se dejaron fuera los artículos con fecha de publicación 2024. Considerando esto el total de documentos únicos se limitó a 1301.

Los datos recopilados con su respectiva información (Keywords, citas, abstracts, autores e información bibliográfica) fueron descargados en formato “plain text” (CVS) utilizando la herramienta de exportación propia de WOS, seleccionando la opción “Full Record and Cited References”.

5.4. Análisis bibliométrico

Se evaluaron tanto las métricas de rendimiento como las técnicas de mapeo científico en razón a los objetivos de estudio.

5.5. Softwares

Toda la información bibliométrica fue procesada para su análisis con los softwares VOSviewer (versión 1.6.20) y Bibliometrix (basado en RStudio 2023.12.0+369) para la visualización gráfica, mapeo y datos bibliométricos (Aria & Cuccurullo, 2017; van Eck & Waltman, 2010a). Para los indicadores generales y gráficos se utilizó Microsoft Excel 365.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron un total de 1301 documentos, caracterizados de manera general en la tabla 4, de las cuales predominantemente son artículos correspondientes a un 82,8% y revisiones 17,2%. Estas fueron publicadas en 437 fuentes distintas. La publicación más temprana que da cuenta sobre el interés de la impresión 3D de alimentos fue publicada en el año 2007. Desde esta fecha el tópico ha crecido en promedio un 44,4% anualmente lo cual nos indica que el estudio de la impresión 3D de alimentos es un tema que motiva a los investigadores por distintas razones. Así también la edad promedio de las publicaciones (2 años), lo cual indica que este es un campo relativamente nuevo y se necesita mayor investigación para el desarrollo de la disciplina.

Tabla 4. Visión general de datos utilizados en el análisis bibliométrico.

Información Principal	Resultados
Periodo de tiempo	2007-2023
Fuentes (Journals, Libros, etc.)	437
Numero de publicaciones	1301
% de crecimiento anual	44,4
Edad promedio de publicación	2,0
Citas promedio por documento	24,5
Referencias	58900
Contenido de las publicaciones	
<i>Keywords plus</i>	2832
Palabras clave del autor	3856
Autores	
Autores totales	4748
Publicaciones realizadas por sólo un autor	26
Promedio de Co-autores por publicación	5,23
% de co-autoría internacional	31,5
Tipos de publicaciones	
Artículos	1078
Revisiones	223

En cuanto al contenido de las publicaciones, se encontraron 3856 palabras claves únicas esto da cuenta de que el campo de estudio está relacionado con una amplia variedad de subtemas particulares. El termino *KeyWords Plus*, es definido como palabras o frases que aparecen con frecuencia en los títulos de las referencias de un artículo, pero que no aparecen en el título propio del artículo. Esta herramienta potencia la capacidad de búsqueda por referencias citadas al buscar en diversas disciplinas todos los artículos que comparten referencias citadas (Zhang et al., 2016).

El total de autores que ha contribuido al campo de impresión 3D de alimentos es de 4748, donde de este número, 26 publicaciones han sido realizadas por un solo autor. Esto contrasta con la gran mayoría de publicaciones donde en promedio son realizadas por 5,23 co-autores. Así mismo, existe una colaboración entre países la cual se traduce en que un 31,5% de las publicaciones son realizadas por equipos de autores de distintas nacionalidades.

Para el caso de Chile, con los parámetros de búsqueda proporcionados, se obtuvieron 5 publicaciones con el tema de impresión 3D de alimentos. La primera tiene registro en el año 2021, seguidas por dos en el año 2022 y finalmente dos en el 2023. Estas se dividen en cuatro artículos y una revisión. Se identificaron 16 autores distintos por lo tanto existe un gran porcentaje de co-autoría dentro de la investigación nacional.

6.1. Análisis de Rendimiento

6.1.1. Producción Científica Anual

Si bien la primera publicación con el concepto de impresión 3D de alimentos data del año 2007, este campo de investigación comenzó tímidamente con alrededor de una a dos publicaciones por año y no fue hasta el año 2015 que se comenzó a mostrar un real interés de los investigadores en el tema con 10 publicaciones, desde entonces comenzó a crecer de manera exponencial. El 2023 es el año con mayor número de publicaciones (359) a la fecha. Lo cual se evidencia en la figura 9 donde se aprecia el número de publicaciones y publicaciones acumuladas sobre una base anual para analizar la tendencia de investigación en el campo de la impresión 3D de alimentos.

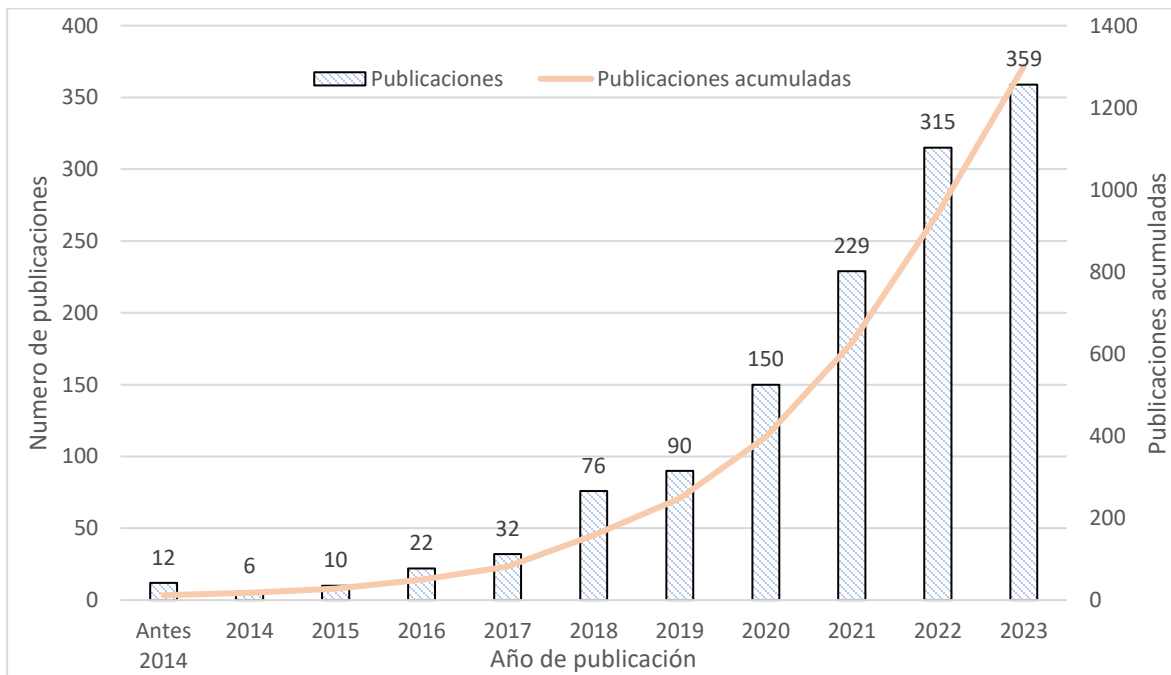


Figura 9. Número de publicaciones y publicaciones acumuladas anualmente.

Como se discutió anteriormente, para Chile, la cantidad de publicaciones se obtuvieron 5 publicaciones con el tema de impresión 3D de alimentos se obtuvieron 5 publicaciones con el tema de impresión 3D de alimentos.

6.1.2. Producción Científica por Región

Tanto en la figura 10 como en la figura XXX, se presenta la información obtenida referente a los colaboradores científicos y sus respectivos países.

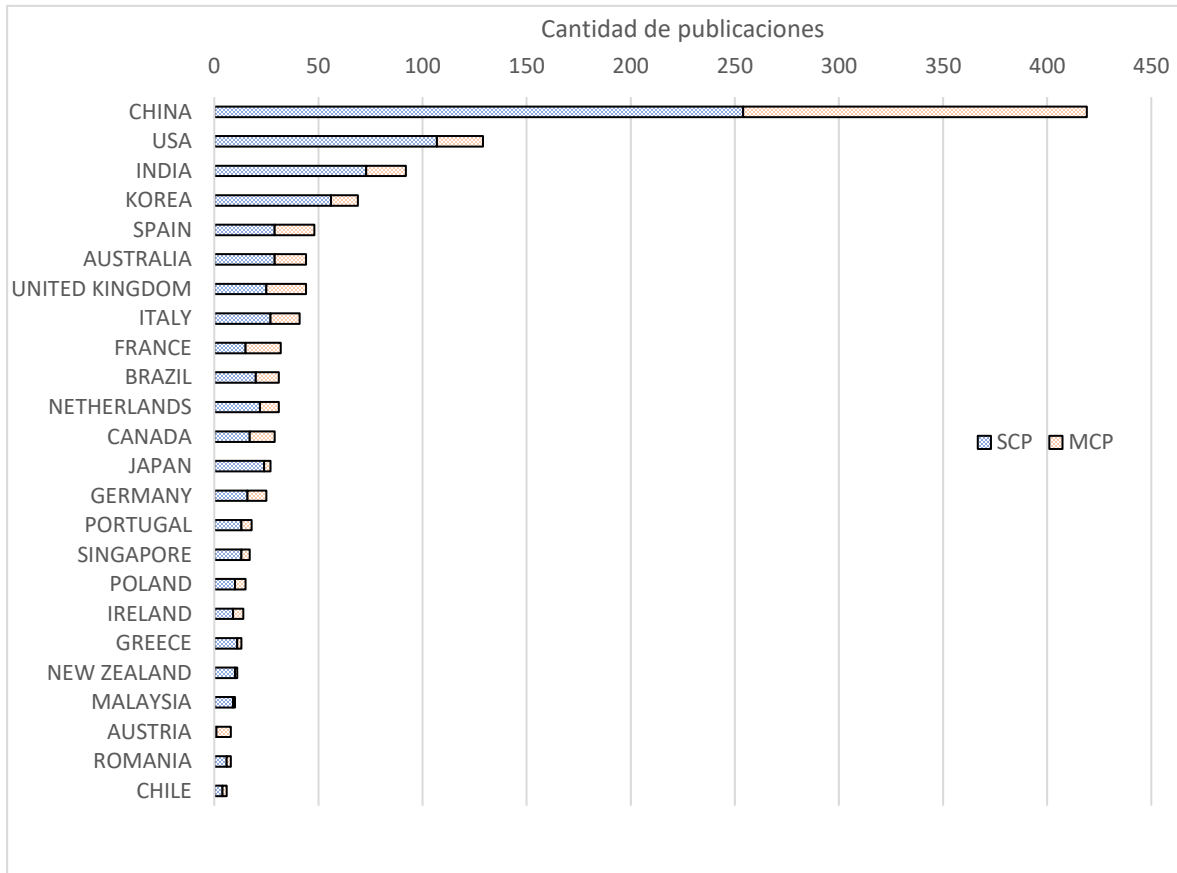


Figura 10. Distribución de publicaciones según países incluyendo SCP y MCP (países con al menos 10 publicaciones por país y Chile).

En base a la producción científica comprendida en este estudio, pudo identificar a los países más productivos en la publicación de artículos en impresión 3D de alimentos. El top cinco lo constituyen China, Estados Unidos, India, Corea del sur y España, con 406, 128, 91, 69 y 48 publicaciones respectivamente. El *Single Country Publication* (SCP), informa de cuantas publicaciones fueron realizadas por autores y coautores de una sola nacionalidad, mientras que el *Multi Country Publication* (MCP), proporciona claridad sobre cooperación entre distintos países.

6.1.3. Instituciones

Respecto a las instituciones más productivas en temas de impresión 3D de alimentos, es esperable que siga la tendencia de distribución por país, donde China es el principal contribuidor. Esta información se ve reflejada en la tabla 5, donde se puede identificar la universidad de Jiangnan (298) como la institución con mayor número de documentos por un amplio margen, seguido de la universidad de Zhejiang (50) demostrando la importancia del tópico de estudio para este país. En tercer lugar, se encuentra la universidad de Queensland (48), en Australia. Después de esto se observa una diversificación de los lugares donde se estudia la impresión 3D de alimentos.

Tabla 5. Principales 20 instituciones con publicaciones impresión 3D de alimentos

Posición	Institución	Numero de publicaciones
1	JIANGNAN UNIVERSITY	298
2	ZHEJIANG UNIVERSITY	50
3	UNIVERSITY OF QUEENSLAND	48
4	WAGENINGEN UNIVERSITY AND RESEARCH	42
5	DALIAN POLYTECHNIC UNIVERSITY	39
6	KOREA UNIVERSITY	37
7	SOUTHWEST UNIVERSITY - CHINA	37
8	MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL AFFAIRS	36
9	INRAE	34
10	MCGILL UNIVERSITY	34
11	CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY	30
12	UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	29
13	UNIVERSITY OF ARKANSAS FAYETTEVILLE	23
14	SINGAPORE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND DESIGN	23
15	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	22
16	CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)	21
17	UNIVERSITY OF MELBOURNE	18
18	UNIVERSITY OF FOGGIA	18
19	SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	18
20	UNIVERSIDADE DE SAO PAULO	18

Institución Chilena	Numero de publicaciones
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO	4
UNIVERSIDAD DE CHILE	3
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN	1
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE	1
UNIVERSIDAD SAN SEBASTIAN	1

El número particular de cada una de las instituciones excede el número total de publicaciones en Chile, esto se debe a que se han realizado colaboraciones entre ellas. Si bien el tema de impresión 3D de alimentos en Chile se encuentra en una etapa temprana, tanto la Universidad del Bío-Bío como la Universidad de Chile poseen una ventaja respecto a las otras en cuanto al número de publicaciones.

6.1.4. Revistas

Dentro del análisis se puede observar en la Tabla 6 que las revistas con más documentos son *Food Hydrocolloids* y *Journal of Food Engineering* con 93 y 90 publicaciones respectivamente. Las citas totales de las publicaciones en impresión 3D de alimentos de estas revistas son 2.371 para *Food Hydrocolloids* y 3.795 para *Journal of Food Engineering*. Este fenómeno se debe a los índices *h* y *g*, los cuales se relacionan con la visibilidad que entrega la revista en base al número de citas.

Tabla 6. 10 revistas con más publicaciones en el área de impresión 3D de alimentos.

Revista	Numero de publicaciones	Citas totales	<i>h</i>	<i>g</i>
FOOD HYDROCOLLOIDS	93	2371	28	46
JOURNAL OF FOOD ENGINEERING	90	3795	32	60
FOODS	54	539	15	20
FOOD RESEARCH INTERNATIONAL	38	780	16	27
INNOVATIVE FOOD SCIENCE & EMERGING TECHNOLOGIES	36	928	15	30
LWT-FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY	29	1194	16	29
FOOD CHEMISTRY	25	495	13	22
FOOD AND BIOPROCESS TECHNOLOGY	23	1006	15	23
INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGICAL MACROMOLECULES	19	238	9	15
TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY	18	1035	10	18

El índice h indica el número “ h ” de publicaciones que un autor, o en este caso una revista ha recibido un número “ h ” de citas. Por ejemplo, para la revista *Food Hydrocolloids*, existen 28 documentos que han recibido al menos 28 citaciones. Este índice se relaciona con el impacto que tienen las publicaciones o revistas, ya que toma en cuenta la calidad de las publicaciones (si son citadas o no) y no solo el número total de citas. Bajo este criterio podemos distinguir que las dos revistas nombradas anteriormente también corresponden a las más altas en impacto dado su índice h . En base sólo a este índice, no existe una real diferencia en cual de estas dos revistas apuntar a publicar un documento en impresión 3D de alimentos, dado que sus valores son relativamente cercanos.

El índice g es un indicador que al igual que el h cuantifica el impacto de las publicaciones de un autor o revista. Una revista tiene un índice g cuando considerando los g artículos más citados de esta revista, la cantidad de citas acumuladas por estos g artículos es superior a g al cuadrado. Este indicador al ser mayor y más variable permite distinguir entre revistas y autores con h similar. Bajo este indicador nuevamente *Food Hydrocolloids* (46) y *Journal of Food Engineering* (60) son las revistas con mayor impacto, sin embargo, se observa que para este caso la diferencia del indicador es mayor que en todas las demás métricas anteriores, por lo cual en términos de índice g sería preferible apuntar a publicar un documento en la revista *Journal of Food Engineering*.

6.1.5. Autores

En primer lugar con el mayor número de publicaciones, citas totales, índice h e g , está el PhD. D, Min Zhang, el cual está afiliado a la universidad de Jiangnan, China presentado en la tabla 7. Gran parte de las publicaciones relacionadas a la impresión 3D de alimentos están asociadas directamente a este autor. Si bien tener un número alto de publicaciones no es una métrica directa de la calidad de estas, la relación de los índices h y g permite esclarecer que este autor además de ser productivo en los tópicos de impresión 3D de alimentos sus publicaciones son altamente citadas y de buena calidad. Así mismo, el PhD Besh Bhandari académico de la Universidad de Queensland se presenta como otro de los principales exponentes teniendo un número de 41 publicaciones, con 2805 citas, un índice h de 26 y un índice g de 41. Luego los autores Kim HW, Park HJ, Moses JA, Prakash S, Liu ZB, Anandharamakrishnan C, Derossi A y Severini C, comparten métricas similares en cuanto a su aporte a la investigación sobre impresión 3D de alimentos.

Tabla 7. 10 autores relevantes en impresión 3D de alimentos.

Autores	Numero de publicaciones	Citas totales	h	g	Primera publicación
Zhang M	86	3855	36	61	2017
Bhandari B	41	2805	26	41	2017
Kim HW	30	652	14	25	2017
Park HJ	29	647	14	25	2017
Moses JA	24	626	14	24	2019
Prakash S	23	1338	14	23	2016
Liu ZB	23	1254	14	23	2017
Anandharamakrishnan C	23	622	14	23	2019
Derossi A	17	792	12	17	2016
Severini C	16	792	12	16	2016

Con los datos bibliométricos obtenidos también se analizó la perspectiva chilena en cuanto a las métricas de sus autores. Dado que el número de documentos es pequeño (5), métricas como son los índices g y h no tienen sentido para discernir cuál de los autores tiene mayor impacto en el área investigativa de la impresión 3D de alimentos. Sin embargo, se destacan con cuatro publicaciones la PhD Gipsy Tabilo Munizaga, el PhD. Mario Pérez Won, Nailin Carvajal-Mena de la universidad del Bío-Bío. Así mismo, con tres documentos publicados en esta área, el PhD. Roberto Lemus-Mondaca, académico de la Universidad de Chile los que han realizado su contribución al avance del estudio de la impresión 3D de alimentos. Cabe destacar que existen 16 autores distintos en Chile y a simple inspección de los datos bibliográficos se puede esperar un gran porcentaje de co-autoría en las publicaciones locales, lo cual se traduce en un trabajo colaborativo a en esta región.

6.1.6. Ley de Lotka

La ley de Lotka describe la frecuencia de publicación de los autores en cualquier campo dada como una ley de cuadrado inverso en donde el número de autores que publican cierto número de artículos constituyen una relación fija respecto al número de autores que publican un solo artículo (Sahu & Jena, 2022).

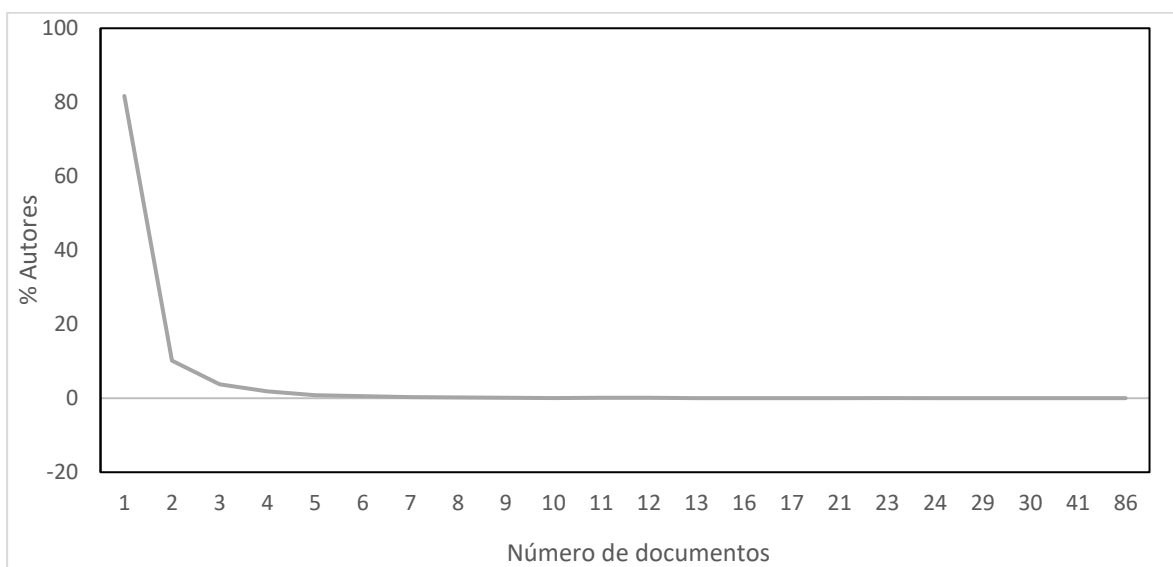


Figura 12. Ley de Lotka.

Un número de 3879 autores han publicado un único documento, esto constituye el 81,7% del total de documentos, cual está representado en la figura 12. Mientras que 481 autores han publicado dos documentos distintos, siendo un 10,1% del total de documentos. Progresivamente el número de autores que ha publicado al menos tres documentos disminuye sustantivamente al aumentar el número de documentos. Como fue discutido anteriormente, existe un autor que ha realizado 86 documentos.

6.1.7. Análisis de Documentos

Una medida para determinar cuáles son las publicaciones que aportan más a un campo científico es conocer el número de documentos en los cuales estas han sido citadas. A continuación, se presentan la tabla 8 y tabla 9 donde se evaluaron los criterios de citas con dos parámetros distintos para establecer los documentos con mayor impacto en la investigación de impresión 3D de alimentos. Se discutieron las primeras tres publicaciones más importantes según los criterios de total de citas y citas locales.

Tabla 8. 5 documentos con mayor número de citas totales.

Documento	DOI	Total de citas	Citas locales
LIGON SC, 2017	10.1021/acs.chemrev.7b00074	1966	19
GODOI FC, 2016	10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025	468	78
BANDYOPADHYAY A, 2018	10.1016/j.mser.2018.04.001	438	4
KLERKX L, 2019	10.1016/j.njas.2019.100315	416	1
LIU ZB, 2017	10.1016/j.tifs.2017.08.018	367	207

En la tabla 8 se analizó el total de citas que tiene cada documento al organizarse de forma decreciente, tenemos que las tres publicaciones más citadas son (Ligon et al., 2017)(1966 citas), (Godoi et al., 2016)(468 citas), (Bandyopadhyay & Heer, 2018)(438 citas).

El documento de LINGON SC, 2017, titulado *Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing* corresponde a una extensa revisión bibliográfica que abarca gran parte de los procesos de impresión 3D, parámetros operativos, materiales, distintas tecnologías y aplicaciones, donde existe una generosa sección sobre impresión 3D de alimentos en

profundidad. Sin duda, esta es una de las publicaciones más relevantes para todos los investigadores relacionados a la impresión 3D en general.

El segundo documento de GODOI FC, 2016, titulado *3D Printing technologies applied for food desing: Status and prospects*, corresponde también a un artículo de revisión bibliográfica pero con un alcance limitado exclusivamente a la impresión 3D de alimentos. Cabe destacar que este documento tiene como co-autores a Bhandari B y Prakash S, los cuales según el análisis por autor de los datos bibliométricos se encuentran dentro de los diez autores más relevantes dentro del campo de la impresión 3D de alimentos. Esta publicación tiene un objetivo más específico que la publicación de Lingon SC 2017, por lo que se espera que sea citado por un universo de menor tamaño que una publicación con un objetivo ambicioso.

Por otro lado, el documento de BANDYOPADHYAY A, 2018, titulado *Additive manufacturing of multi-material structures* es un artículo de revisión que destaca la aplicación de polímeros impresos en 3D, aplicaciones de metal-metal y metal-cerámica, analizando ventajas y desventajas. A simple vista esta publicación no posee ninguna relación con la impresión 3D de alimentos, sin embargo, este documento en reiteradas ocasiones ejemplifica y fomenta el concepto de impresión 3D de alimentos como algo que debiese ser alcanzado en un futuro.

El documento realizado por BANDYOPADHYAY A, 2018, correspondió a uno de los documentos seleccionados por la búsqueda en las bases de datos descritas. Sin embargo no está directamente relacionada a la impresión 3D de alimentos. Dado que el total de citas considera todas las citas en las cuales ha sido referenciada una publicación en el universo de la base de datos, existen publicaciones que tratan otros temas que no tienen relación con los parámetros utilizados en el análisis bibliométrico. Para evaluar la importancia de una publicación en un campo de estudio acotado mediante el uso de citas como parámetro discriminador dentro de un análisis bibliométrico, se puede utilizar adicionalmente el concepto de citas locales. La citación local se refiere al número de citas que un documento recibe de otros documentos dentro de la búsqueda realizada. Esta diferenciación, cuando se aplica a la revisión de literatura sobre un tema, permite distinguir el impacto real de un trabajo en el área específica de investigación en estudio, es decir, permite conocer que documentos representan una

importante base intelectual en el campo de investigación y permite discriminar cuales atraen la atención multidisciplinaria.

Tabla 9. 5 documentos con mayor número de citas locales.

Documento	DOI	Total de citas	Citas locales
LIU ZB, 2017	10.1016/j.tifs.2017.08.018	367	207
LILLE M, 2018	10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034	307	207
YANG FL, 2018	10.1016/j.lwt.2017.08.054	268	200
WANG L, 2018	10.1016/j.jfoodeng.2017.02.029	245	182
LIU ZB, 2019	10.1016/j.foodhyd.2018.08.026	253	154

Bajo el concepto de citas locales representados en la tabla 9 los tres documentos más relevantes son (Liu et al., 2017)(207 citas locales), (Lille et al., 2018)(207 citas locales), (Yang et al., 2018)(200 citas locales). La revisión bibliográfica realizada por LIU ZB, 2017 con co-autores Bhandari y Zhang, correspondió a una de las publicaciones más influyentes en el tópico de impresión 3D de alimentos. Se pudo observar que del total de 367 citas que tiene esta publicación, 207 publicaciones están dentro del set de datos del análisis bibliométrico, esto se traduce en ratio citas locales/citas totales de 56,40%. Este documento tuvo como objetivo recopilar y analizar la información para lograr impresión 3D en alimentos de manera precisa y exacta, la revisión de la aplicación 3D en distintas áreas de la industria de alimentos y ofrecer propuestas con una visión crítica de las tendencias y desafíos de la impresión 3D de alimentos. La importancia de esta publicación radica en los hallazgos obtenidos donde los autores indican que, para lograr una impresión precisa y exacta, se deben investigar tres aspectos principales de manera minuciosa: las propiedades del material, los parámetros del proceso y los métodos de procesamiento. A su vez proponen que se enfatizen los factores de propiedades reológicas, mecanismos de unión, propiedades termodinámicas, métodos de pretratamiento y post-procesamiento. Estas conclusiones en sí pueden dar directrices a los demás investigadores para elegir y profundizar en su propia línea investigativa generando nuevo conocimiento.

El documento proporcionado por LILLE M, 2018, corresponde a un artículo de investigación titulado *Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing*, al igual que el documento anterior posee 207 citas locales, en este caso la razón citas locales/citas totales es de 67,42%. Por su parte este documento tuvo como objetivo evaluar la aplicabilidad de la impresión 3D de alimentos por extrusión para alimentos en forma de pasta elaborados con proteínas, almidón y materiales ricos en fibra, como punto de partida para el desarrollo de snacks saludables y personalizados. Los resultados de este estudio demostraron la aplicabilidad de diversos materiales como matriz de impresión, lo cual genera un punto de partida para futuro el desarrollo de alimentos impresos 3D saludables.

Finalmente, la investigación realizada por YANG FL, 2018 generó un artículo de investigación titulado *Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters*. Este documento tuvo nuevamente entre sus coautores a Bhandari y Zhang, lo cual reafirma el impacto que tienen estos autores sobre el estudio de la impresión 3D de alimentos. Se observaron 200 citas locales de un total de 268 citas totales, por lo que la razón citas locales/citas totales es de 74,62%. El objetivo de esta publicación fue explorar la opción de imprimir tridimensionalmente utilizando un gel en base a jugo de limón, donde el agente gelificante elegido fue almidón. Se evaluaron los parámetros operativos de impresión como lo son el diámetro, altura y velocidad de la boquilla, velocidad de extrusión y propiedades del material, incluyendo propiedades reológicas, humedad del gel y propiedades texturales. Los autores concluyeron que el gel en base a jugo de limón y almidón (15g/100g) era adecuado para la impresión 3D de alimentos de los objetos diseñados en el estudio. Así mismo, confirmaron que la optimización de los parámetros de impresión, incluyendo diámetro, velocidad de movimiento de la boquilla y velocidad de extrusión afectan la calidad de la impresión 3D. La altura de la boquilla no se consideró como un factor que afecte la calidad de impresión. Los autores propusieron una ecuación para relacionar los parámetros que afectan la calidad de la impresión 3D de alimentos.

6.1.8. Análisis de Palabras

El análisis de palabras se basó en examinar en el contenido de la publicación la aparición de palabras y conceptos claves. La co-ocurrencia de estas palabras relacionó a las publicaciones intelectualmente. En palabras claves se pueden distinguir de dos tipos: (1) las palabras claves elegidas por los autores, que son seleccionadas conscientemente por el autor para facilitar la indexación y búsqueda del artículo y (2) *Keyword Plus* que son palabras o frases que aparecen con frecuencia en los títulos de las referencias bibliográficas citadas en un artículo, pero que no están presentes en el título del artículo en sí.

Dentro del set de datos del análisis bibliométrico se identificaron 3856 palabras clave de autor únicas. Cabe destacar que el análisis bibliométrico de palabras clave tiene sus dificultades añadidas dado que existen distintas maneras de escribir la misma palabra, por ejemplo, sin ir más lejos, el concepto de impresión 3D, lo podemos escribir como: *3D printing*, *3-D printing*, *3DP*, *three-dimensional printing*, *three dimensional printing*, entre otras. Por lo cual, es posible realizar un tratamiento de estos datos y codificarlos en categorías que los representen. Sin embargo, al realizar esto se pierde exactitud de las palabras claves elegidas por los autores. Como medida para solucionar esta problemática, las revistas podrían implementar un enfoque más estandarizado para la selección de palabras claves por parte de los autores. Por ejemplo, generar una lista desplegable de palabras clave de la cual los autores eligen al enviar sus manuscritos. Este enfoque podría brindar beneficios más allá de facilitar los análisis bibliométricos, al estandarizar las palabras clave ayudaría a los lectores a encontrar de manera más eficiente los artículos que les interesan (Pesta et al., 2018).

La figura 13 muestra las 20 palabras claves elegidas por los autores con mayor frecuencia. La palabra clave con mayor frecuencia correspondió a “3D printing” (437) también se encontró presente este concepto de la manera “3D-printing” (24) y “three-dimensional printing” (17), el cual en conjunto correspondió a la palabra clave más importante (478). Si bien es esperable que este concepto sea el más utilizado como palabra clave, indica que los investigadores tienen una preferencia para escribirlo de la manera “3D printing” por sobre las otras formas. Por lo tanto, si un investigador deseara utilizar como palabra clave “3D printing” debiese hacerlo de esta manera para facilitar la indexación y búsqueda de su artículo.

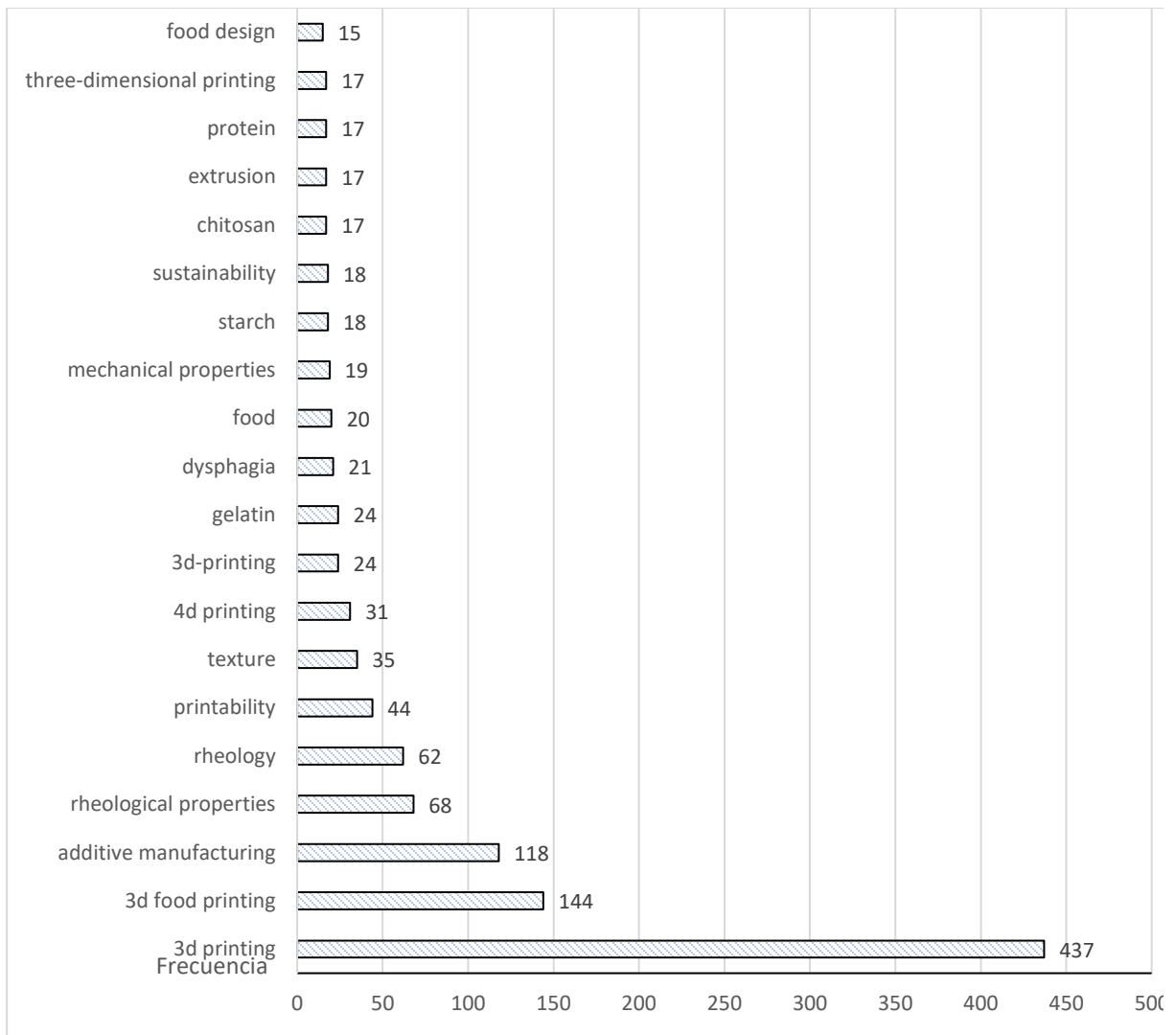


Figura 13. Palabras claves elegidas por los autores con mayor frecuencia.

En segundo lugar de las palabras clave más utilizadas se encuentra “3D food printing” (144), es esperable que gran parte de las publicaciones posean estas dos palabras claves dado que son uno de los parámetros de búsqueda dentro de la base de datos. La siguiente palabra clave con mayor número de ocurrencias es “additive manufacturing” (118), el concepto de manufactura aditiva refiere al como el elemento es creado y suele ser utilizado como sinónimo de impresión 3D.

“Rheological properties” (68), “Rheology” (62), “mechanical properties” (19) aparecen como temas interesantes de estudio para los investigadores. Esto está en línea con lo propuesto por la publicación de LIU ZB, 2017, donde señala la importancia del estudio de las propiedades del

material donde por supuesto se encuentra la reología de estos. Así mismo, ciertos materiales de impresión y/o aditivos aparecen como palabras claves. “gelatin” (24), “starch” (18), “chitosan” (17) y “proteins” (17) son seleccionados por los autores como palabras claves. Por otro lado, palabras clave como “printability” (44), “sustainability” (18), “extrusion” (17) y “food desing” (15), se relaciona con los procesos del estudio referente a la impresión 3D de alimentos y de su importancia en el campo.

También la palabra clave “dysphagia” (23) es de interés para los investigadores al tener un gran número de ocurrencias. Particularmente, los autores chilenos, Herrera C, Tabilo-Munizaga, G, Rivera-Tobar D, Carvajal-Mena N, Palma-Acevedo, A, Moreno-Osorio L y Pérez-Won, M poseen una publicación específica en este tema titulada *Development of bean-based emulgels for 3D printing applications: Feasibility for dysphagia diets* la cual tuvo como objetivo formular un material de impresión (emugel) y evaluar su efecto al incorporar gelatina en una nano emulsión de porotos estabilizada por homogenización a alta presiones adecuada para una dieta de disfagia (Herrera-Lavados et al., 2023).

Los principales tópicos que contienen las referencias de los documentos estudiados corresponden a “design” (130), “rheological properties” (125), “gel” (123), “optimization” (123), “food” (109), “protein” (98), “impact” (88), “fabrication” (82), “starch” (80) y “behavior” (74). Estas palabras claves correspondieron a los tópicos que está estudiando las publicaciones que están citando los documentos presentes en este estudio. Esto indica que otras temáticas se están estudiando, que estén relacionadas, y entrega un panorama general de los temas que los investigadores utilizan para realizar sus propios aportes al conocimiento.

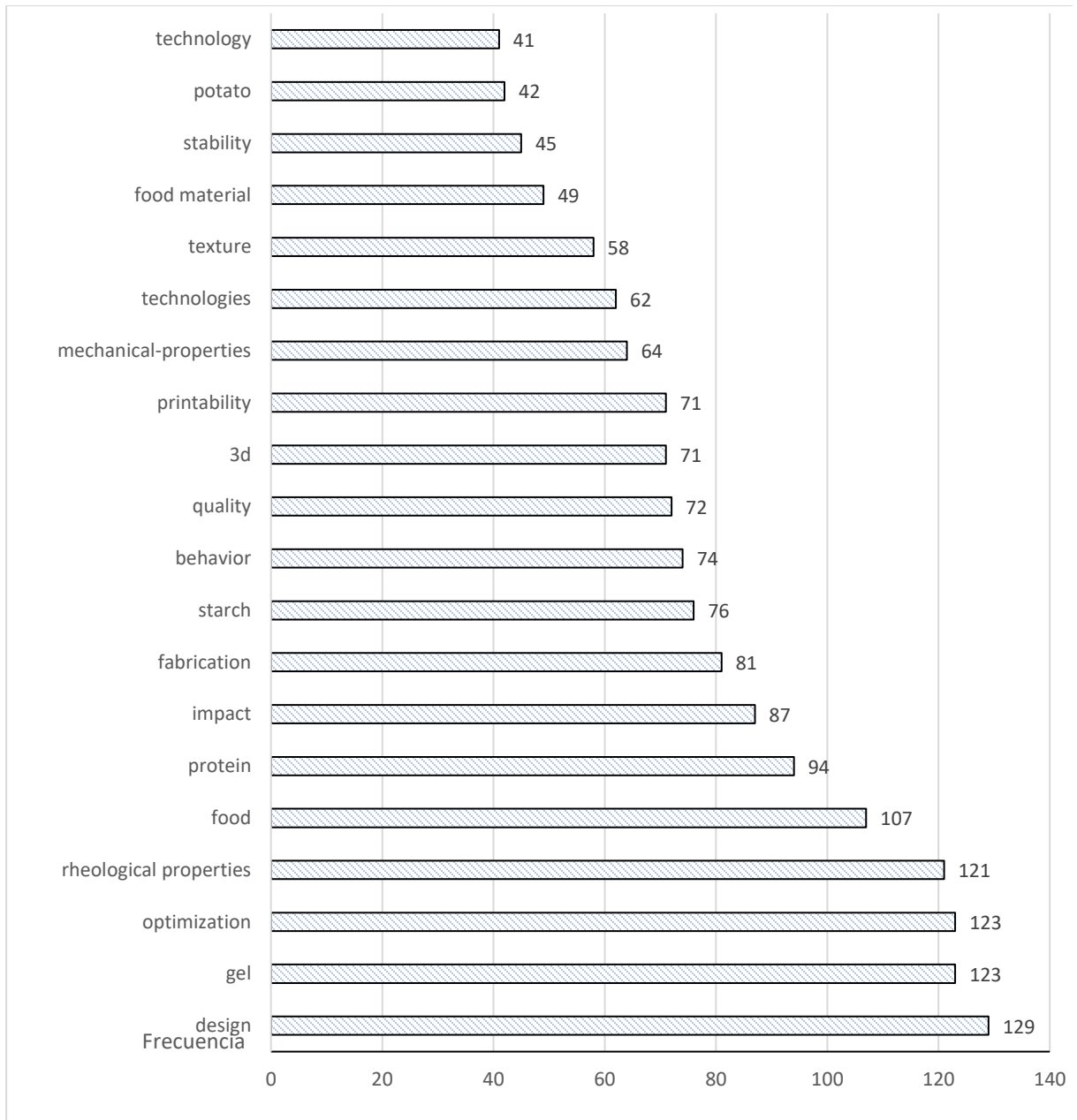


Figura 14. Palabras más frecuentes bajo KeywordPlus.

6.2. Mapeo Científico

6.2.1. Análisis Co-autoría:

6.2.1.1. Unidad de Análisis: Países

El análisis de co-autoría examina las interacciones entre los académicos en un área de estudio. La interpretación de los gráficos de redes se realizó de una manera cuantitativa y cualitativa, para los parámetros cuantitativos los parámetros más importantes de estudio fueron, clusters, cantidad de nodos, tamaño de nodo, enlaces y fuerzas de enlaces. Los clusters permitieron identificar interacciones o colaboraciones cercanas. La cantidad de nodos permite saber cuántos ítems estaban presentes en el mapeo y cumplían con los parámetros establecidos por el investigador que está realizando el análisis bibliométrico. Estos parámetros deben ser informados ya que modifican la estructura del mapeo sustancialmente (Visal Moosa et al., 2021). El tamaño de nodo por otro lado indica la frecuencia con que aparece lo que se está evaluando. La presencia de enlace representa la co-ocurrencia del parámetro evaluado. El ancho o grosor del enlace señala la frecuencia de la co-ocurrencia del parámetro evaluado. La cantidad de enlaces indica cuantas relaciones tiene un nodo (Ahmed et al., 2021)

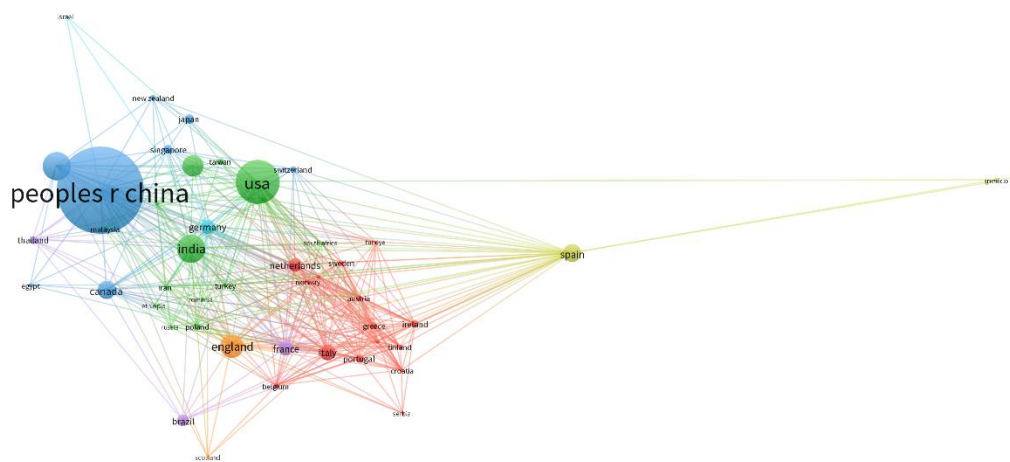


Figura 15. Red de colaboración de países en impresión 3D de alimentos (países con al menos 5 publicaciones).

La figura 15, muestra la red de colaboración de países donde, en primer lugar 48 países cumplieron con el criterio de tener al menos 5 publicaciones, este criterio fue utilizado para incluir a Chile dentro del mapeo. Se observaron 7 clúster distintos identificados con distintos colores (rojo, verde, azul, amarillo, morado, celeste y naranja). El tamaño de nodo fue dado por el número de publicaciones de los autores con su nacionalidad. Estos colores indicaban las reacciones de coautorías de los documentos. Se identificaron 423 enlaces totales con una fuerza total de enlace de 930.

Dentro del clúster con más países que colaboraban entre sí se puede observar el clúster de color rojo, en este se encuentran 15 países (Austria, Bélgica, Croacia, Republica Checa, Dinamarca, Finlandia, Grecia, Irlanda, Italia, Países bajos, Noruega, Portugal y Turquía). El nodo con mayor tamaño de este clúster correspondió a Italia, con 30 enlaces y una fuerza de enlace de 78. Todos ellos países europeos, indica que la cercanía geográfica facilita la cooperación entre investigadores.

El segundo clúster con mayor número de ítems (países) correspondió al de color verde donde colaboran en co-autoría los países de Etiopía, India, Irán, Malaysia, Pakistán, Polonia, Rumania, Rusia, Arabia Saudita, Sudáfrica, Corea del Sur, y Estados Unidos. El nodo más grande de este clúster correspondió al de Estados Unidos, posee 36 enlaces con una fuerza total de 116.

El tercer clúster visualizado en azul poseía 8 ítems distintos y estaba compuesto por los países Australia, Canadá, Egipto, Japón, Nueva Zelanda, China, Singapur y Suiza. El nodo con mayor tamaño fue el de China con un total de 37 enlaces y una fuerza total de 217.

Finalmente, para incluir a Chile en el análisis este se encuentra en clúster de color amarillo, este clúster tiene a los cuatro países que son Chile, Colombia, México y España. El nodo con mayor tamaño corresponde al de España, posee un número de enlaces de 34 con una fuerza total de 82.

Para el caso particular de Chile en el análisis de co-autoría, el gráfico proporcionó que el tamaño de nodo es de 5 y está dado por el número de publicaciones del país. Asimismo, tiene solo un enlace con México y con una fuerza total de 1. En base a esto se puede confirmar lo discutido en un principio con los datos obtenidos del análisis de rendimiento, las publicaciones

realizadas por investigadores chilenos tienen un gran porcentaje de co-autoría con investigadores de la misma nacionalidad. Dentro de los documentos con autores chilenos solo existe uno en el cual se realizó co-autoría con un investigador de otra nacionalidad. Se presenta entonces como una necesidad expandir la red de colaboración para la generación de conocimiento en impresión 3D de alimentos. Inicialmente se podrían generar alianzas con investigadores de naciones de Latinoamérica que estén cercanas como Brasil, que tiene un total de 31 publicaciones. Dada la importancia por el número de publicaciones e impacto de los autores chinos, una de las mejores opciones para elevar la investigación en impresión 3D de alimentos en el ámbito chileno, sería lograr co-autoría con los académicos líderes en esta región.

6.2.1.2. Unidad de Análisis: Instituciones.

En la figura 16, se graficaron 82 instituciones que cumplieron con los requisitos de tener al menos 5 publicaciones. Se observan 10 clusters en total, con un número de enlaces de 169 y una fuerza total de enlaces de 423.

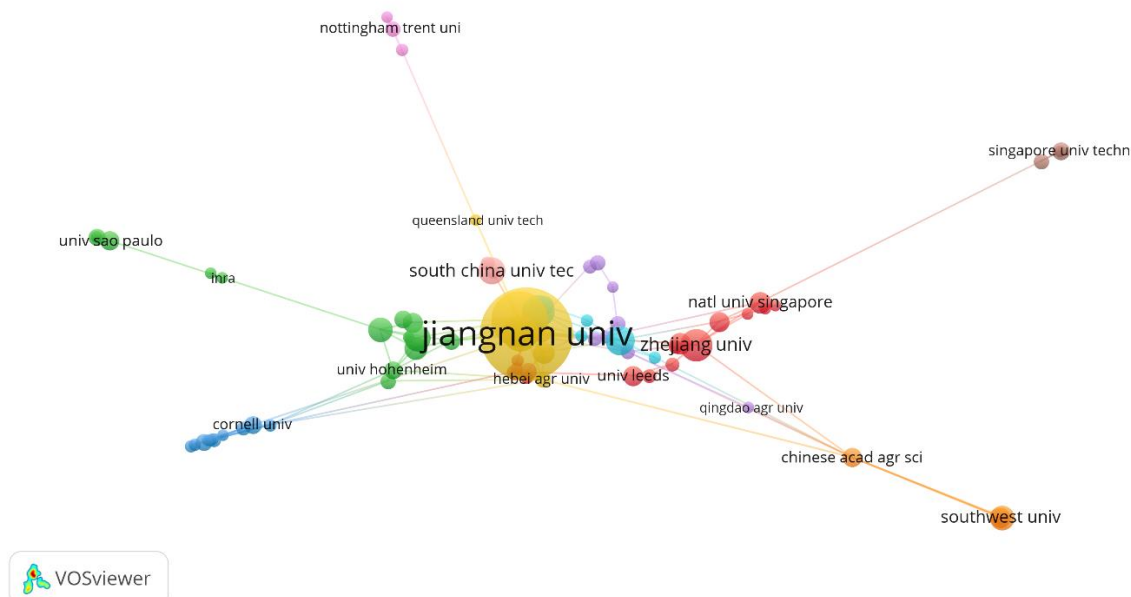


Figura 16. Red de colaboración de instituciones en impresión 3D de alimentos (Instituciones con al menos 5 publicaciones).

Este gráfico entrega información sobre cómo están relacionadas las co-autoría de las publicaciones y la red de colaboraciones que existen entre las universidades. A simple vista se puede observar que el nodo de la universidad de Jiangnan es el más grande ya que es la que tiene el mayor número de documentos, bajo a este se aprecia otro círculo de gran tamaño que corresponde a la universidad de Queensland. Este clúster amarillo, tiene 11 instituciones en total donde sus autores trabajan en conjunto de manera interinstitucional. Sin embargo, el clúster que agrupó más instituciones corresponde al clúster rojo con un total de 16 instituciones que realizaron co-autoría en sus publicaciones, la universidad más prominente presente en este clúster es la universidad de Zhejiang. Los impactos de estas universidades han sido previamente discutidos con las métricas de rendimiento.

Las publicaciones por autores de instituciones chilenas no cumplieron con los parámetros (al menos 5 publicaciones por institución) para ser representados de manera gráfica. Sin embargo, la co-autoría al seleccionar al menos 3 publicaciones por institución se vio representada por un solo clúster aislado donde sus elementos son la universidad de Chile y la universidad del Bío-Bío. Esto como se mencionó anteriormente genera la necesidad de expandir la red de colaboración entre autores e institución para poder ampliar la generación de conocimiento dentro del área de impresión 3D de alimentos.

6.2.1.3. Unidad de Análisis: Autores.

Según los parámetros utilizado debiesen estar representados en la figura 17, 341 autores que han realizado al menos 3 publicaciones. Sin embargo, solo se representan 126 que cumplen con los requisitos y forman una red, esto se debe a que los 215 restantes no están conectados entre sí. Se observan 9 clusters, donde el más grande (rojo) de ellos agrupa a 28 autores distintos. En este también se encontraron los investigadores con mayor impacto determinados con las métricas de rendimiento. Se puede observar que estos dos autores más influyentes, Zhang y Bhandari, trabajan a menudo en conjunto generando una red de colaboración importante. También en este gráfico se aprecia claros grupos de colaboración, esto sugiere que ciertos grupos de autores tienden a trabajar recurrentemente entre ellos.

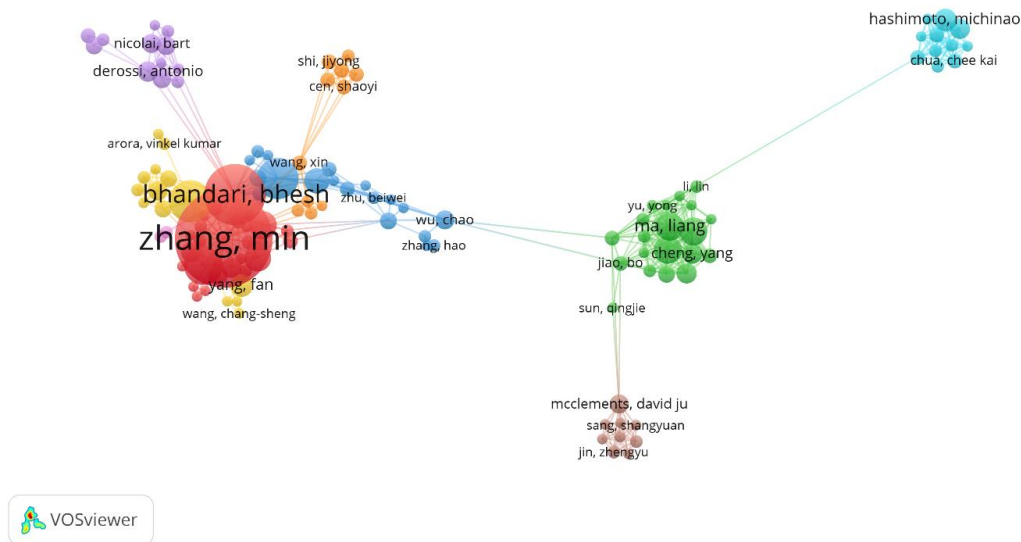


Figura 17. Red de colaboración de autores en impresión 3D de alimentos (autores con al menos 3 publicaciones).

En la figura 18, se refleja la red de colaboración (en morado) existente en el contexto chileno. Esta es una red aislada que se condice con los análisis realizados anteriormente y se puede explicar por distintos motivos. En primer lugar, el número de publicaciones en la región es pequeño, por lo que se espera que equipos de trabajo se conformen para estudiar y especializarse en un tema en particular. Segundo, las colaboraciones suelen ser realizadas por cercanía geográfica y motivos culturales como lo son el idioma ya que facilitan el quehacer científico. Adicionalmente, el campo de la impresión 3D de alimentos, se encuentra en una etapa muy temprana, más aún si se ve el contexto de nacional, por lo que existen pocos investigadores en el área. Todos estos motivos explican por qué la red colaborativa científica en el contexto del estudio es tan cerrada.

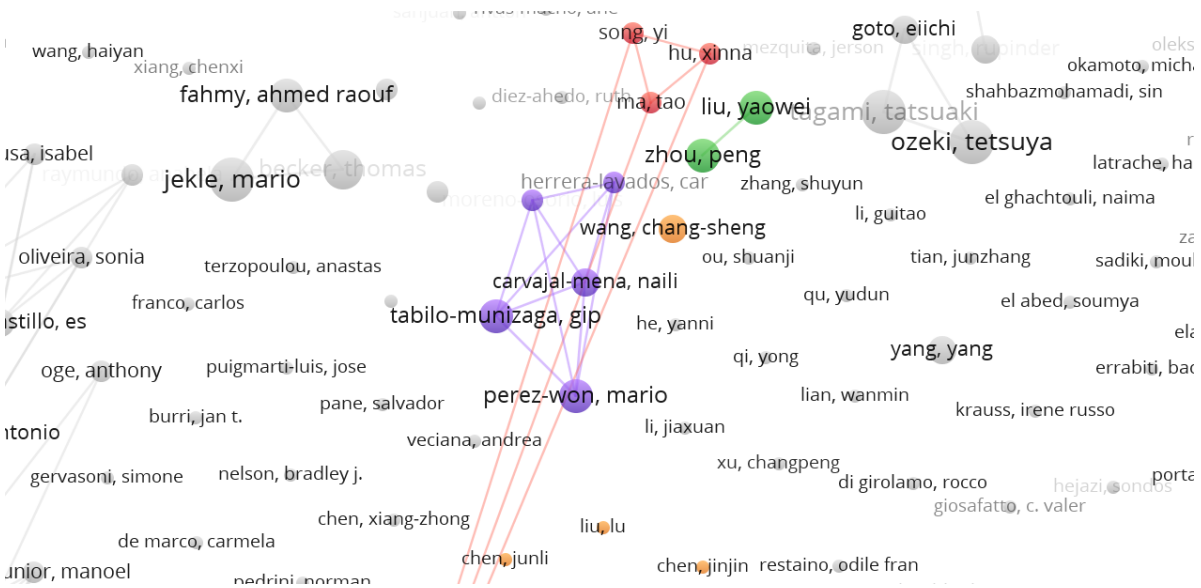


Figura 18. Red de colaboración de autores chilenos en impresión 3D de alimentos

Se evidencia en el gráfico 20 que la palabra clave más utilizada y centralizada corresponde a “3d printing food”. También aparecen los términos “rheological”, “printability” y “additive manufacturing”, estos son los temas centrales de la investigación realizada. Esto prueba que para los investigadores es importante conocer la reología y capacidad de impresión para tener un buen producto final.

Por lo tanto, como se propuso anteriormente los investigadores tienen como prioridad estudiar principalmente: las propiedades del material, los parámetros del proceso y los métodos de procesamiento.

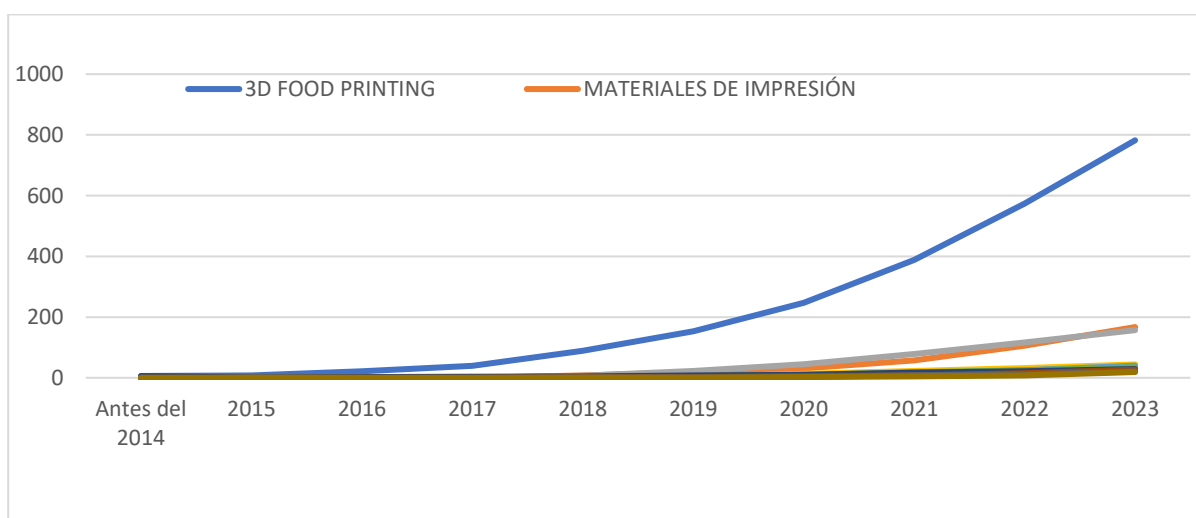


Figura 20. Palabras más frecuentes entre los años 2014-2023.

6.2.3. Análisis de Citas:

6.2.3.1. Unidad de Análisis: Documentos

Si bien en el análisis de rendimiento se evaluaron las métricas con respecto a las citas de los documentos, el mapeo científico entrega una mirada distinta a la ya suministrada por los datos cuantitativos. En la figura 21 se evidencian las redes que generan las citas de los documentos que son parte del análisis bibliométrico realizado. En este gráfico se pueden observar que 416 publicaciones cumplen con los requisitos de al menos 20 citas y de estas 293 forman redes que se presentan en la figura.

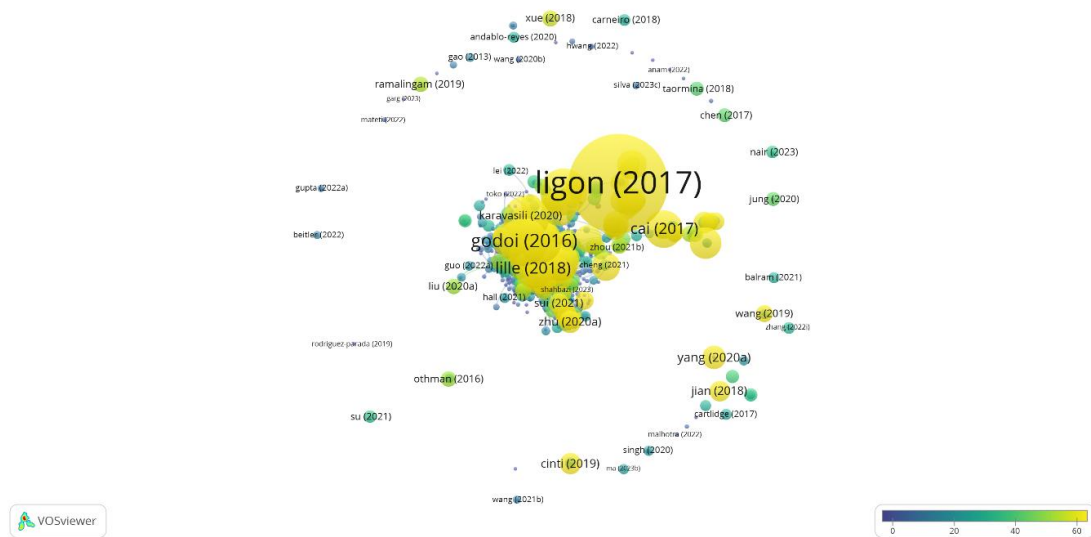


Figura 22. Red de análisis de citas de documentos sobre impresión 3D de alimentos. (Toda la base de datos)

Esto es un efecto recurrente en el análisis bibliométrico y una solución para acotar estas publicaciones que contienen los parámetros de búsqueda pero que no participan directamente del tema, es decir permite refinar los parámetros de búsqueda progresivamente. De todas maneras los softwares de análisis bibliométrico permiten tener una visión cualitativa de los datos que se están estudiando y es por esto que es de vital importancia determinar con el criterio del investigador cuales son los parámetros que tienen más valor para cumplir con el objetivo del estudio (Donthu et al., 2021b; Pesta et al., 2018; Zupic & Čater, 2015)

6.2.3.2. Unidad de Análisis: Autores

De la misma manera que fueron analizados los autores mediante las métricas de rendimiento en cuanto a su número de citas, se puede hacer con mapeo científico. Estos gráficos son otra manera de representar la información que ya se ha discutido anteriormente, recordando que son técnicas complementarias para abordar la información.

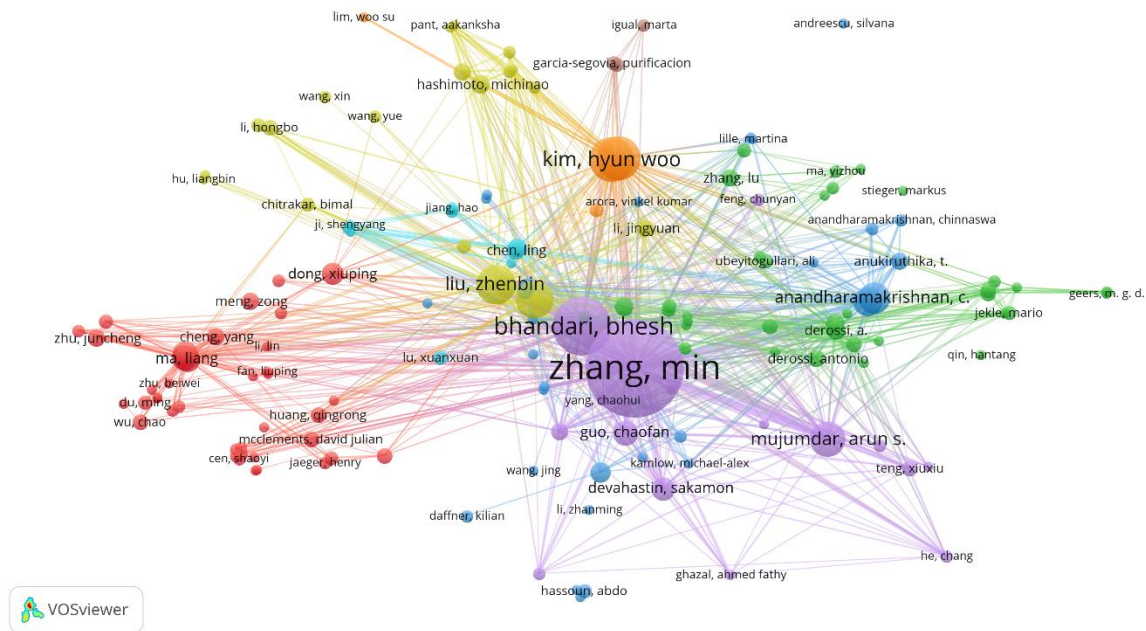


Figura 23. Red de análisis de citas de autores sobre impresión 3D de alimentos. (Autores con al menos 4 publicaciones y al menos 5 citas).

En la figura 23, se representa la red de análisis de citas de los autores estudiados en el análisis bibliométrico. Los criterios para generar la información gráfica fueron autores con al menos 4 publicaciones y al menos 5 citas. 170 autores distintos cumplieron con estos requisitos, de los cuales 158 formaban redes de colaboración. Se observaron 8 clusters distintos diferenciados por los colores. El clúster más grande (rojo) agrupó a 39 autores distintos. Los autores más prominentes, con un mayor número de publicaciones y que se encuentran en la parte central del gráfico son los mismos discutidos mediante las métricas de rendimiento.

6.3. Técnicas de Enriquecimiento:

6.3.1. Clustering: Mapas Temáticos

El mapa temático, figura 24, se construyó basándose en las palabras claves del autor. La posición del grupo, dada por el algoritmo de Walktrap, el cual permite identificar comunidades en grandes redes (Lee, Youngho; Lee, Yubin; Seong, Jeong; Stanescu, Ana; and Hwang, Chul Sue (2020) "A Comparison of Network Clustering Algorithms in Keyword Network Analysis: A Case Study with Geography Conference Presentations," International Journal of Geospatial and Environmental Research: Vol. 7: No. 3, Article 1). El gráfico de dos ejes se evalúa con el eje de las ordenadas en cuanto al grado de desarrollo de ese tema, midiendo el parámetro de densidad (ocurrencia). Mientras que el eje de las abscisas corresponde al grado de relevancia de este tema, midiendo la centralidad de este. El gráfico divide los cuatro cuadrantes en zonas donde se pueden agrupar en temáticas generales. El cuadrante I (arriba a la derecha) muestra los temas motores del campo estudiado. El cuadrante II, corresponde a los temas básicos de este campo de estudio. El cuadrante III, indica los temas emergentes o temas que se están saliendo del foco de investigación. Por último, el cuadrante IV, presenta a los temas de nicho, estos son temas que tienen una gran densidad de ocurrencias pero su grado de centralidad es muy bajo.

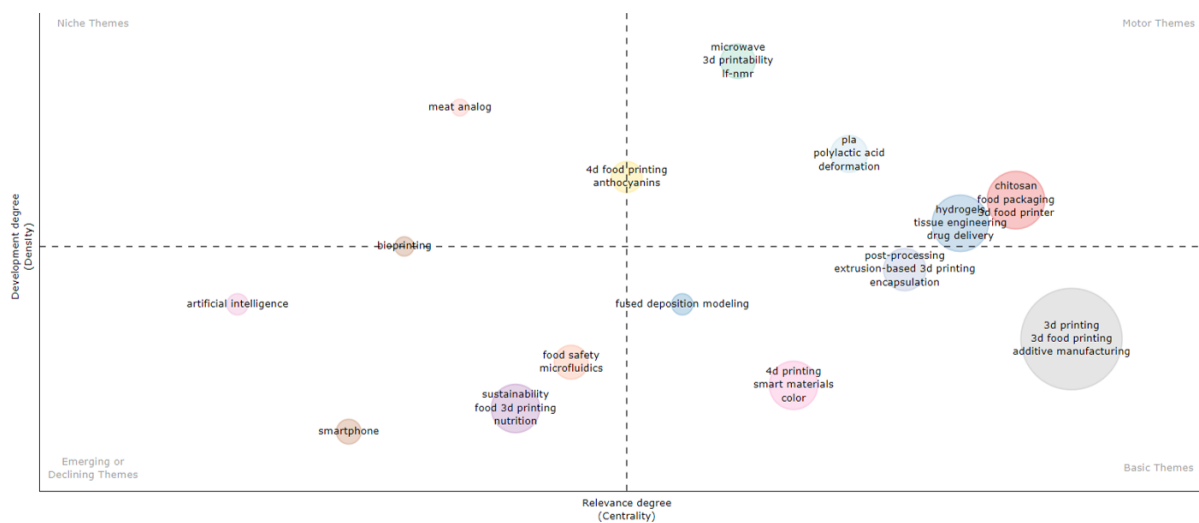


Figura 24. Mapeo temático palabras claves de autor.

Dentro de los temas motores se puede apreciar el grupo señalado en rojo, para una mejor inspección de este grupo se revela la red en la figura 25. En este grupo (a), principalmente aparecen los conceptos de quitosano, biopolímero, carboximetilcelulosa, compuestos bioactivos, antocianinas, etc. Lo que indica la importancia que le otorgan los investigadores a evaluar los materiales de impresión, aditivos y su aporte con otros campos que evalúan alimentos funcionales

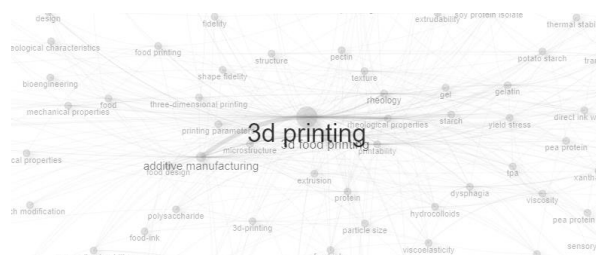
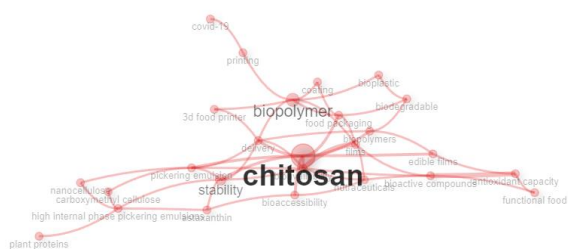


Figura 25. (a). Clúster representativo de temáticas motoras. (b) Clúster representativo de temáticas base.

Dentro de los temas básicos tenemos el grupo en gris, figura 25 (b), que contiene los temas de impresión 3D de alimentos, impresión 3D, manufactura aditiva. Acá también se encuentran los conceptos de propiedades reológicas, capacidad de impresión de los materiales, principales materiales de impresión como almidones, geles, propiedades mecánicas, propiedades físicas, etc. los cuales previamente bajo distintas otras métricas se habían determinado que son los temas principales de la investigación 3D de alimentos.

En cuanto a los temas emergentes, aquellos con mayor grado de centralidad son los que tienen relación con inocuidad, sustentabilidad y nutrición. Estos temas son grandes tópicos en sí y son ampliamente estudiados en el área de alimentos, por lo cual es esperable que al avanzar el estudio de la impresión 3D de alimentos, la necesidad de hacer estos procesos sustentables, inocuos y que generen productos nutritivos se comience a hacer una prioridad cada vez más importante.

Por otro lado, los temas de “smartphone” e inteligencia artificial en estos últimos años han generado una revolución en distintas áreas y a una velocidad sin precedentes (Miyazawa et al.,

2022). Por lo tanto, es previsible que también permee en la industria de alimentos con sus respectivas adaptaciones y particularidades.

Al analizar los grupos temáticos mediante una lista curada de sinónimos, se identificaron cuatro principales grupos temáticos, los cuales están representados en la figura 26. Estos grupos temáticos son: 3D Food Printing y propiedades físicas, sustentabilidad, tecnología, y finalmente, ingeniería y entrega de medicamentos.

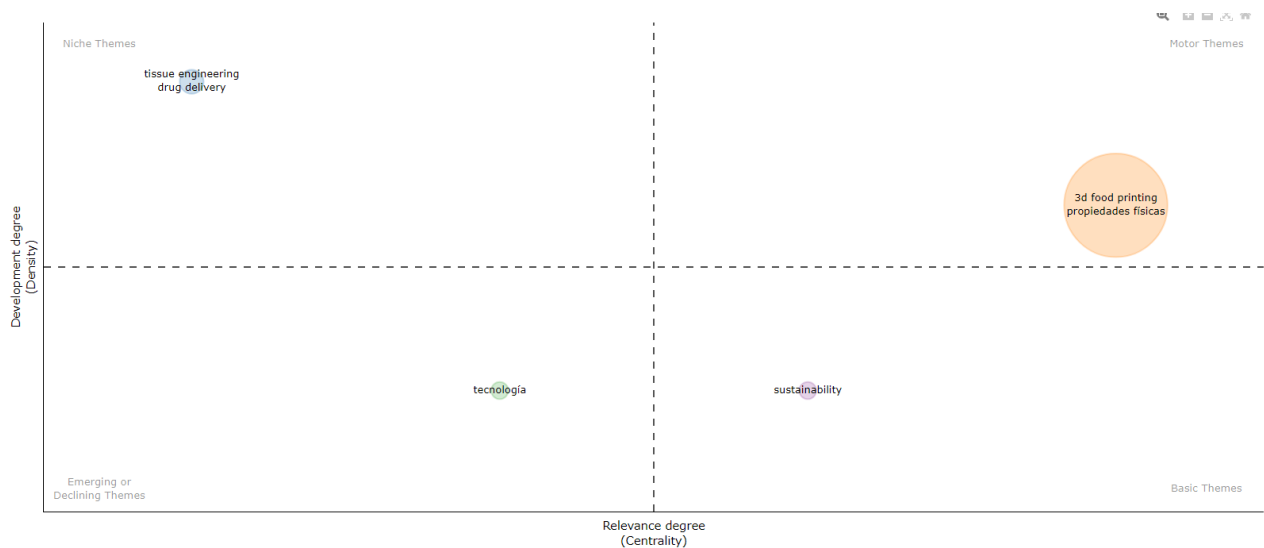


Figura 26. Mapeo temático palabras claves de autor, con agrupación por sinónimos.

En el clúster correspondiente a la impresión 3D de alimentos, los conceptos predominantes incluyen "3D Food Printing" con 679 ocurrencias, propiedades físicas y reología con 151 ocurrencias, materiales de impresión con 135 ocurrencias, capacidad de impresión (printability) con 44 ocurrencias, y texturas con 35 ocurrencias. Este clúster, al tratarse de los temas fundamentales y motores, proporciona una visión clara sobre las principales áreas de interés y las inquietudes que predominan entre los investigadores en este campo.

La predominancia de documentos agrupados en esta sección sugiere que la investigación en el ámbito de la impresión 3D de alimentos aún se encuentra en una fase incipiente. Este escenario es indicativo de que gran parte del esfuerzo investigativo se concentra en abordar y resolver cuestiones básicas, tales como los parámetros operacionales, las propiedades físicas de los materiales y la capacidad de impresión de las materias primas. Esta tendencia refleja la

necesidad de establecer una base sólida de conocimientos y técnicas antes de que el campo pueda avanzar hacia aplicaciones más complejas y especializadas.

Asimismo, la agrupación de estos conceptos indica que la comunidad científica está dedicando una cantidad considerable de recursos a comprender y mejorar los aspectos técnicos y materiales que son cruciales para el desarrollo de la impresión 3D de alimentos. Este enfoque es esencial para garantizar que las futuras aplicaciones de esta tecnología sean efectivas, eficientes y seguras. La etapa temprana de madurez de la investigación también destaca la oportunidad para futuras innovaciones y el potencial de crecimiento significativo en este campo emergente.

Otro tópico que genera interés en los investigadores corresponde al de la sustentabilidad. Este es de vital importancia por varias razones que abarcan aspectos ambientales, económicos y sociales. Estos no simplemente se enfocan directamente en la impresión 3D de alimentos si no que son transversales para la industria de alimentos y se ha puesto en un primer plano en los últimos años.

La sustentabilidad es un tema central en el desarrollo de esta tecnología y dadas sus características de fabricación aditiva puede generar un beneficio al minimizar el desperdicio de materias primas dado que esta tecnología permite utilizar ingredientes con precisión, creando productos alimenticios con la cantidad de materia necesaria. Esto no solo optimiza el uso de recursos sino que también ayuda considerablemente a reducir el volumen de residuos generados durante el proceso de producción. Asimismo al incorporar ingredientes sostenibles como lo pueden ser proteínas alternativas como los pueden ser el uso de insectos o algas y/o subproductos de la industria alimentaria se generan sistemas alimentarios mas resilientes y menos dependientes de recursos tradicionales así diversificando las fuentes de nutrientes y disminuyendo el impacto ambiental. Por otro lado, al comenzara a utilizar una tecnología nueva pueden impulsar la innovación y el desarrollo económico generando nuevas oportunidades de negocios y cambios en la industria de alimentos tradicional de una manera sustentable.

Dentro del clúster de tecnología se agrupan distintos conceptos de los cuales los mas rescatables para los autores corresponden a los de la aplicación de inteligencia artificial y el uso de smartphones. El desarrollo de estas tecnologías es crucial en los últimos años y su

aplicación en la industria de alimentos debe ser admitida en todos los niveles de la cadena industrial. El uso de estas tecnologías no solo mejora la personalización y la eficiencia, sino que también impulsa la innovación, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria. Estas tecnologías hacen que la impresión 3D de alimentos sea más accesible y funcional, con el potencial de transformar significativamente la industria alimentaria. Dentro de las investigaciones del estudio realizado se presenta el uso smartphones donde funcionan como interfaces de control para impresoras 3D de alimentos, facilitando la operación remota y el monitoreo en tiempo real del proceso de impresión, donde los usuarios pueden ajustar parámetros, iniciar o detener la impresión, y recibir notificaciones sobre el estado de sus proyectos. También se habla de la accesibilidad y la democratización de esta tecnología ya que, los smartphones hacen que la tecnología de impresión 3D de alimentos sea más accesible para el público general, permitiendo a cualquier persona con un dispositivo móvil participar en esta innovadora forma de preparación de alimentos.

Por otro lado, el uso de inteligencia artificial está nombrado dentro de las investigaciones y su aplicación en la industria de alimentos como una herramienta novedosa y equiparable a la impresión 3D de alimentos, con ventajas comparables como lo son beneficios significativos en términos de eficiencia, calidad, personalización y sostenibilidad. Donde la adopción de estas tecnologías permite a las empresas alimentarias innovar, optimizar sus operaciones y responder de manera más efectiva a las necesidades y preferencias de los consumidores.

Finalmente en el clúster de ingeniería de tejido y “drug delivery” se abordan estos temas representativos que son ampliamente estudiados no tan solo por el sector de salud si no que también llaman la atención de los investigadores de alimentos. Estos temas bordean el campo exclusivo de alimentos y la aplicación de tecnologías emergentes es utilizada de manera transversal para distintas áreas del desarrollo científico.

Tabla 10. Documentos representativos de los clústeres temáticos.

	Publicación	Autores	Año	Citas
3d food printing	1 3D PRINTING TECHNOLOGIES APPLIED FOR FOOD DESIGN: STATUS AND PROSPECTS	GODOI FC;PRAKASH S;BHANDARI BR	2016	468
	2 ADDITIVE MANUFACTURING OF MULTI-MATERIAL STRUCTURES	BANDYOPADHYAY A;HEER B	2018	438
	3 3D PRINTING: PRINTING PRECISION AND APPLICATION IN FOOD SECTOR	LIU ZB;ZHANG M;BHANDARI B;WANG YC	2017	367
Sustentabilidad	1 INTERNET OF NONTHERMAL FOOD PROCESSING TECHNOLOGIES (IONTP): FOOD INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABILITY	JAMBRAK AR;NUTRIZIO M;DJEKIC I;PLESLIC S;CHEMAT F	2021	51
	2 4D PRINTING: PERSPECTIVES FOR THE PRODUCTION OF SUSTAINABLE PLASTICS FOR AGRICULTURE	JAMBRAK AR;NUTRIZIO M;DJEKIC I;PLESLIC S;CHEMAT F	2022	19
	3 EMERGING TRENDS IN THE AGRI-FOOD SECTOR: DIGITALISATION AND SHIFT TO PLANT-BASED DIETS	HASSOUN A;BOUKID F;PASQUALONE A;BRYANT CJ;GARCÍA	2022	13
Tecnología	1 3D PRINTING TECHNOLOGIES APPLIED FOR FOOD DESIGN: STATUS AND PROSPECTS	GODOI FC;PRAKASH S;BHANDARI BR	2016	486
	2 ADDITIVE MANUFACTURING OF MULTI-MATERIAL STRUCTURES	BANDYOPADHYAY A;HEER B	2018	438
	3 3D PRINTING: PRINTING PRECISION AND APPLICATION IN FOOD SECTOR	LIU ZB;ZHANG M;BHANDARI B;WANG YC	2017	367
Tissue engineering	1 ENGINEERING INKJET BIOPRINTING PROCESSES TOWARD TRANSLATIONAL THERAPIES	ANGELOPOULOS I;ALLENBY MC;LIM M;ZAMORANO M	2020	62
	2 3D PRINTING: APPLICATIONS IN TISSUE ENGINEERING, MEDICAL DEVICES, AND DRUG DELIVERY	KALYAN BGP;KUMAR L	2022	29
	3 3D BIOPRINTING AT THE FRONTIER OF REGENERATIVE MEDICINE, PHARMACEUTICAL, AND FOOD INDUSTRIES	RAMADAN Q;ZOUROB M	2021	21

Como se observa en la tabla 10, los documentos representativos para los clústeres temáticos referentes a impresión 3D de alimentos, corresponden a publicaciones de tipo review donde se abordan principalmente temáticas generales, estados del arte, evaluación del futuro de la tecnología y la aplicación de esta en el área de alimentos. Autores como Godoi, Prakash, Bandari, Bandyopadhyay, Zhang, son los principales autores referentes a esta temática general como ha sido demostrado hasta ahora.

Para el caso del clúster de sustentabilidad, las publicaciones presentes en la tabla 10 presentan temas de mayor generalidad y hablan de una necesidad de la industria completa de adoptar de manera transversal este concepto de sustentabilidad. Aquí es donde se utiliza como ejemplo la impresión 3D de alimentos al ser una tecnología de manufactura aditiva y minimizar desechos en el proceso de fabricación. La autora Anet Režek Jambrak, es la principal desarrolladora presente en este estudio de los temas referentes a la sustentabilidad aplicada a la industria de alimentos con un foco importante en una industria 4.0, el cual implica una transformación digital profunda de las industrias mediante el uso de tecnologías inteligentes y conectadas que permiten una producción más eficiente, flexible y personalizada.

En cuanto a la aplicación del clúster de tecnología, se ejemplifican por publicaciones de tipo review que destacan el desarrollo y la inclusión del uso de smartphones e inteligencia artificial dentro de la industria de alimentos y a su vez aplicarlo de manera integral a los procesos de manufactura con impresión 3D de alimentos. Nuevamente, autores como Godoi, Bandyopadhyay y Liu, adoptan estas temáticas y promueven el uso de estas tecnologías en adición a los procesos tradicionales.

Finalmente, el clúster referente a ingeniería de tejido y “drug delivery” se ven temas relacionados de manera mas cercana con el sector salud. Sin embargo estos toman recursos utilizados y aplicados por la impresión 3D en el sector de alimentos. Como es el caso de la publicación realizada por Kalyan, donde se propone que la impresión 3D de alimentos puede suponer un buen método no tan solo de generación de tejidos si no que un buen vehículo para la liberación dirigida de compuestos bioactivos o medicamentos. Así también la publicación de Ramadan, permite acortar la brecha entre el área de salud y el sector de alimentos mediante la impresión 3D.

Para evaluar el interés de los investigadores en las temáticas a lo largo del desarrollo de la investigación de impresión 3D de alimentos, consideramos la ocurrencia de palabras claves y su frecuencia a lo largo del tiempo. Para ello se seleccionó un criterio de frecuencia de al menos 15 y un número de ocurrencia por año de 5, con la utilización de listado de sinónimos, los cuales se ven graficados en la figura 27.

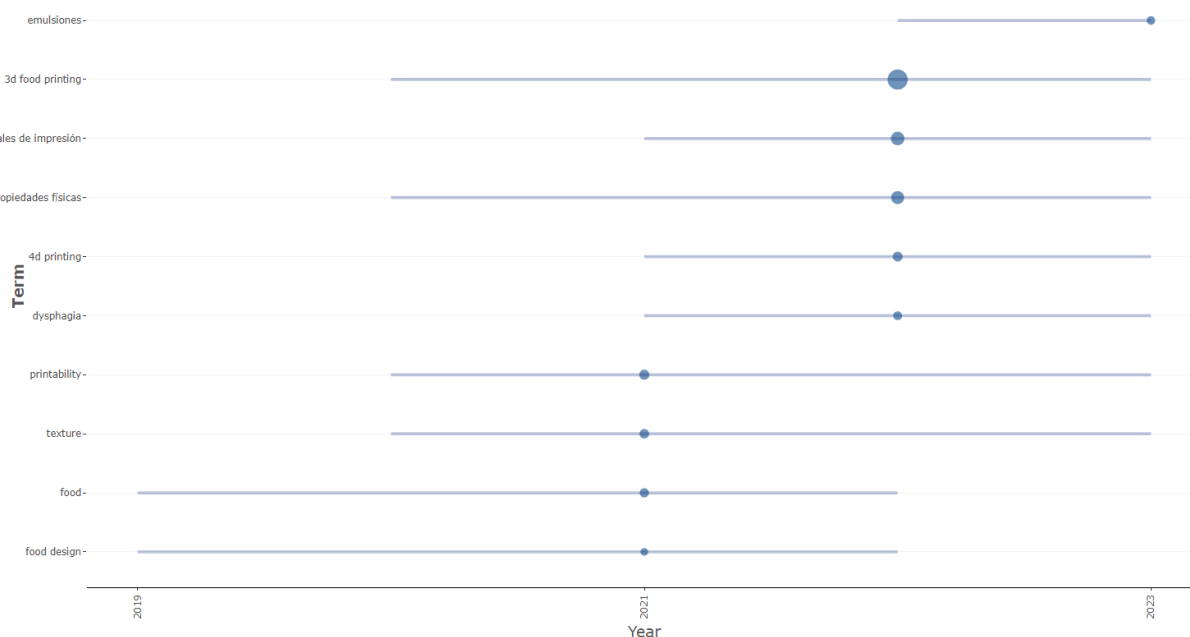


Figura 27. Tendencia de palabras clave por año.

Dada la frecuencia acumulada de publicaciones en los años 2019 en adelante se traduce en que los documentos que cumplen con los criterios anteriormente nombrados están dentro del periodo 2019-2023. La figura 27 nos permite determinar tendencias e intereses de investigación en una escala de tiempo y no tan solo de manera general como ha sido descrito anteriormente. Palabras claves como food design y food, corresponden a las palabras claves que se encuentran representadas con mayor anterioridad. Esto se debe a que son conceptos generales y de amplio espectro que comparten en mayor medida los documentos analizados en el estudio. Por otro lado, al madurar el campo de investigación se refleja que tanto los temas denominados como básicos son los que se presentan con las palabras claves “texture”, “printability”, “propiedades físicas”, “3D food printing, comienzan a aparecer en el campo de investigación de manera temprana y estos se mantienen de manera transversal durante el periodo de tiempo estudiado. A medida que el campo de estudio progresa palabras claves

como disfgia o emulsiones sugieren la aplicaci3n de los fundamentos te3ricos planteados por las investigaciones realizadas anteriormente y su propio aporte al campo de estudio. Esta tendencia se puede observar claramente en la figura 27, donde en una etapa temprana del estudio la importancia radica en sembrar los fundamentos te3ricos y en el caso de la tecnologa de impresi3n 3D de alimentos, los par3metros operacionales, fisicoqu3micos y reol3gicos para su posterior aplicaci3n y conjunta soluci3n de problemas de aplicaci3n que pueden estar ligados a ciencias biom3dicas o el sector de la industria alimentaria.

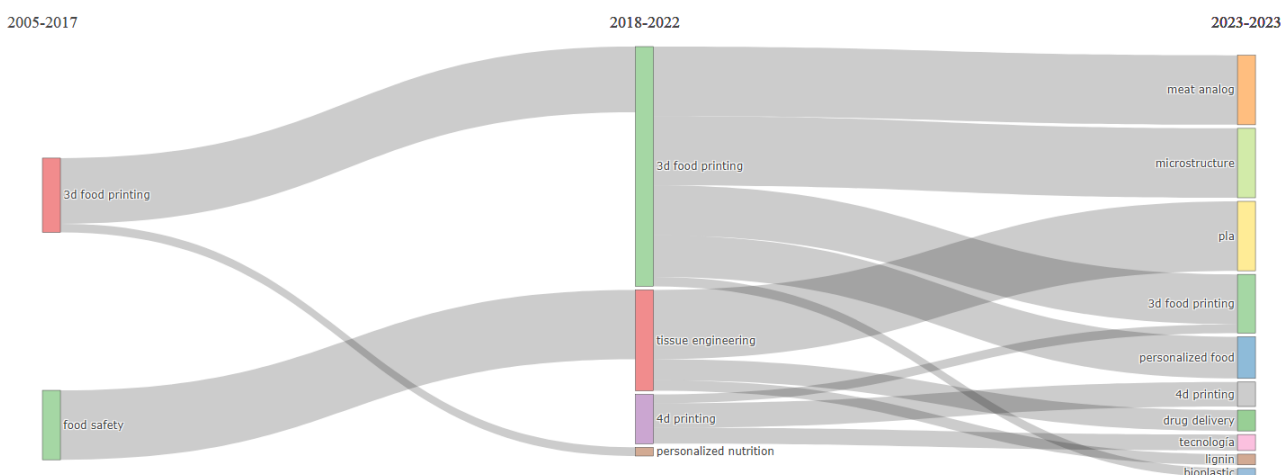


Figura 28. Evoluci3n tem3tica

En la misma lnea anterior, la figura 28 presenta un diagrama de Sankey que considera una divisi3n de 3 periodos de tiempo que nos permiten ver la evoluci3n tem3tica de las publicaciones en impresi3n 3d de alimentos en los periodos 2005-2017, 2018-2022 y 2023-2023, donde se refleja como los temas est3n conectados y desarrollados en el tiempo. Durante el primer periodo se observa que solo dos temas se ven reflejados siendo estos temas generales y b3sicos como lo son la impresi3n 3D de alimentos y la inocuidad alimentaria. En el segundo periodo comienza a diversificarse los temas abordados por los documentos con importancia en primer lugar la impresi3n 3d de alimentos, como tema b3sico dado a lo incipiente del campo, seguido de ingeniera de tejidos, 4d printing y nutrici3n personalizada lo que nos da cuenta del crecimiento y prematura diversificaci3n de tem3ticas abordadas. Finalmente en el ultimo periodo de tiempo, la diversificaci3n tem3tica del campo y sus t3picos muestra una temprano deseo de aplicaci3n de la tecnologa en diversas 3reas como lo son

7. CONCLUSIÓN

La impresión 3D de alimentos es un campo emergente que ha comenzado a ser estudiado en profundidad en los últimos años. En esta revisión bibliométrica se reveló la que producción científica se ha concentrado en los últimos años generando progresivamente más y más publicaciones en este tema año tras año. El país con mayor interés por la investigación 3D de alimento es China, donde las universidades de Jiangnan y Zhejiang son las más prolíficas en cuanto al número de publicaciones. Así mismo los autores Zhang y Bhandari, Kim, Liu y Prakash corresponden a tanto los más citados y con mayor número de publicaciones. Las revistas con mayor impacto para la impresión 3D de alimentos son *Food hydrocolloids*, *Journal of food engineering* y *Foods*. Documentos como los de Ligon, 2017 y Godoi, 2016 corresponden a los más influyentes y son referenciados no tan solo en impresión 3D de alimentos si no que por áreas multidisciplinarias. Para los documentos de Liu, 2017, Lille, 2018 y Yang, 2018, podemos concluir que estos son los con mayor impacto para el área de estudio de impresión 3D de alimentos. En cuanto a las palabras claves más frecuentes, se pueden agrupar en las que guían de manera general la investigación y están relacionadas a la impresión 3D, reología, características fisicoquímicas de los materiales de impresión y parámetros operacionales.

Comparativamente, Chile y Latinoamérica en general poseen un bajo número de publicaciones propias de la región. Es por esto por lo que se genera la necesidad de colaborar más con los investigadores e instituciones establecidas para la investigación en este novedoso campo. Este estudio identificó los principales actores locales en Chile, los cuales en términos de instituciones son la Universidad del Bío-Bío y la Universidad de Chile y los autores con un alto porcentaje de co-autoría, Gipsy Tabilo-Munizaga, Mario Perez-Won, Nailin Carvajal-Mena y Roberto Lemus-Mondaca son los que lideran la investigación a nivel local en impresión 3D de alimentos. Así entonces este permite tener una visión del desarrollo y perspectivas de investigación para quienes quieran abordar la impresión 3D en alimentos como una línea de estudio.

8. REFERENCIAS

- Ahmed, A., Azam, A., Aslam Bhutta, M. M., Khan, F. A., Aslam, R., & Tahir, Z. (2021). Discovering the technology evolution pathways for 3D printing (3DP) using bibliometric investigation and emerging applications of 3DP during COVID-19. In *Cleaner Environmental Systems* (Vol. 3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100042>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bandyopadhyay, A., & Heer, B. (2018). Additive manufacturing of multi-material structures. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 129, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2018.04.001>
- Chen, X., & Liu, Y. (2020). Visualization analysis of high-speed railway research based on CiteSpace. *Transport Policy*, 85, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.10.004>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609–1630. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>
- Derossi, A., Paolillo, M., Verboven, P., Nicolai, B., & Severini, C. (2022). Extending 3D food printing application: Apple tissue microstructure as a digital model to create innovative cereal-based snacks. *Journal of Food Engineering*, 316, 110845. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110845>
- Disegno 3D S.P.A. (n.d.). *Manufactura aditiva*.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021a). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021b). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

- Fasogbon, B. M., & Adebo, O. A. (2022). A bibliometric analysis of 3D food printing research: A global and African perspective. In *Future Foods* (Vol. 6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100175>
- Gebhardt, A. (2011). *Understanding Additive Manufacturing*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446431621.fm>
- Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 179, pp. 44–54). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>
- Hansen, C., Steinmetz, H., & Block, J. (2022). How to conduct a meta-analysis in eight steps: a practical guide. In *Management Review Quarterly* (Vol. 72, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11301-021-00247-4>
- Herrera-Lavados, C., Tabilo-Munizaga, G., Rivera-Tobar, D., Carvajal-Mena, N., Palma-Acevedo, A., Moreno-Osorio, L., & Pérez-Won, M. (2023). Development of bean-based emulgels for 3D printing applications: Feasibility for dysphagia diets. *Journal of Food Engineering*, 358, 111687. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111687>
- Isherwood, D., & Coetzee, M. (2011). Enhancing Digital Business Ecosystem trust and reputation with centrality measures. *2011 Information Security for South Africa*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISSA.2011.6027535>
- Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., & Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chemical Reviews*, 117(15), 10212–10290. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S., & Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015). Additive manufacturing for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 43(1), 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.004>

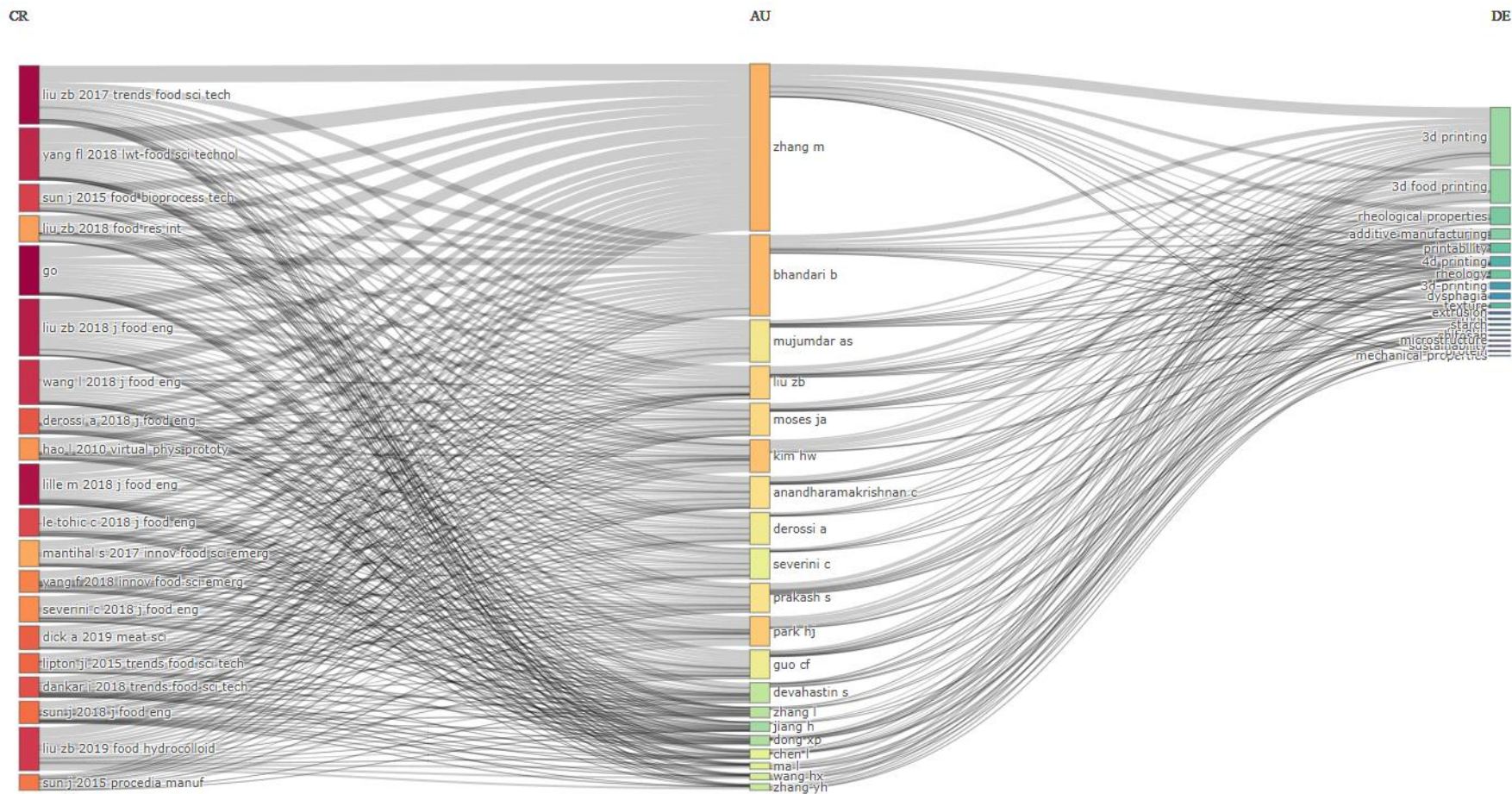
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, *69*, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>
- Mantihal, S., Kobun, R., & Lee, B. B. (2020). 3D food printing of as the new way of preparing food: A review. In *International Journal of Gastronomy and Food Science* (Vol. 22). AZTI-Tecnalia. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100260>
- Miyazawa, T., Hiratsuka, Y., Toda, M., Hatakeyama, N., Ozawa, H., Abe, C., Cheng, T.-Y., Matsushima, Y., Miyawaki, Y., Ashida, K., Iimura, J., Tsuda, T., Bushita, H., Tomonobu, K., Ohta, S., Chung, H., Omae, Y., Yamamoto, T., Morinaga, M., ... Miyazawa, T. (2022). Artificial intelligence in food science and nutrition: a narrative review. *Nutrition Reviews*, *80*(12), 2288–2300. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac033>
- Nachal, N., Moses, J. A., Karthik, P., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Applications of 3D Printing in Food Processing. In *Food Engineering Reviews* (Vol. 11, Issue 3, pp. 123–141). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09199-8>
- Palmatier, R. W., Houston, M. B., & Hulland, J. (2018). Review articles: purpose, process, and structure. In *Journal of the Academy of Marketing Science* (Vol. 46, Issue 1). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11747-017-0563-4>
- Pesta, B., Fuerst, J., & Kirkegaard, E. (2018). Bibliometric Keyword Analysis across Seventeen Years (2000–2016) of Intelligence Articles. *Journal of Intelligence*, *6*(4), 46. <https://doi.org/10.3390/jintelligence6040046>
- Sahu, A., & Jena, P. (2022). Lotka's law and author productivity pattern of research in law discipline. *Collection and Curation*, *41*(2), 62–73. <https://doi.org/10.1108/CC-04-2021-0012>
- Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y. H., Hong, G. S., & Chiu, A. (2015). A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. *Procedia Manufacturing*, *1*, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010a). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010b). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Visal Moosa, Faizan Ali, & Ahmed Mohamed. (2021). *How to use Bibliometric Analysis for Writing a Research Paper*. <https://www.youtube.com/watch?v=tCz3bZKrtaw>
- Yang, F., Zhang, M., Bhandari, B., & Liu, Y. (2018). Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. *LWT*, *87*, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.054>
- Zhang, J., Yu, Q., Zheng, F., Long, C., Lu, Z., & Duan, Z. (2016). Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, *67*(4), 967–972. <https://doi.org/10.1002/asi.23437>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, *18*(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

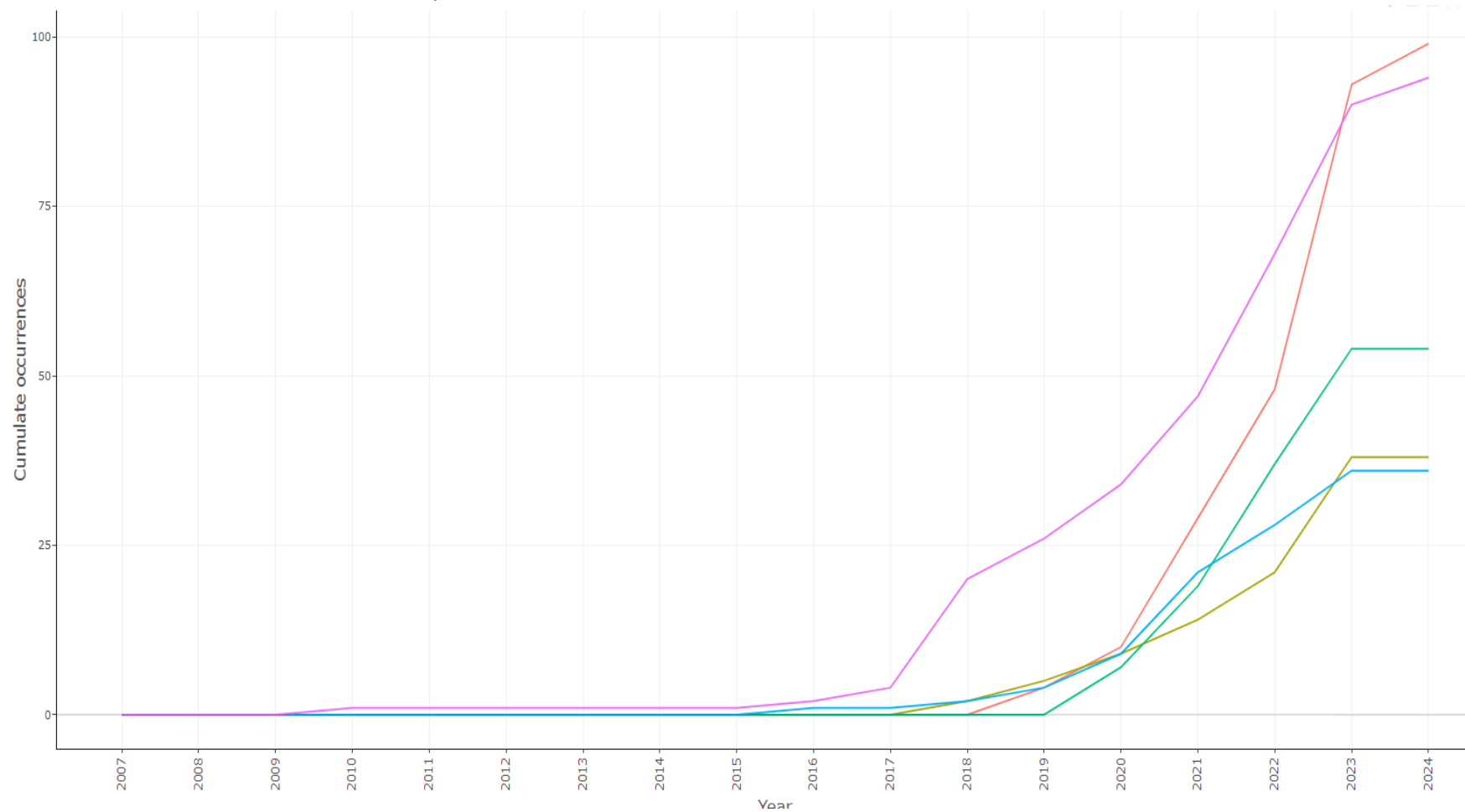
9. ANEXO

9.1. Información bibliométrica adicional generada por software Bibliometrix:

Anexo 1. Gráfico de 3 campos, Autores-Referencias-Keywords

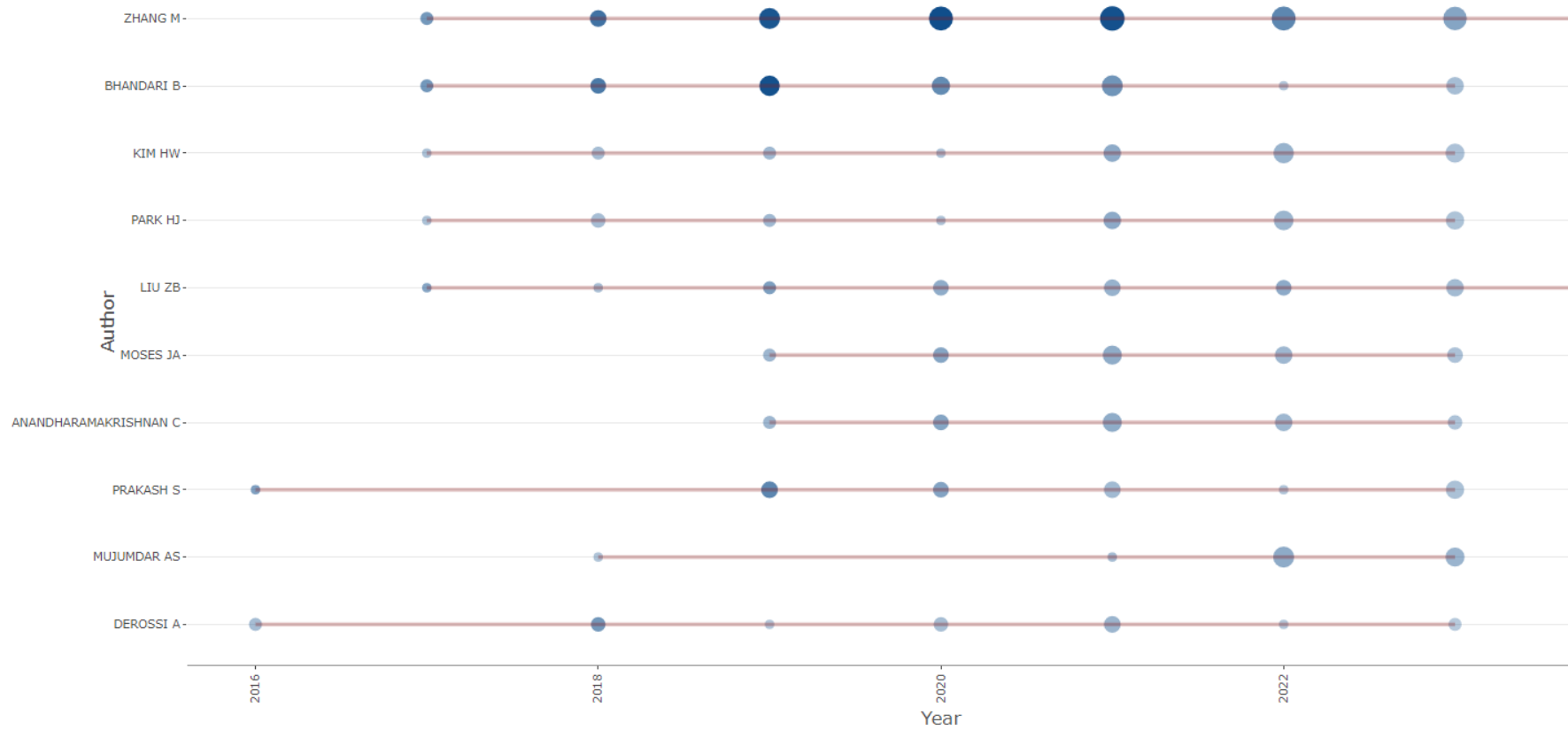


Anexo 3. Producción de fuentes en el tiempo



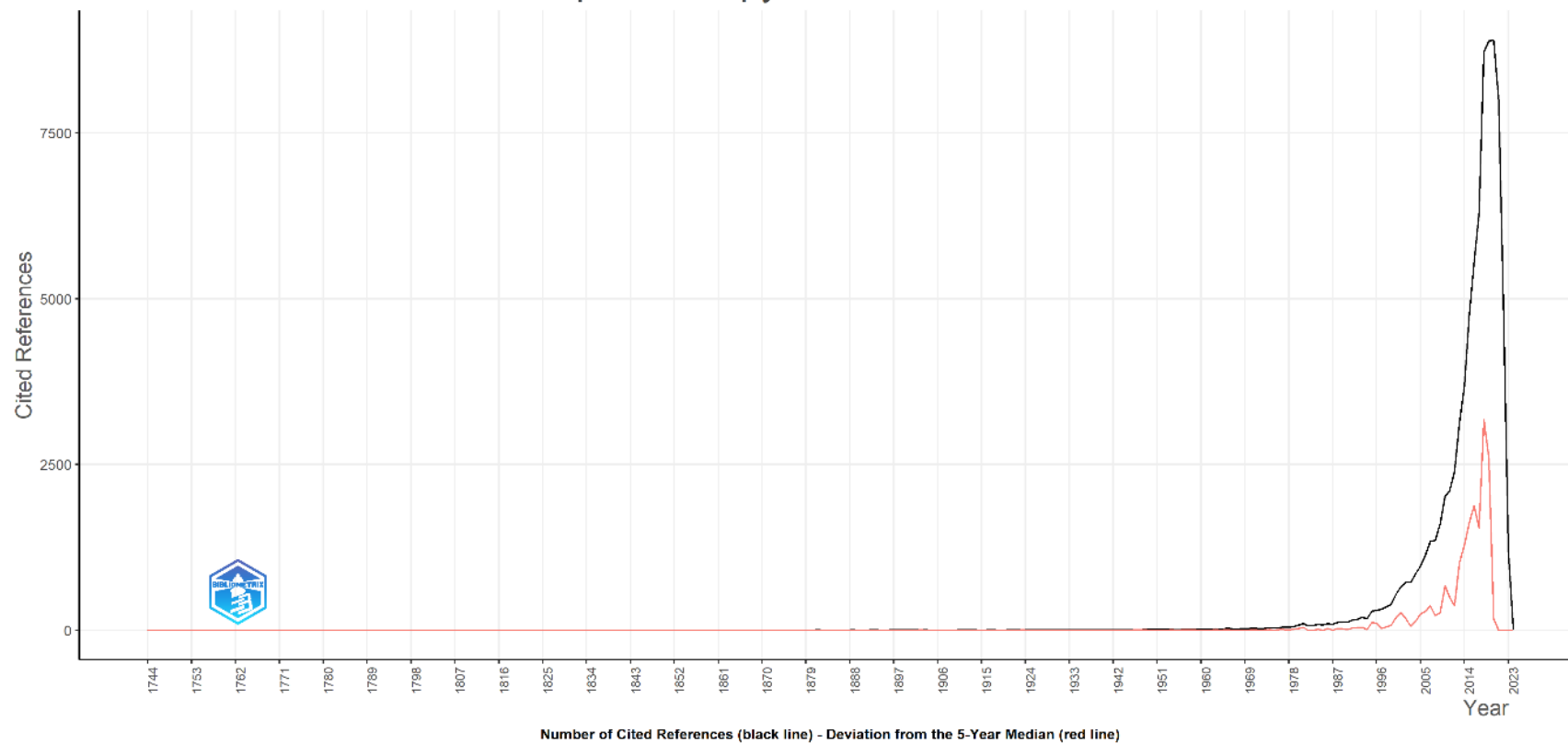
En rojo, Food Hydrocoloids. Rosado, Journal of food engineering. En verde, Foods. Verde oscuro, Food research internationals. En celeste, Innovative food science and emerging technologies.

Anexo 4. Producción de autores en el tiempo (10 autores con más publicaciones)



Anexo 5. Espectroscopia de referencias

Reference Publication Year Spectroscopy

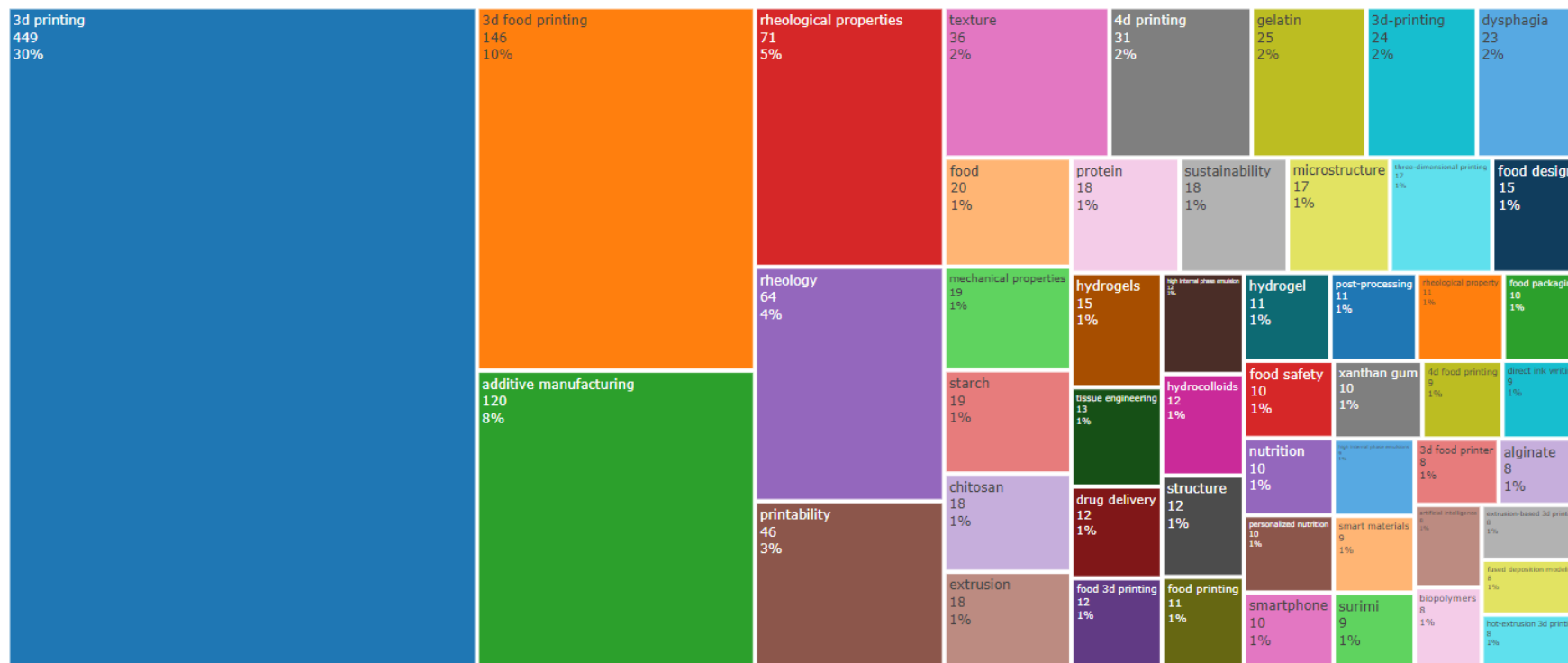


Anexo 6. Wordcloud (Palabras claves de autor)



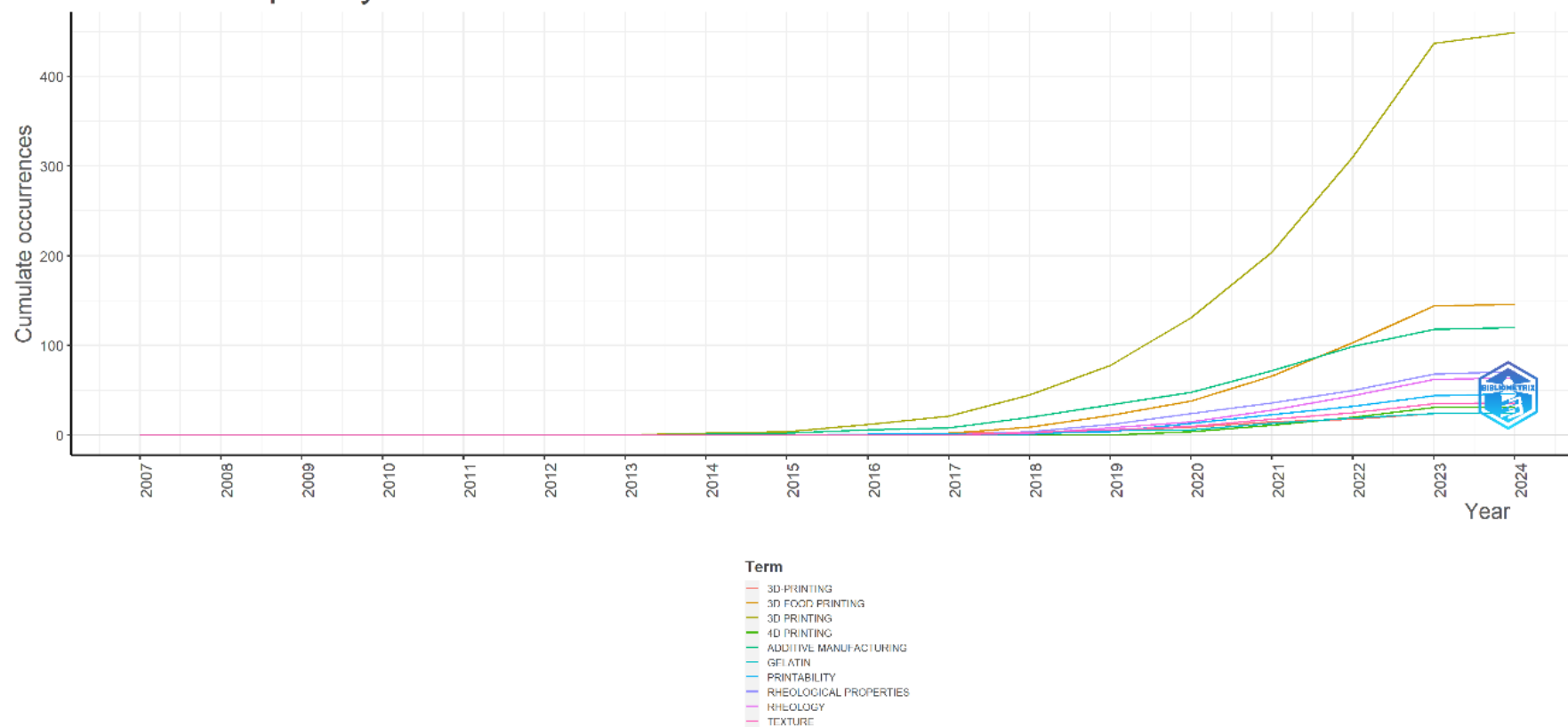
Anexo 7. TreeMap palabras claves autor

Tree



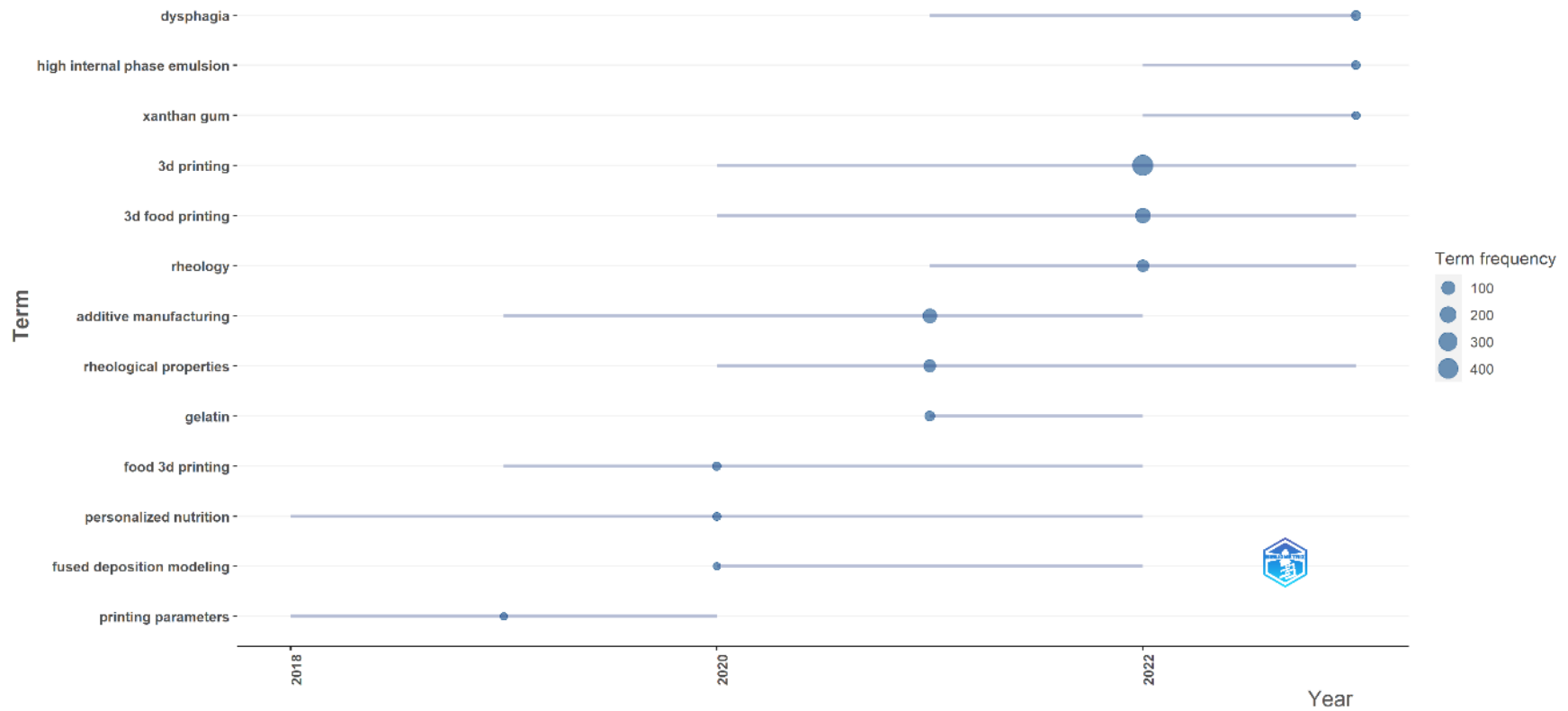
Anexo. 8 frecuencia de palabras claves en el tiempo (10 palabras más recurrentes)

Words' Frequency over Time



Anexo 9. Tendencia de los temas en base palabras claves.

Trend Topics

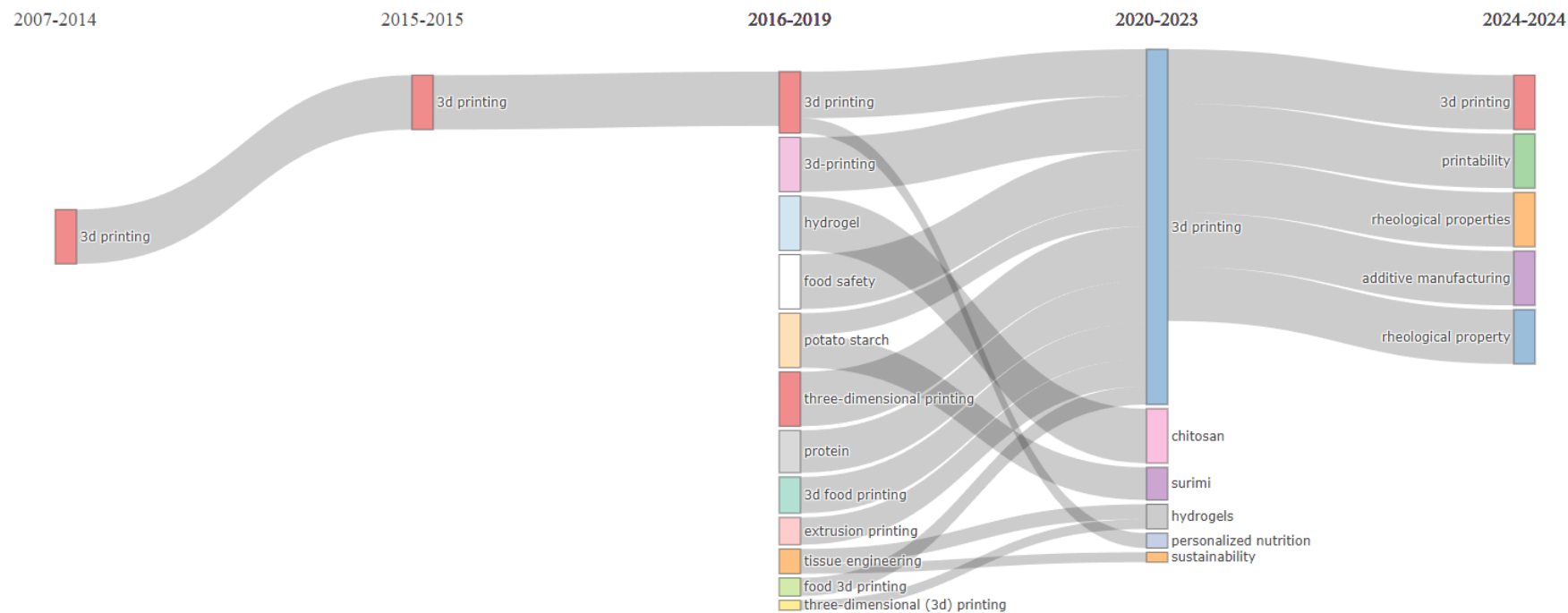


Anexo 10. Tabla Co-ocurrencia de palabras claves con métricas de red.

Node	Cluster	Betweenness	Closeness	PageRank
3d printing	2	773.78	0.0181818182	0.22241679
additive manufacturing	4	135.92	0.0136986301	0.08835215
3d food printing	4	56.63	0.0112359551	0.07307090
rheology	4	70.02	0.0129870130	0.05957622
rheological properties	4	25.29	0.0121951220	0.05369287
printability	4	4.39	0.0121951220	0.04060252
texture	4	15.24	0.0120481928	0.03611653
gelatin	2	47.87	0.0116279070	0.02548035
dysphagia	4	4.20	0.0114942529	0.02534397
microstructure	4	0.12	0.0113636364	0.01803598
extrusion	4	4.61	0.0113636364	0.01786614
protein	4	4.78	0.0114942529	0.01707190
hydrocolloids	4	0.32	0.0111111111	0.01652046
starch	4	0.19	0.0109890110	0.01475849
drug delivery	1	46.20	0.0103092784	0.01466427
hydrogels	2	1.45	0.0113636364	0.01446719
4d printing	2	0.00	0.0100000000	0.01407921
smart materials	3	0.73	0.0106382979	0.01295683
food	4	0.00	0.0105263158	0.01236054
high internal phase				
emulsion	2	0.21	0.0103092784	0.01229593
mechanical properties	4	0.16	0.0106382979	0.01215288
food design	4	0.16	0.0107526882	0.01212541
structure	4	0.08	0.0106382979	0.01153663
chitosan	2	0.12	0.0101010101	0.01015205
nutrition	4	0.00	0.0094339623	0.00986163
tissue engineering	1	0.00	0.0101010101	0.00958725
xanthan gum	4	0.07	0.0105263158	0.00955034
post-processing	4	0.08	0.0105263158	0.00934102
rheological property	2	0.06	0.0101010101	0.00887590
sustainability	4	0.00	0.0104166667	0.00857177

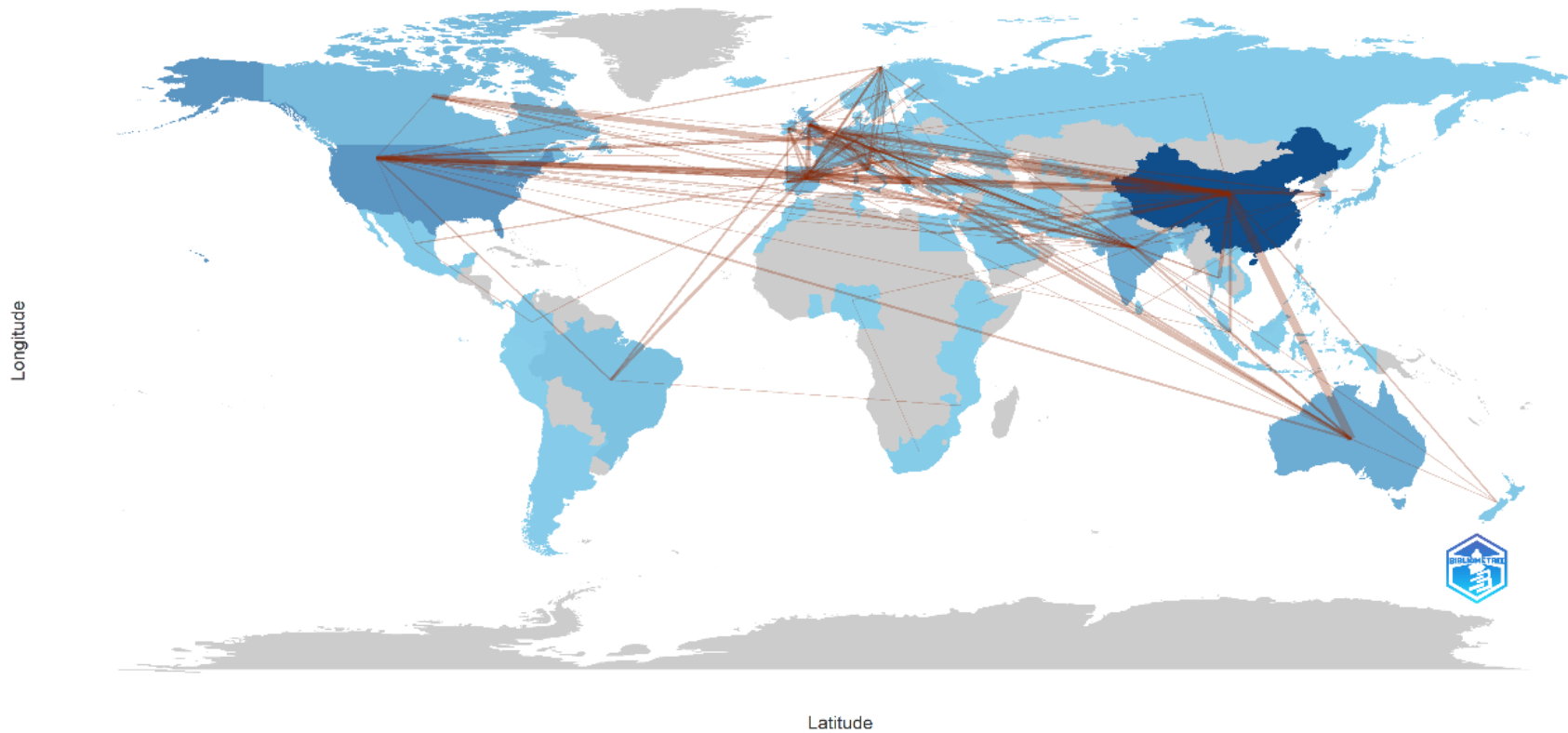
food printing	4	0.00	0.0105263158	0.00848927
personalized nutrition	4	0.10	0.0105263158	0.00839389
high internal phase				
emulsions	2	0.00	0.0099009901	0.00758646
hydrogel	2	0.00	0.0099009901	0.00702878
3d-printing	4	0.06	0.0083333333	0.00694533
surimi	4	0.08	0.0102040816	0.00688303
4d food printing	3	0.00	0.0100000000	0.00660036
direct ink writing	4	0.06	0.0102040816	0.00632535
food 3d printing	4	0.01	0.0085470085	0.00619173
food packaging	2	0.00	0.0099009901	0.00591341
biopolymers	2	0.00	0.0099009901	0.00535573
alginate	5	0.00	0.0069930070	0.00520244
food safety	2	0.00	0.0099009901	0.00479805
artificial intelligence	2	0.00	0.0099009901	0.00479805
three-dimensional printing	4	0.00	0.0084033613	0.00470051
fused deposition modeling	4	0.00	0.0084033613	0.00470051
extrusion-based 3d printing	6	0.00	0.0075757576	0.00436262
smartphone	2	0.00	0.0099009901	0.00424036

Anexo 11. Evolución temática en impresión 3D de alimentos.



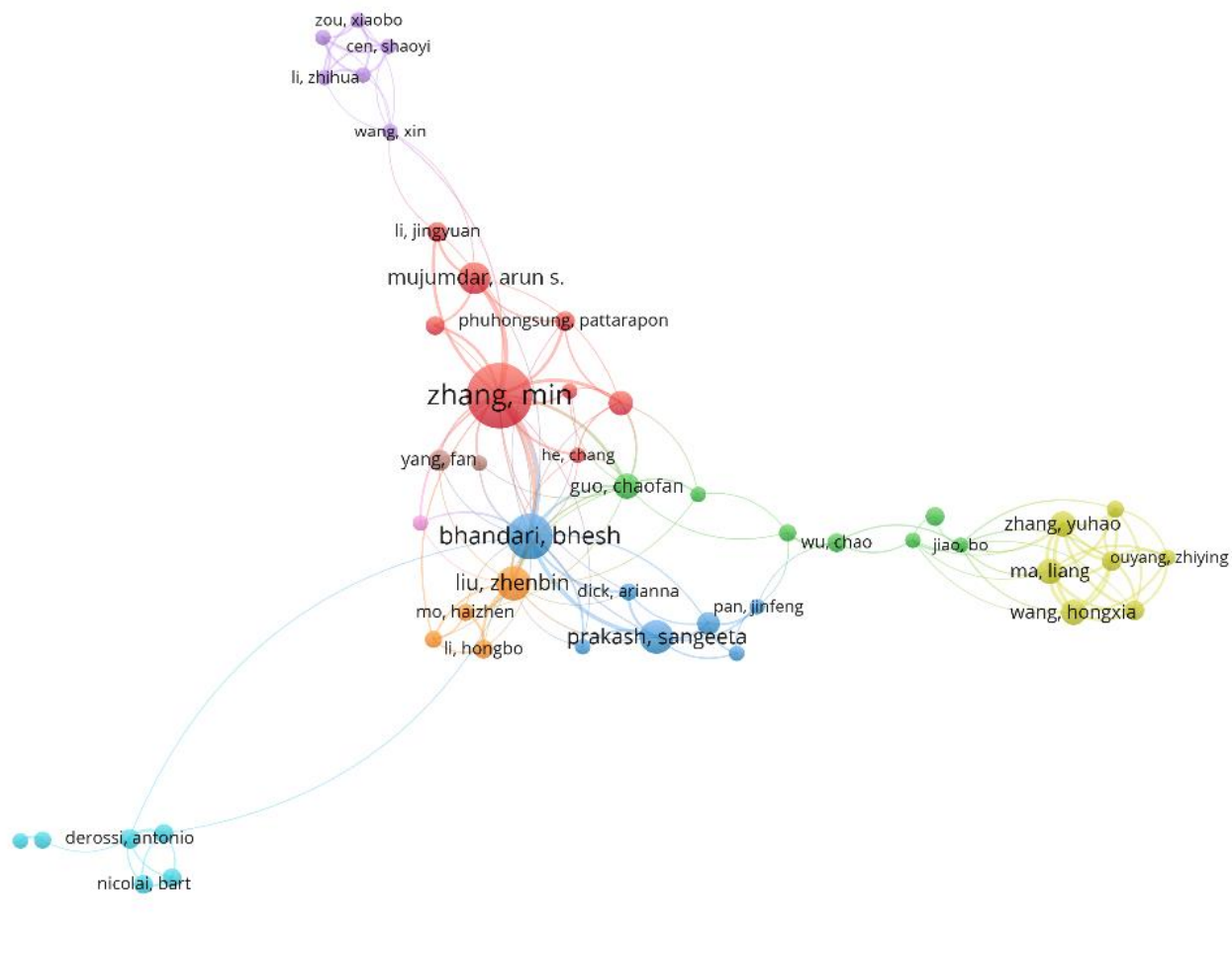
Anexo 12. Mapa de colaboración

Country Collaboration Map

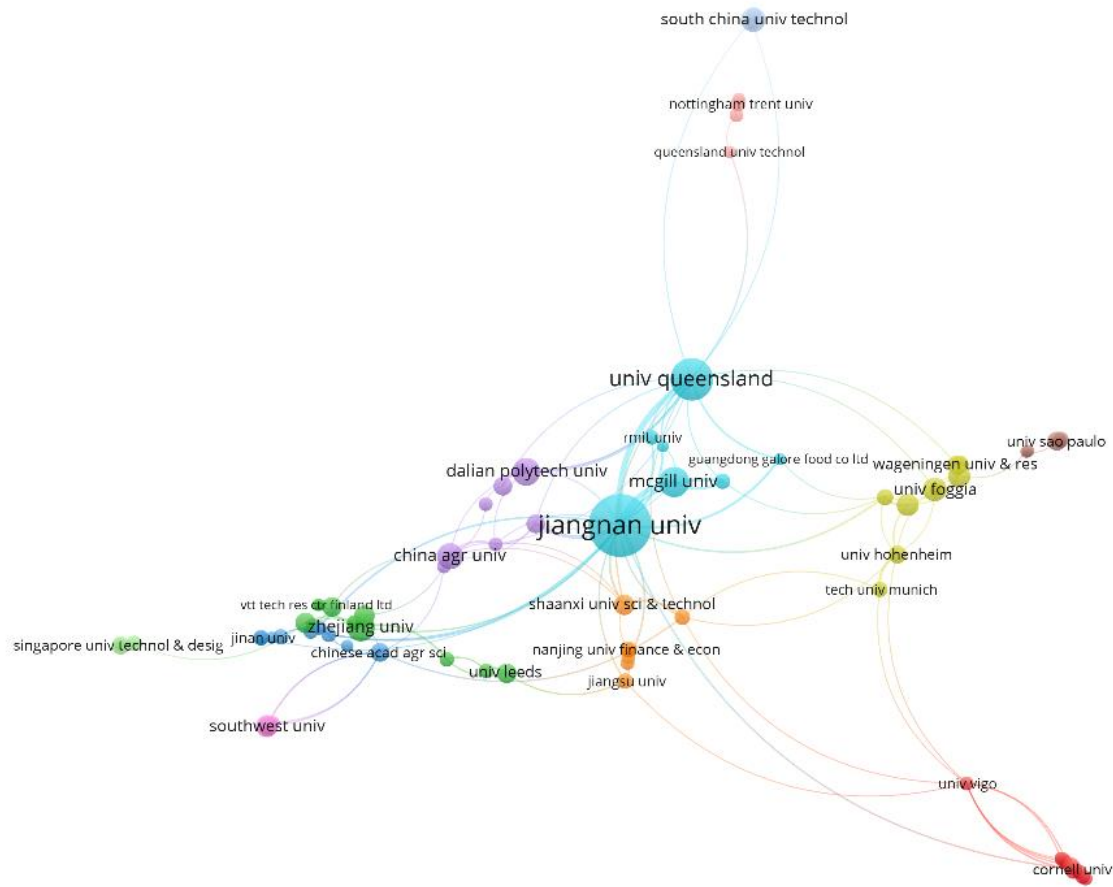


9.2. Información bibliométrica adicional generada por software VOSviewer.

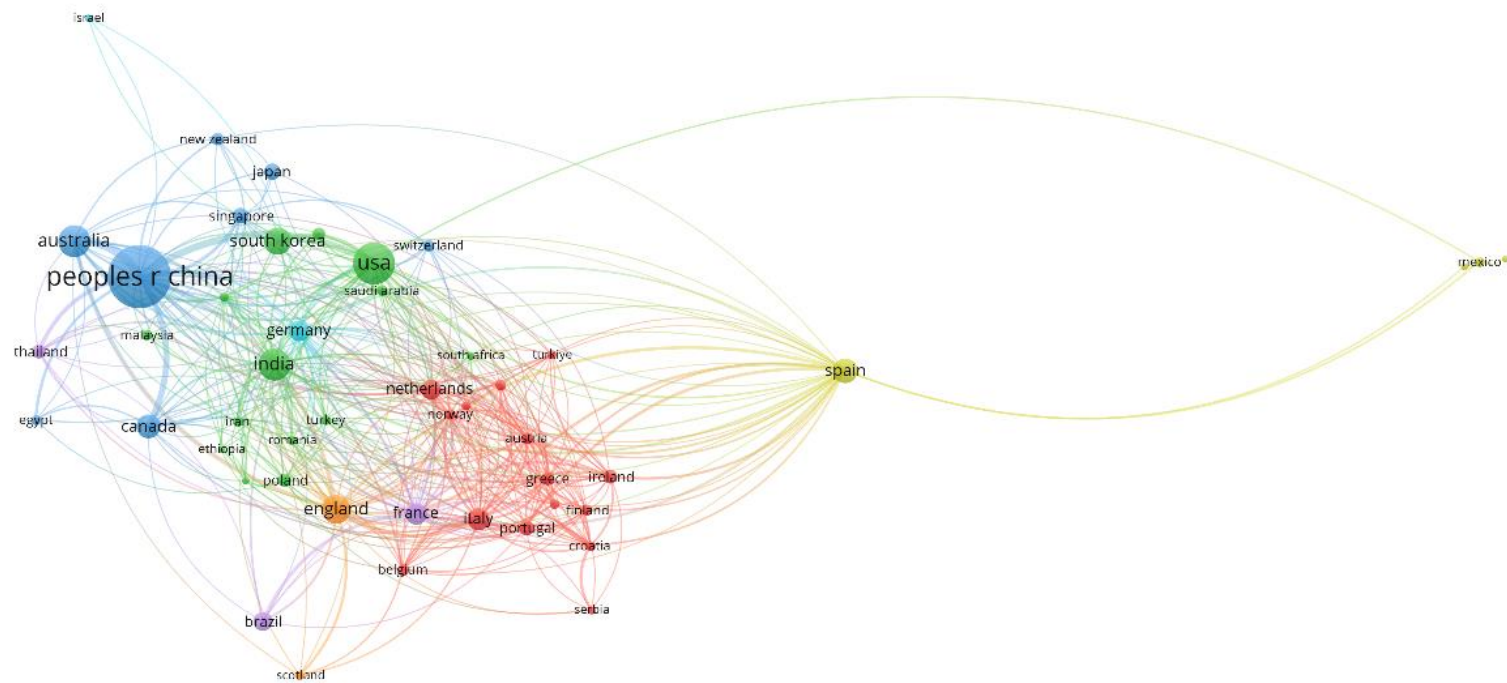
Anexo 13 Análisis de Co-autoría, unidad de análisis autores, mínimo 5 documentos y 0 citas. 97 autores presentes, 48 en red.



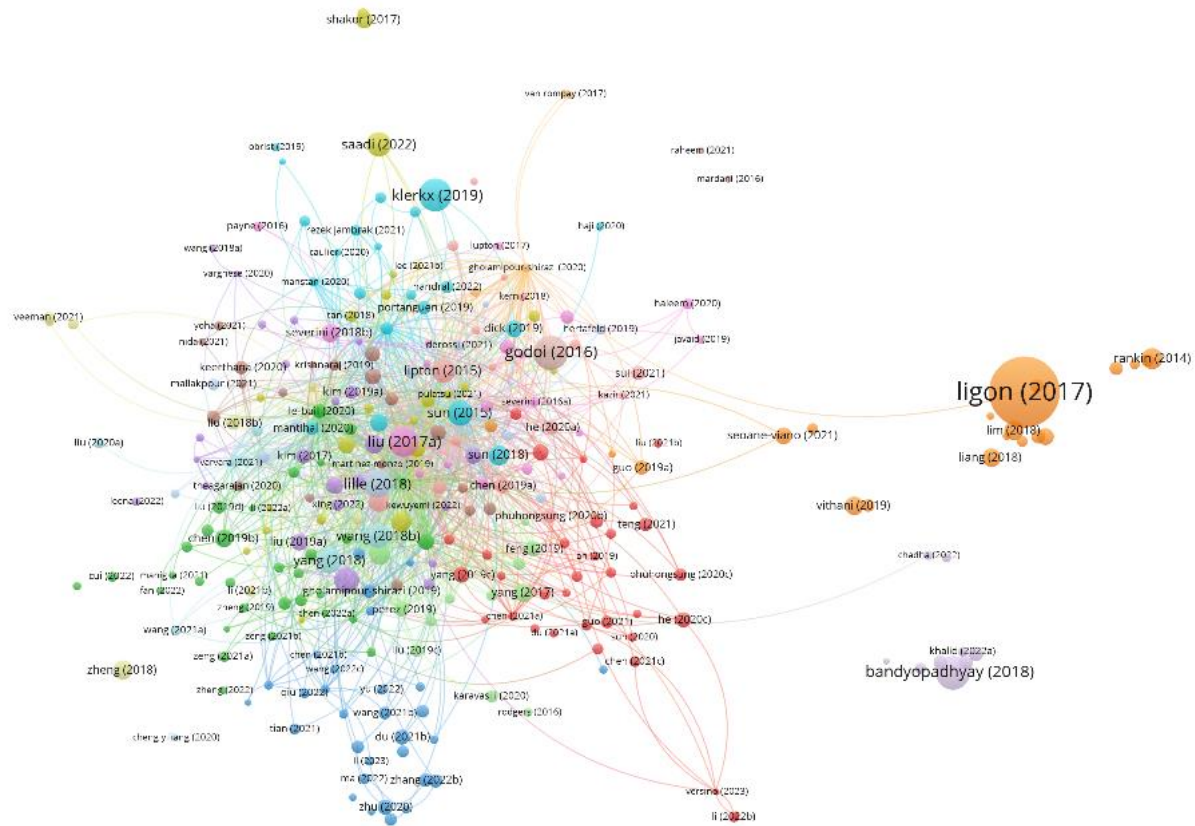
Anexo 14. Análisis de Co-autoría, unidad de análisis organizaciones, mínimo 5 documentos y 0 citas. 98 instituciones presentes, 82 en red.



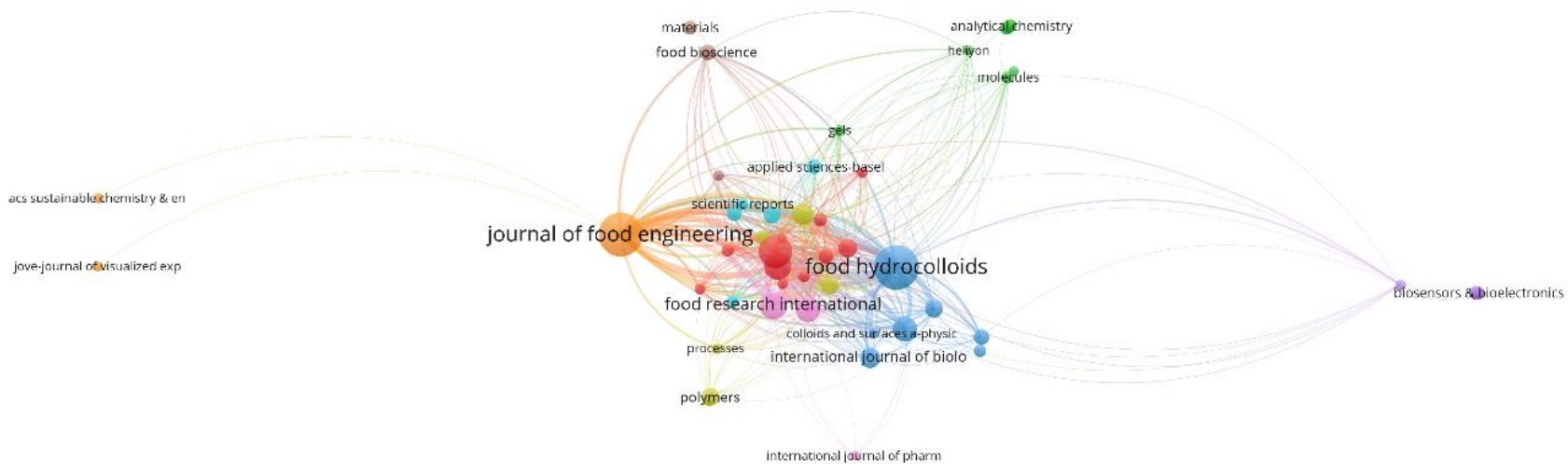
Anexo 15 Análisis de Co-autoría, unidad de análisis países, mínimo 5 documentos y 0 citas. 49 países presentes, 48 en red.



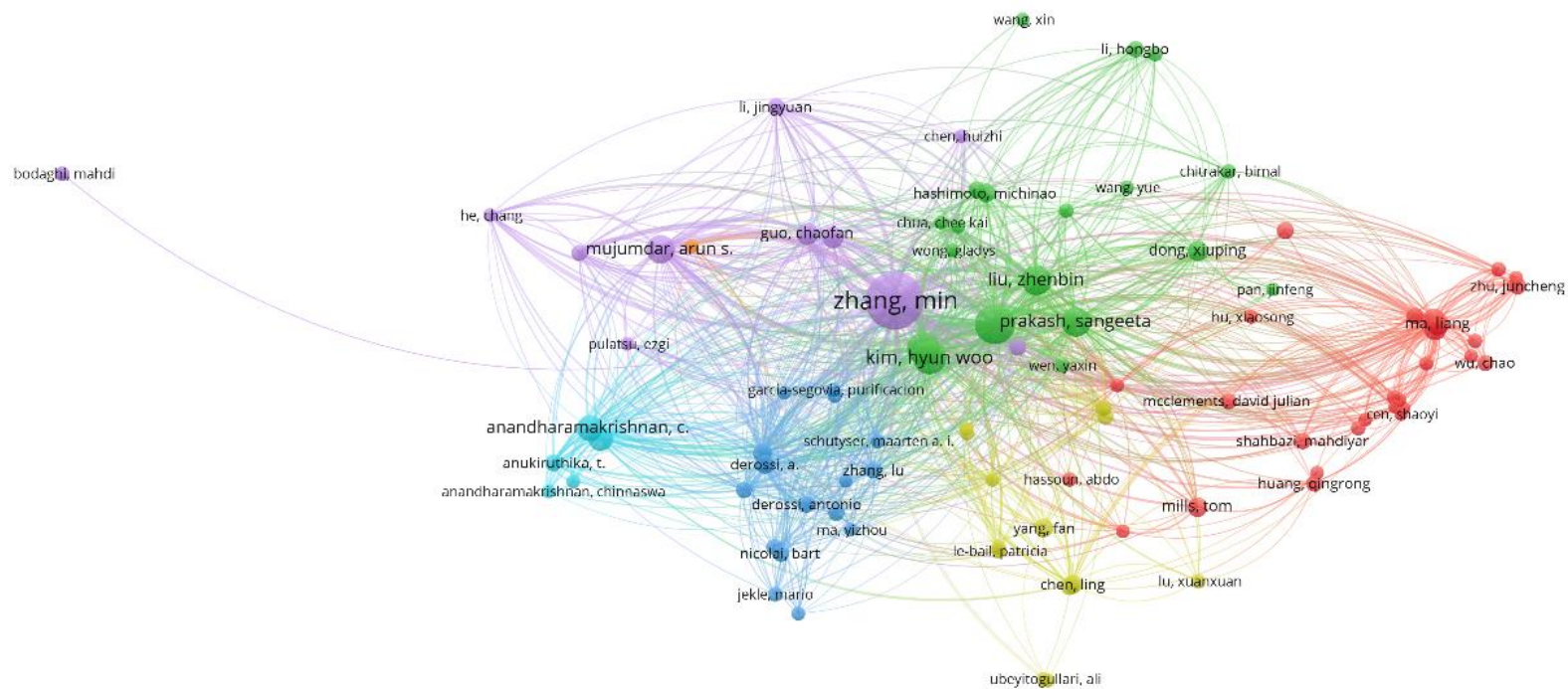
Anexo 18 Análisis de citas, unidad de análisis documentos, mínimo 20 citas. 416 documentis presentes, 293 en red.



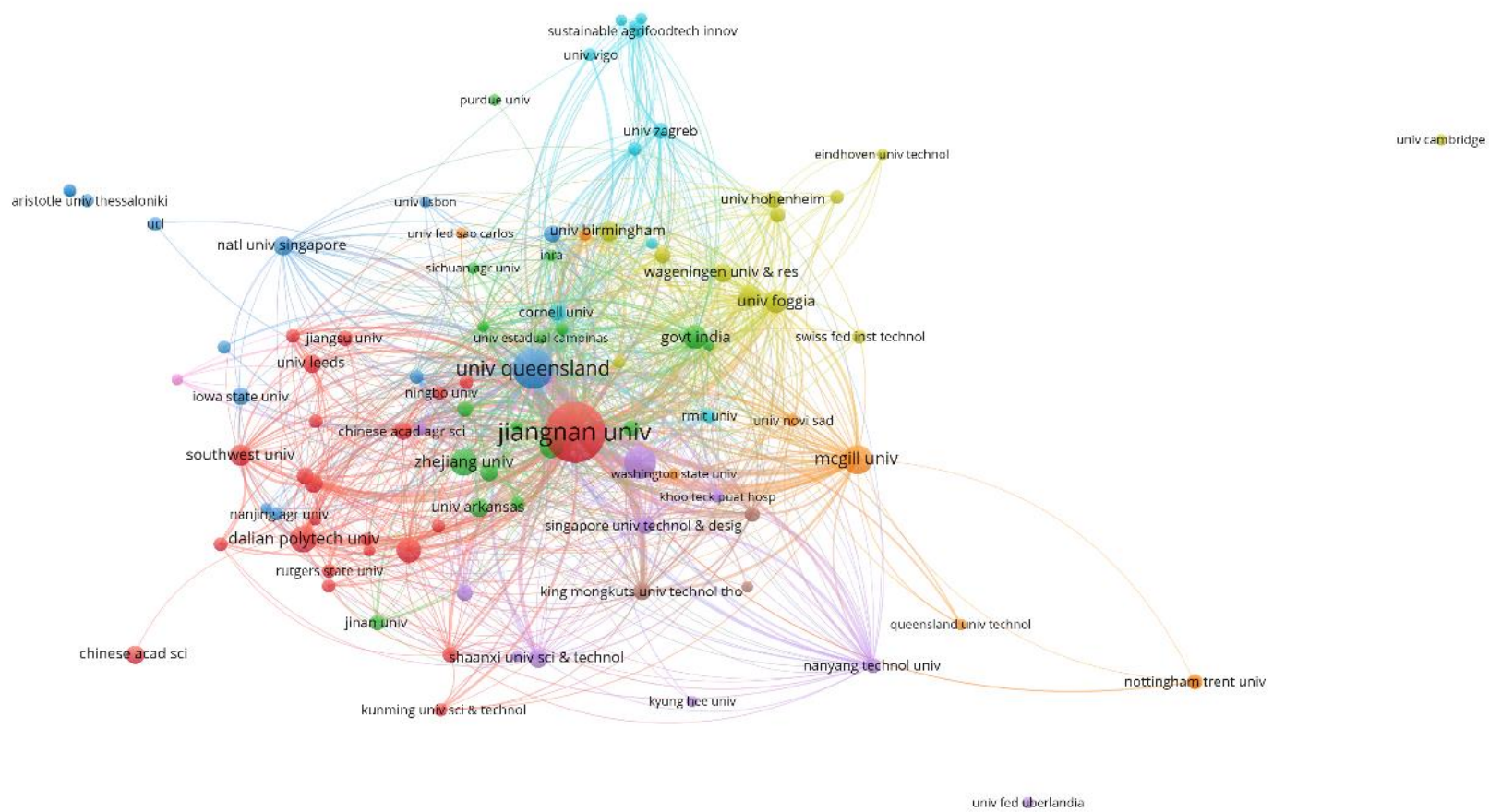
Anexo 19 Análisis de citas, unidad de análisis fuentes, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 53 fuentes, 51 en red.



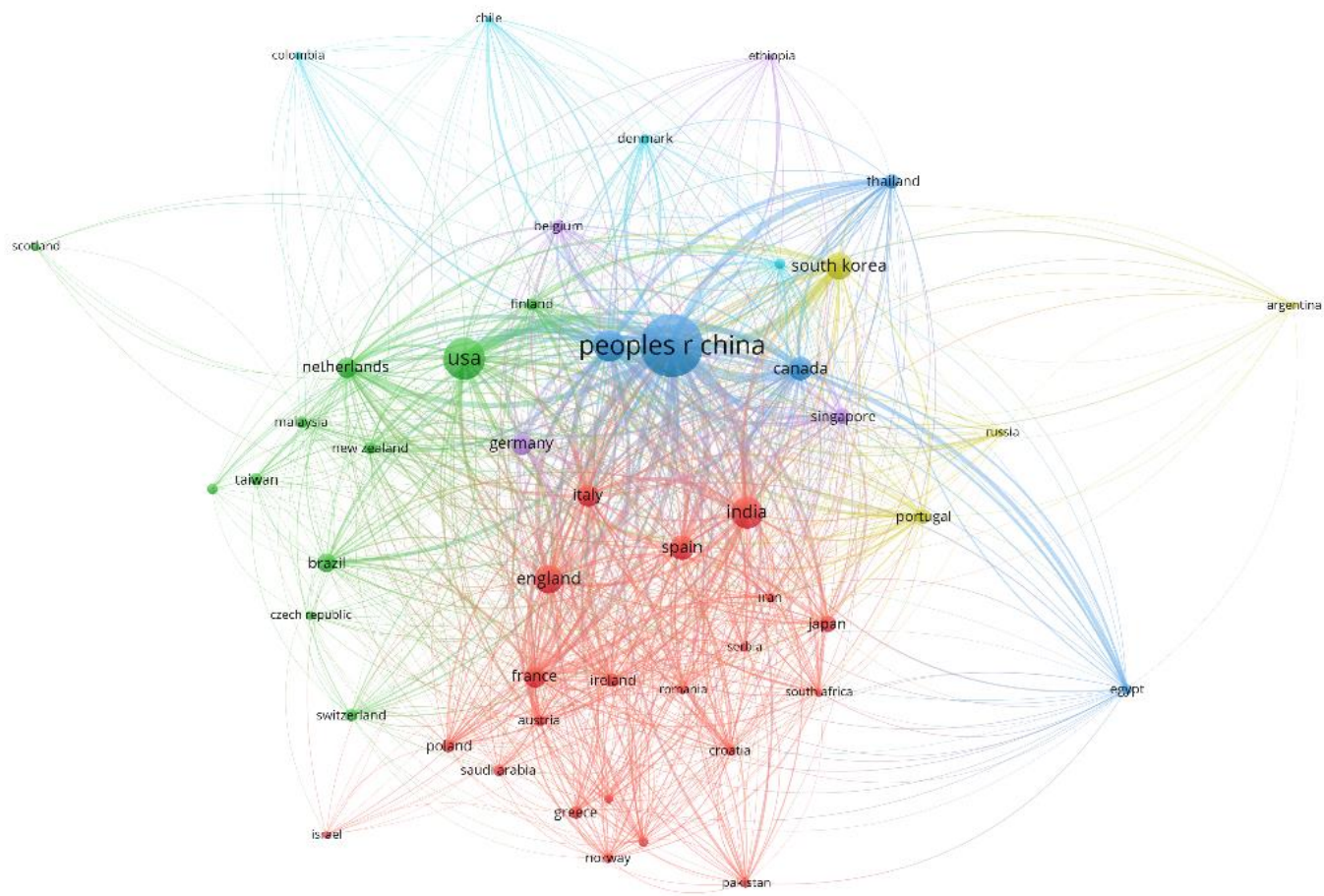
Anexo 20 Análisis de citas, unidad de análisis autores, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 97 autores, 94 en red.



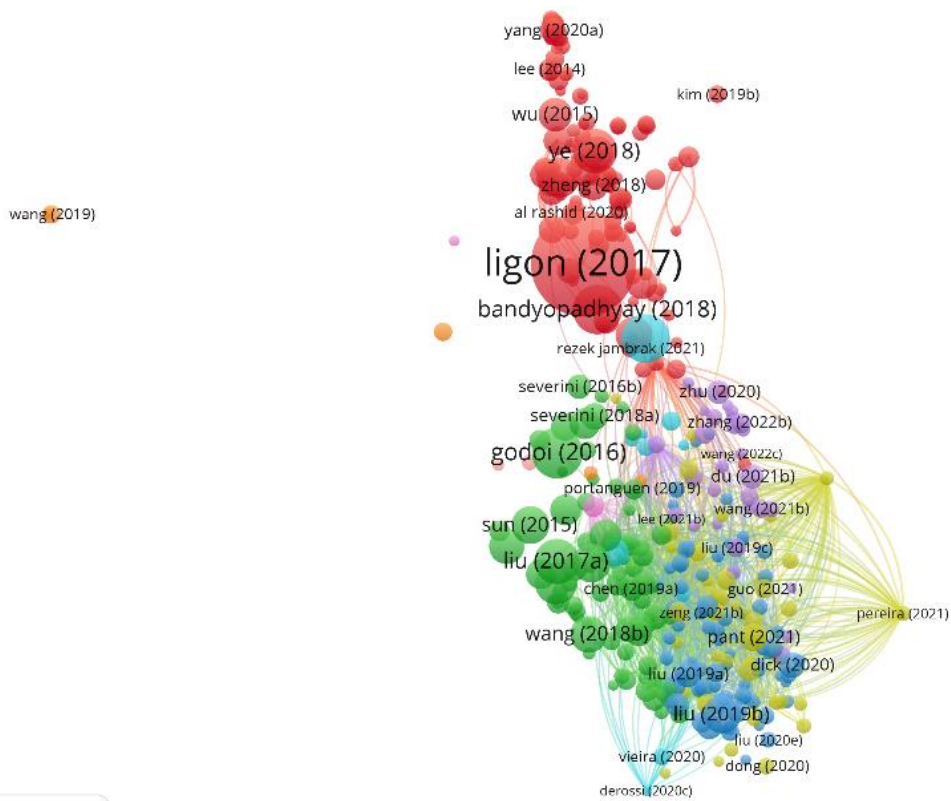
Anexo 21 Análisis de citas, unidad de análisis organizaciones, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 98 organizaciones.



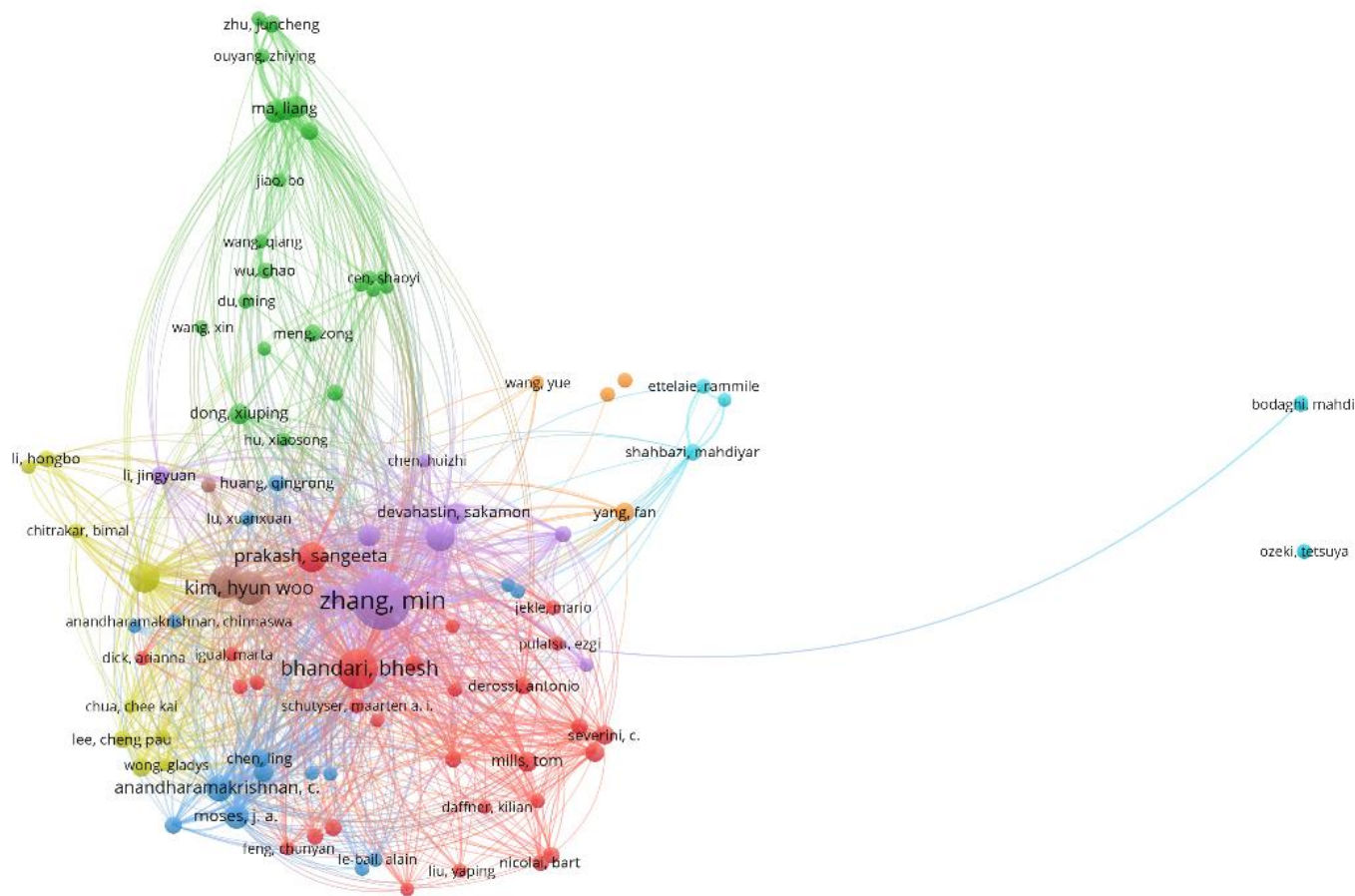
Anexo 22 Análisis de citas, unidad de análisis países, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 49 países.



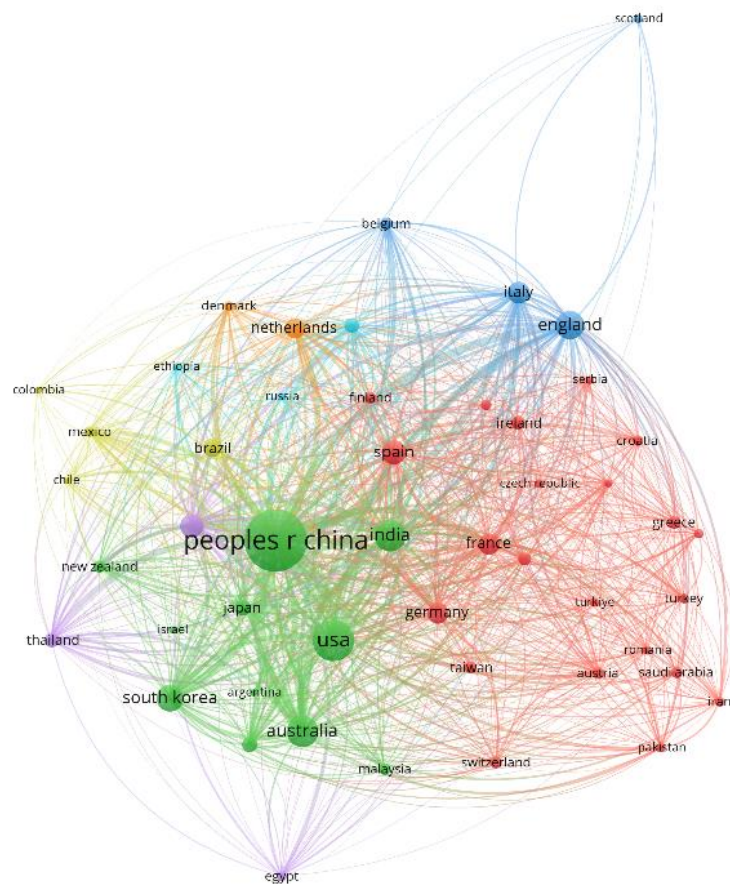
Anexo 23 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis documentos, mínimo de citas 20. Documentos 416, 391 en red.



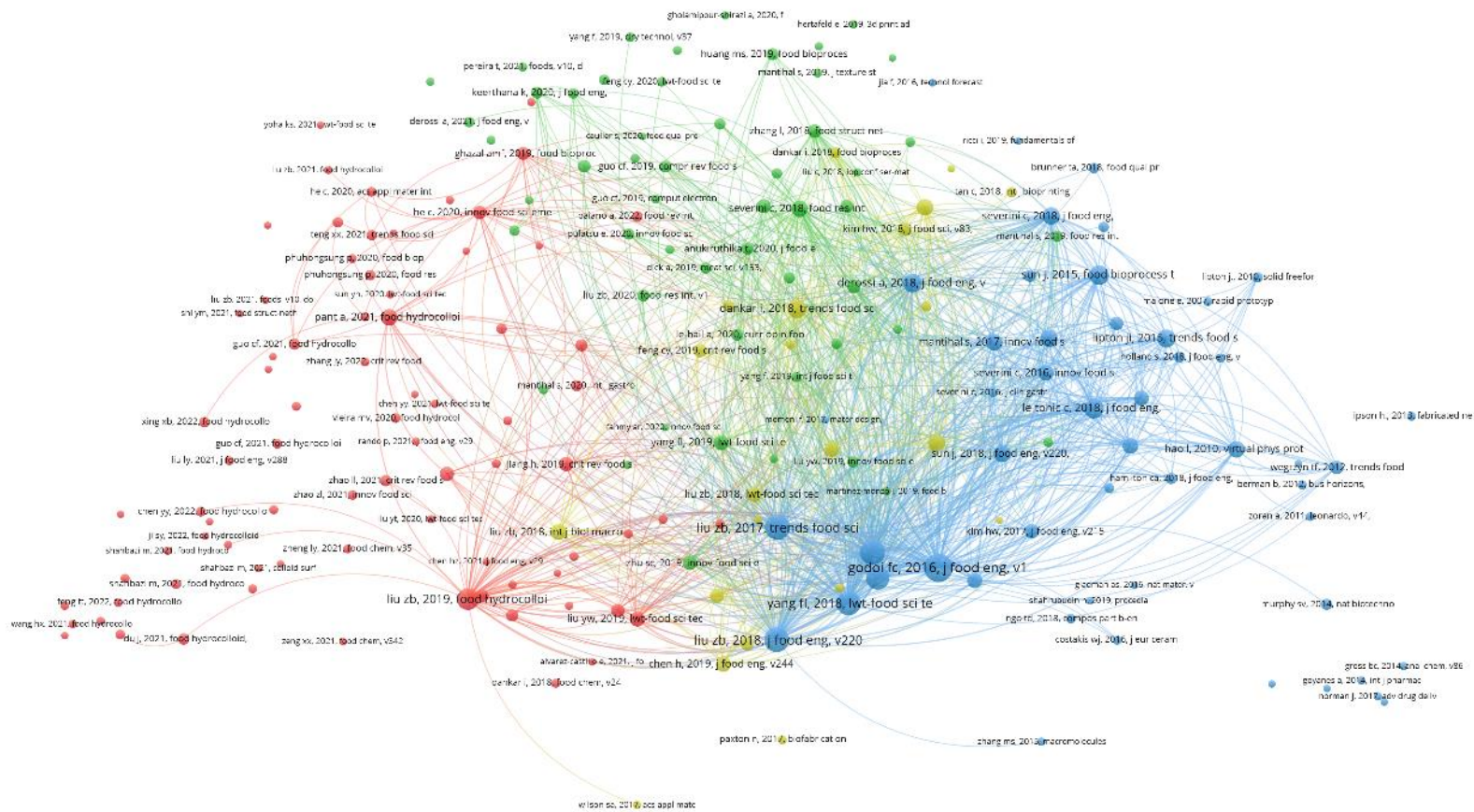
Anexo 25 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis autores, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0. 97 autores.



Anexo 28 Acoplamiento bibliográfico, unidad de análisis países, mínimo de documentos 5, mínimo de citas 0.



Anexo 29 Analisis Co-citas, unidad de análisis citas referenciadas, mínimo citas referenciadas 20. Citas referenciadas 204.



Anexo 30 Analisis Co-citas, unidad de análisis fuentes citadas, mínimo citas de una fuente 20. 470 fuentes.

