

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE CARBONIZACIÓN HIDROTHERMAL EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Juan Pablo Cecchini¹, Brenda Ledesma², Andrea Beltramone², Carlos R. Rodríguez³.

¹Universidad Nacional de Rafaela, Santa Fe, Argentina.

Bv. Roca 989, CP 2300, Rafaela, Argentina

juanp.cecchini@unraf.edu.ar

²Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina.

³Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

RESUMEN: Este artículo presenta un análisis bibliométrico sobre los avances tecnológicos en cuanto al tratamiento de residuos mediante la técnica de Carbonización Hidrotermal (HTC) en la cual, no solo se elimina el problema de los residuos, sino además se produce la conversión de estos en energía (Wasteto Energy). El análisis bibliométrico se apoyó en los softwares gratuitos Lens, VOSviewer y la página web de Scimago. De la búsqueda se obtuvo un corpus de 1651 documentos en los cuales un 78,8% correspondieron a artículos científicos y fue posible analizarlas interacciones observadas entre países, autores, instituciones, palabras clave, fuentes, campos de estudio, co-ocurrencia en diferentes documentos, citas. La tecnología de conversión de residuos por carbonización hidrotermal es una importante vía o ruta, relativamente nueva en comparación con otros métodos (como gasificación, torrefacción o métodos biológicos) y que se encuentra en busca de numerosas aplicaciones además de la utilización del producto en energía. Se evidenció además que los esfuerzos de investigación están principalmente centrados en el proceso, la técnica, los diferentes tipos de residuos a ser tratados y las utilidades que se le puede dar no solo al hidrocarbón sino también a las demás fracciones líquidas y gaseosa de obtenidas como producto.

Palabras clave: carbonización hidrotermal, análisis bibliométrico, biomasa, hidrocarbón, energía de los residuos.

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos que enfrenta el mundo actual es el tratamiento de los residuos que se generan, sobre todo en el campo de los residuos sólidos urbanos (RSU), ya que se van incrementando día a día con el aumento de la población. En el mundo se generan anualmente 2010 millones de toneladas de RSU y al menos el 33% de ellos no se gestionan sin riesgo para el medio ambiente y se constituyen en pasivos ambientales. Los Pasivos Ambientales son los problemas ambientales que un proyecto o actividad existente, en su condición actual, genera frente a terceros por su construcción o por la presencia de los mismos. Su condición de pasivos está relacionada con la pérdida del estado ambiental previo. La valoración de los pasivos ambientales está directamente relacionada con la actividad de la economía.

Con el crecimiento de la población y el desarrollo económico se proyecta que la cantidad de desechos a nivel mundial aumente 70% en los próximos 30 años y llegue a un volumen de 3400 millones de toneladas de desechos generados anualmente (Kaza et al., 2018). La tendencia global es aumentar el reciclado de residuos para producir materias primas secundarias o energía (Matsakas et al., 2017; Fitzgerald 2013; Klinghoffer et al., 2013). El tratamiento hidrotermal o hidrotérmico es un proceso importante de conversión termoquímica usado para transformar la biomasa, compuestos orgánicos, RSU, etc. en productos de valor o biocombustibles. El mismo involucra el calentamiento y la

presurización de la alimentación en presencia de agua. Según las condiciones de la reacción como ser temperatura de reacción, presión del reactor, tiempo de reacción y presencia de catalizador el proceso se divide en tres áreas separadas: carbonización hidrotérmica (HTC, 180-280°C), licuefacción hidrotérmica (HTL, 280-375°C) y gasificación hidrotérmica (HTG>350°C). Cada una de estas rutas hidrotermales producen combustibles con alta densidad de energía mediante la eliminación de oxígeno, para obtener lo que se conoce de diferentes formas como: hydrochar, hidrocarbón, bio-char o biocarbón en forma sólida (HTC), un combustible líquido llamado bio-oil o bio-crudo (HTL), o gas de síntesis (HTG), respectivamente. El proceso HTC es la más nueva y barata de las tres técnicas. Los RSU en presencia de agua se calientan y presurizan a bajas temperaturas durante cierto tiempo, por lo tanto, utiliza menos energía y el agua permanece en forma subcrítica. A diferencia de la pirólisis y la torrefacción, se usa un sistema cerrado y el medio de reacción es agua (Kruse et al., 2013), los carbones obtenidos tienen diferentes propiedades debido a diferentes mecanismos de descomposición involucrados (Jung et al., 2018; Steinbach et al., 2017) y presenta un mejor rendimiento técnico y huellas climáticas más bajas en cuanto a aspectos tecnológicos, económicos y ambientales para el tratamiento de residuos biogénicos (Reißmann et al., 2018a). El biocarbón puede ser utilizado como combustible ya que tiene una capacidad calorífica similar a la lignita, alto contenido de carbono, alto grado de homogeneidad, baja degradabilidad y es fácilmente separable. Asimismo, el HTC presenta otras ventajas: proceso relativamente simple que opera a temperaturas bajas, funciona con presiones autógenas o presurizado con N₂, como en todo tratamiento hidrotermal se elimina la necesidad de separar y secar la materia prima lo que significa un gran ahorro de energía necesaria para el pretratamiento, no se necesitan grandes volúmenes de almacenamiento, tiempos de tratamientos bajos y baja huella de carbono (Anthraper et al., 2018). Dicho esto, el propósito del siguiente artículo es comprender mediante un análisis de la bibliografía las tendencias temporales, geográficas y estructurales de la investigación centradas en el tratamiento de residuos con HTC. Además de describir la evolución de la investigación, este análisis podría ser de utilidad para predecir escenarios futuros y la participación de los actores del sector.

METODOLOGÍA

La búsqueda de publicaciones y su posterior análisis se realizó durante el mes de julio de 2022 en la plataforma LENS.ORG en la cual se pueden buscar tanto publicaciones académicas como patentes y es gratuita para las personas físicas. Para las búsquedas académicas tiene incorporada e integrada las siguientes fuentes: Core, Microsoft, Crossref, PubMed y OpenAlex. Una de las ventajas de esta página, además de su gratuidad, es la gran cantidad de análisis que se puede obtener sobre el registro obtenido. La expresión de búsqueda final utilizada fue:

((hydrotherm* AND carboni*) OR (wet AND torrefaction)) AND (biomass OR MSW OR waste)

El término “wet torrefaction” es otra expresión comúnmente esgrimida en lugar de “hydrothermal carbonization” y el término MSW corresponde a la sigla ampliamente utilizada para mencionar a los residuos sólidos urbanos (en inglés Municipal Solid Waste). Como se puede apreciar la búsqueda fue en idioma inglés y se aplicó en los títulos, abstract, palabras claves y campo de estudio con los mismos operadores booleanos. Los datos obtenidos fueron exportados en formato RIS para su posterior análisis en Vosviewer, con este programa se realizó el mapeo para detectar la relación entre palabras claves con respecto a su co-ocurrencia. Para obtener información acerca de las revistas científicas más preponderantes en el tema se utilizó la página web de Scimago, la cual brinda diversas estadísticas y permite realizar diferentes comparaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticas generales

Se realizó un análisis bibliométrico cuantitativo y considerando las limitaciones de este, como por ejemplo que las bases de datos no sean correctas y se incluyan trabajos no relacionados y se excluyan

trabajos que sí lo son (Mikhail et al., 2020) se obtuvieron 1651 documentos. De la colección de trabajos 1301 (78,8%) corresponden a artículos científicos, 143 (8,6%) su categoría es desconocida (el software aclara que estos documentos se derivan del rastreo web y el aprendizaje automático, muchos son trabajos académicos legítimos que no están claramente definidos, pero otros pueden ser descripciones de productos, protocolos de laboratorio basados en la web o comunicados de prensa de instituciones de investigación), 63 (3,8%) corresponden a disertaciones, 35 (2,1%) a capítulos de libro, 22 (1,3%) actas de congresos, 10 (0,6%) a libros, las otras categorías restantes como ser: preprint, report, component y other representan el 4,6%. En la Figura 1 se puede notar la evolución de las publicaciones con el transcurso del tiempo. Los datos correspondientes a los años 2022 y 2023, se exponen a modo ilustrativo, para enfatizar el aumento exponencial que se registra en los últimos años. La utilización de esta técnica parecería ser un enfoque más “nuevo” en comparación con otras como gasificación, pirólisis (combustión en ausencia de aire a temperaturas mayores a 300°C) o combustión que parecen ser las rutas más investigadas y ya ubicadas en una etapa madura de desarrollo tecnológico (Osman et al., 2021). Knapczyk et al.(2020) ya la incluían como un tema nuevo entre 2015-2019 al HTC etiquetándolo como “new torrefaction technologies” en su trabajo comparativo de diferentes tratamientos de biomasa. A pesar, del interés general a nivel de investigación y desarrollo tecnológico creciente esto se contrasta con el de las empresas en establecerse en este proceso (Reißmann et al., 2018b).

Desempeño por países

En la Figura 2 se puede observar el top 20 de países con más publicaciones registradas de los 49 países que tienen publicaciones en la temática. Es necesario aclarar que la gran mayoría de los artículos no tenía distinción de nacionalidad ya que para el software este análisis se realizó únicamente con aquellas instituciones registradas en ROR (Research Organization Registry).

China es por lejos el país más prominente con 288 publicaciones, seguido por USA con 121 y Alemania con 103. Este grupo de mayor productividad se conforma con países desarrollados como Reino Unido, España, Italia, Korea del Sur, Australia, Canadá, entre otros y 4 países en desarrollo como India, Malasia, Tailandia, Indonesia. De los 74 países registrados en total que han publicado al respecto, dentro de los países en vías de desarrollo se pueden notar ciertos países con una considerable cantidad de trabajos. De Asia: India 49, Malasia 38, Tailandia 28, Indonesia 26, Singapur 15, y de América latina: Brasil 25, Chile 13 y de África: Nigeria 6, Egipto 5 Marruecos 5. (No se muestran en la gráfica). Considerando en términos globales que en los países en desarrollo el 37% de los residuos municipales se eliminan en vertederos (8% relleno sanitario, 4% relleno controlado y 25% no especificado), el 33% de los residuos todavía se vierten a cielo abierto, el 19% de los materiales se reciclan y/o compostan y el restante 11% se quema en incineradores modernos (Kaza et al., 2018) resulta muy auspicioso el interés en esta tecnología. Si bien está “todo por hacer” hay muchos problemas que se suscitan no sólo para aplicar HTC sino cualquier otra tecnología que elimine los residuos y genere valor agregado al producto resultante. Entre las mayores dificultades sobresalen la falta de políticas y regulaciones adecuadas, falta de apoyo financiero y falta de personal técnico calificado (Khan et al., 2022, Yan et al., 2020)

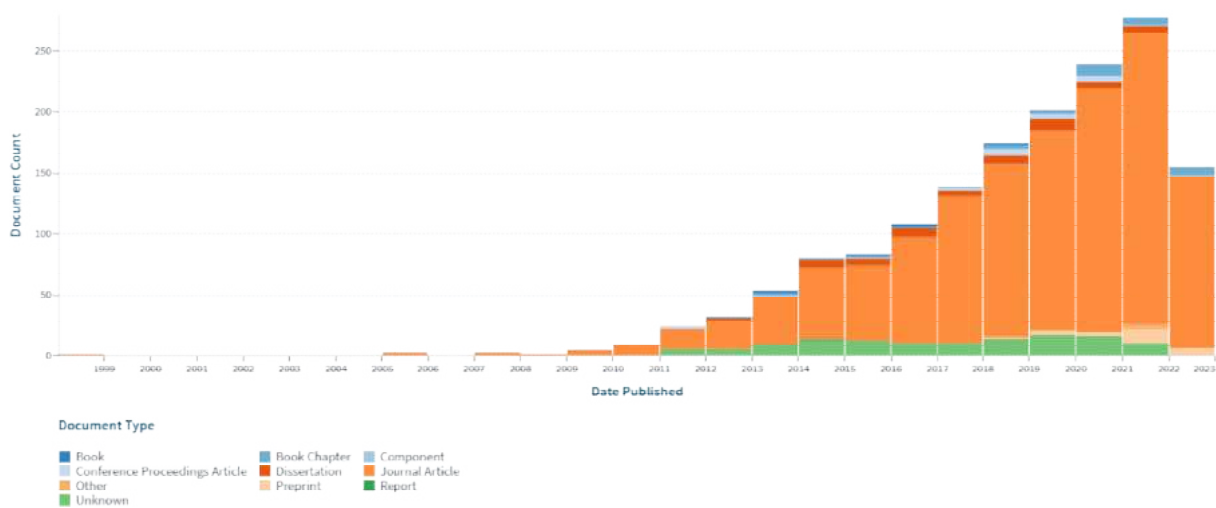


Figura 1: Evolución del número y tipo de documentos con los años.

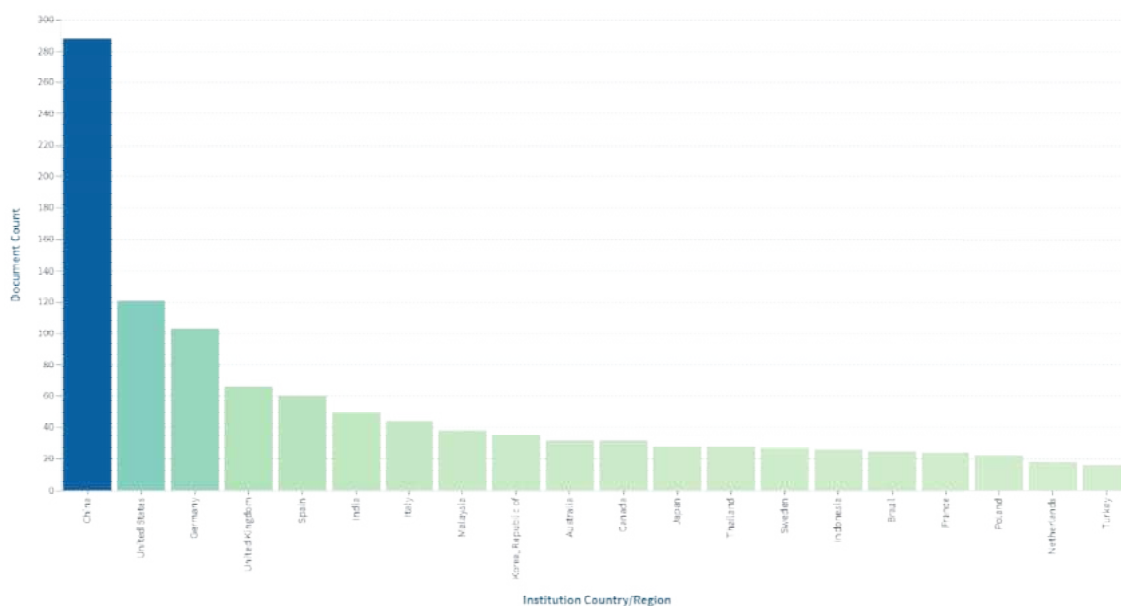


Figura 2: Número de documentos versus países.

Campos de estudio y Palabras Clave

En la Figura 3 se muestra la nube de palabras de los campos de estudio/temas que más aparecen en los documentos. De los 1651 trabajos, solamente 95 no estaban catalogados con la categoría campo de estudio. Las expresiones más nombradas son: Hydrothermal carbonization, Chemistry, Biomass, Materials science, Chemical engineering, Pulp and paper industry, Carbonization, Waste Management, Environmental science, Carbon. Si bien las palabras anteriormente mencionadas son las que se espera encontrar por la misma relación con los términos de búsqueda, cabe mencionar que este tipo de análisis sirve para detectar algún término “nuevo” que pueda indicarnos un adelanto tecnológico o alguna tendencia nueva. Respecto a ello podemos ver palabras relacionadas con otras áreas o con aplicaciones a los diferentes productos de la carbonización hidrotermal como: nuclearchemistry, electrochemistry, supercapacitor, capacitance, composite materials, adsorption, remediation, fertilizer. También se observan términos relacionados a *platform chemicals* como lignin o furfural, Kruse y Dahmen (2018) detallan claramente las múltiples aplicaciones de estos precursores y su potencialidad, y términos como biorefinery, incineration, torrefaction, biogas, hydrothermal liquefaction. Todo estaría indicando una dirección hacia la integración de procesos para lograr mayor competitividad, ya que los carbones fósiles son demasiados baratos en comparación con los costos de los obtenidos por HTC (Suwelack et al., 2017; Kruse y Dahmen, 2018). Peor aún si lo comparamos con el carbón

vegetal de leña que es más barato. Sin embargo, todavía hay muchos problemas que impiden a los productos del HTC penetrar en el mercado de la energía. A nivel tecnológico, se podría mencionar el tratamiento eficiente para el agua contaminada y a nivel legal, por ejemplo, la abolición del estatus de residuo a los productos HTC en la Unión Europea (De Mena Pardo et al., 2016; Reißmann et al., 2018b).

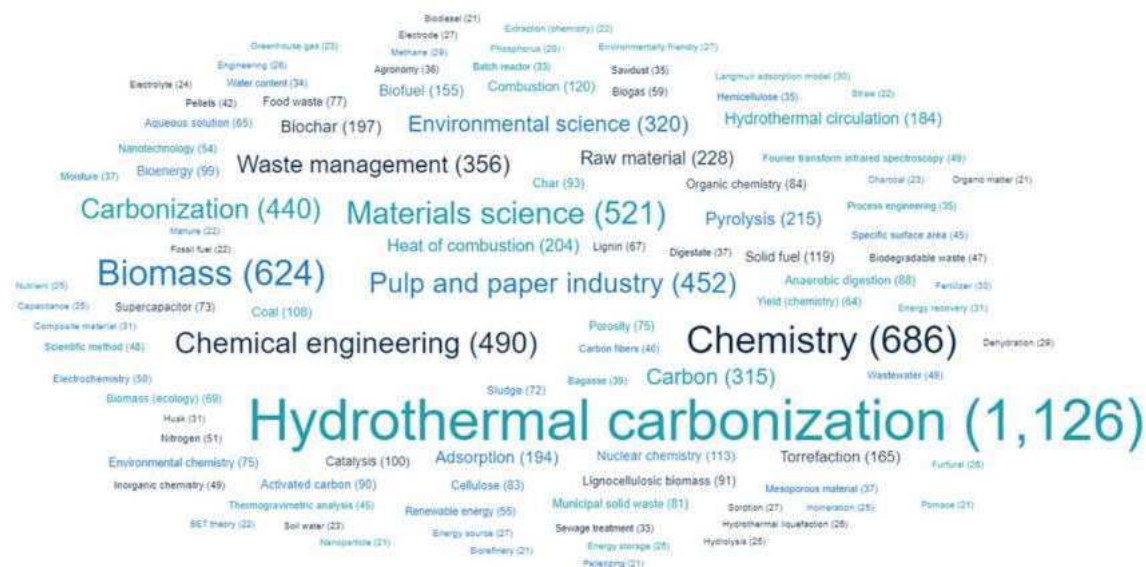


Figura 3: Nube de palabras discriminada por campo de estudio.

Identificar las áreas de interés y a su vez describir el tema son implicancias de las palabras clave. En el siguiente gráfico (Figura 4) se puede observar un mapa en el que se analizan palabras clave (keywords) según su co-ocurrencia con análisis de tiempo desde 2017 a 2021. Cabe aclarar que si bien se hizo este mapeo durante todo el período de publicaciones desde 2010 hasta 2021 no se pudieron apreciar cambios con respecto al tiempo por lo que se acotó a los últimos años 2017-2021, período preponderante en cuanto al ritmo de publicaciones. Se encontraron 709 palabras clave. Se pudieron ver algunas palabras claves asociadas a investigaciones emergentes (amarillo en mapa) como: “waste to energy” “energy recovery” “carbón sequestration” “circular economy”, esto es coincidente con Sarquah et al. (2022) quienes atribuyen una transición reciente de la producción al enfoque ambiental y de gestión en la investigación. Pero también, y en concordancia con Boloy et al. (2021), no hay palabras clave que indican el uso de esta tecnología en la matriz energética, por ejemplo, para el transporte eléctrico o vehículos convencionales con el objetivo de reducir las emisiones y para mejorar la gestión de residuos, convirtiendo en valor añadido los productos. Algunas palabras relacionadas a nuevos materiales/técnicas también aparecen como nuevas (hydroxy radicals, arsenic adsorption, advanced carbón materials) mientras que términos ligados a los procesos/tratamientos como por ejemplo “hydrothermal carbonization” “carbonization” “carbón oxidation” “hydrothermal treatment” y a los diferentes residuos como “biomass” “carbon” “sewage sludge” “lignin” que son recurrentes a lo largo de los años (Ferrari et al., 2020).

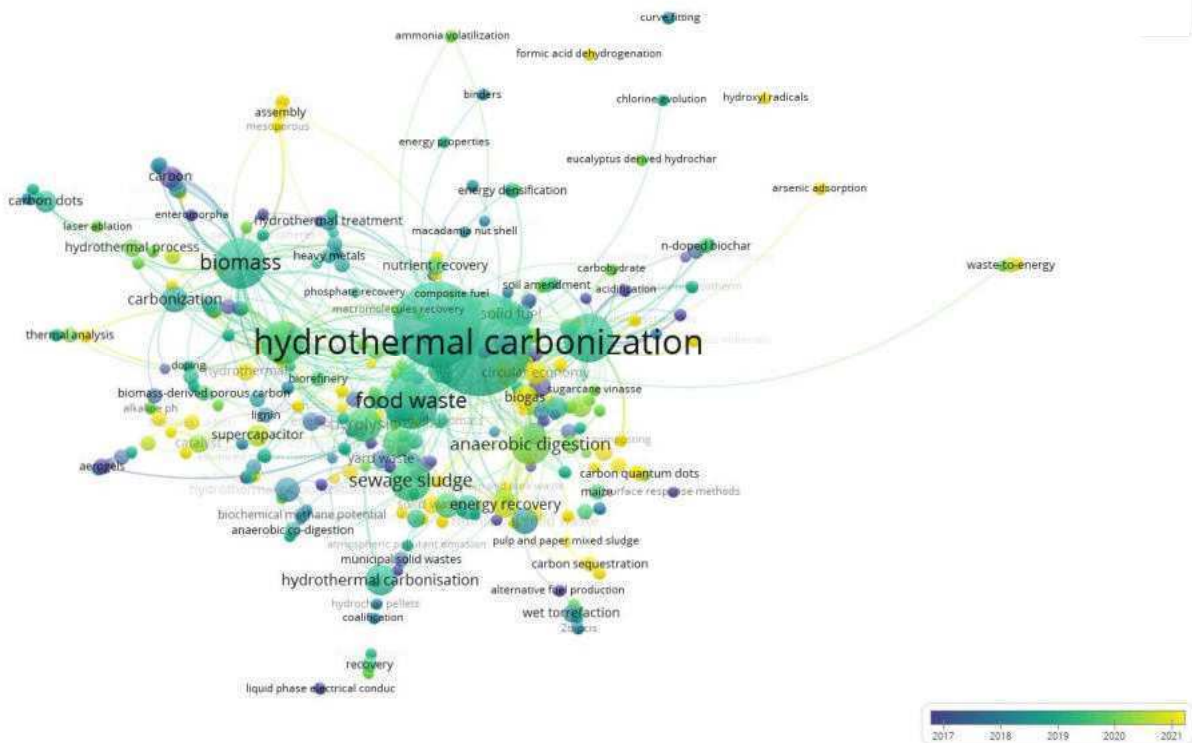


Figura 4: Mapa de palabras clave según su co-ocurrencia desde 2017 a 2021. Los círculos representan a cada una de las palabras clave, su tamaño es acorde a la cantidad de veces que aparecen y las líneas su conexión con otras palabras clave

Citas

En la Figura 5 se puede observar una gráfica de las publicaciones académicas y sus respectivas citas tanto en el ámbito escolar como en patentes. De la misma se desprende que hay 87 trabajos citados por patentes, solo hay 1 trabajo citado por 7, 8, 9, 10, 11 y 15 patentes, 2 trabajos citados por 5 y 6 patentes, 3 por 4 patentes, 4 trabajos por 3 patentes, 12 citados por 2 patentes y los restantes por 1 patente. El recuento de patentes que citan a trabajos académicos es 174. El trabajo denominado “*Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass*” de los siguientes autores *Bo Hu, Kan Wang, Liheng Wu, Shu-Hong Yu, Markus Antonietti, Maria-Magdalena Titirici*, además de ser el más citado por patentes también es el más citado por trabajos académicos con 1329.

Un trabajo académico citado por una patente es lo que se conoce como enlace científico y solo proporciona información sobre la proximidad de la ciencia a la tecnología y no viceversa. Para evaluar la calidad de los artículos científicos, la citación por una patente podría significar un aporte valioso al desarrollo tecnológico, sobre todo si esas patentes son de “alto impacto” (Yamashita, 2018). Una base científica de calidad ayuda a obtener una patente de calidad (Wang y Li, 2021). Muchas especulaciones surgen con respecto a esto en la Tabla 1, donde se muestra el top 10 de artículos más citados en general (académicos + patentes). Los trabajos más citados por otros trabajos académicos, a primera vista, presentan pocas citas desde las patentes (87 trabajos citados por patentes, 174 patentes que citando a trabajos académicos) podría indicar una baja interacción ciencia-tecnología. Esto último puede no ser cierto, ya que deberían evaluarse las actividades de patentamiento y compararse con otra tecnología que compita con HTC, siempre asumiendo que en algunos campos es más fuerte la interacción (más citas de publicaciones por patente) que en otros (Meyer, 2000). No obstante, un método efectivo para mostrar el desempeño de los papers usando citas de patentes aún no está claro (Yamashita, 2018).

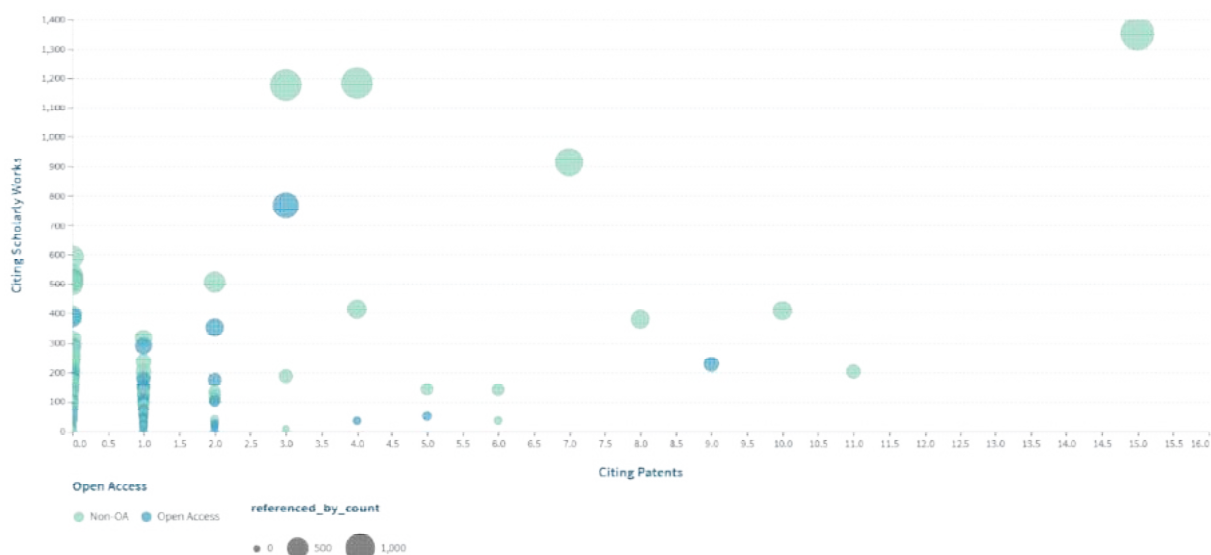


Figura 5: Número de citas académicas vs número de citas en patentes discriminado por trabajos de acceso gratuito “Open Access” (círculo azul) y trabajos de pago “Non-OA” (círculo verde).

Nombre del artículo	Tipo de trabajo	Nº de citas académicas	Nº de citas de patentes
Engineering Carbon Materials from the Hydrothermal Carbonization Process of Biomass	Review	1329	15
Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering	Review	1150	4
Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis	Review	1149	3
Chemistry and materials options of sustainable carbon materials made by hydrothermal carbonization	Review	900	7
Sustainable porous carbons with a superior performance for CO ₂ capture	Paper	752	3
Biomass-derived carbon: synthesis and applications in energy storage and conversion	Review	571	0
Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization	Paper	510	0
Hydrothermal Carbonization (HTC) of Lignocellulosic Biomass	Paper	494	0
Morphological and structural differences between glucose, cellulose and lignocellulosic biomass derived hydrothermal carbons	Paper	493	0
Hydrothermal Carbonization of Municipal Waste Streams	Paper	490	2

Tabla 1: Títulos de los trabajos más citados en total, por patentes y por trabajos académicos

Editoriales

En la siguiente Figura 6 se muestran las editoriales con más publicaciones en la temática (hasta un mínimo de 10). La editorial con mayor número de publicaciones es Elsevier con 379, seguido por Springer con 212, American Chemical Society (ACS) con 155, MDPI con 140, Royal Society of Chemistry (RSC) con 94, Wiley con 68 y las siguientes: Academic Press Inc, IOP Publishing, Informa UK Limited, The Electrochemical Society, Research Square Platform LLC, Nature Publishing Group y Bioresources en un rango de 50 a 10 publicaciones.

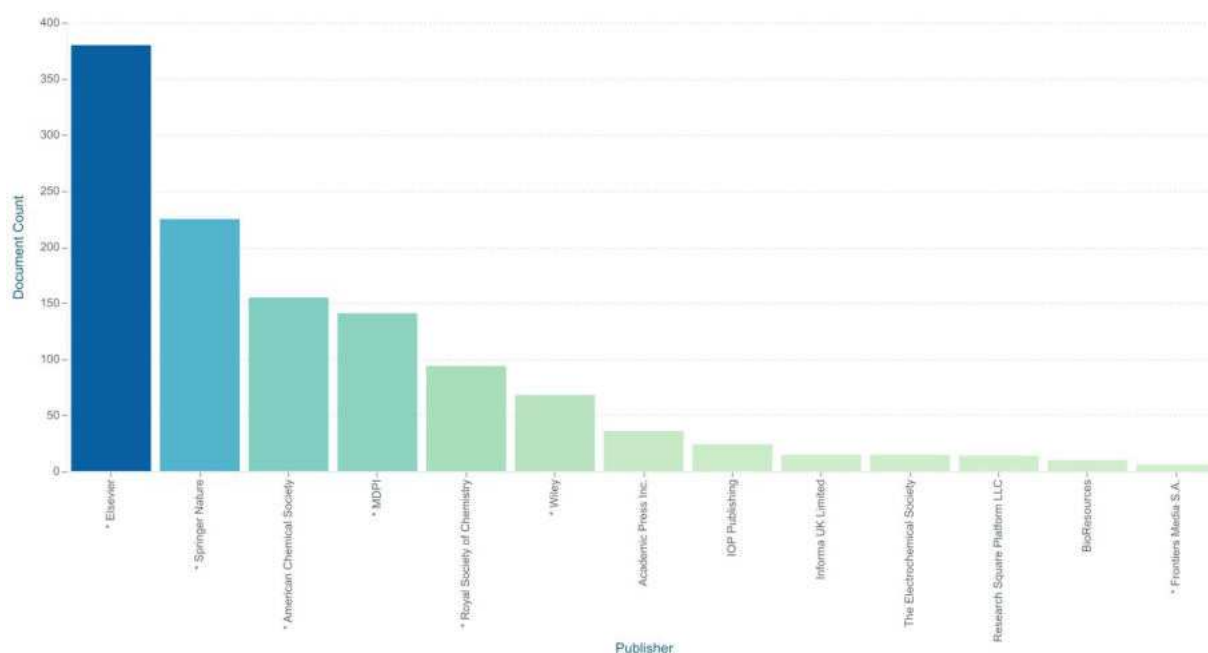


Figura 6: Número de documentos vs editoriales más destacadas. (Los colores son meramente ilustrativos)

Revistas

En la siguiente Figura 7 se pueden ver los títulos de las revistas centrales en la temática dentro de las editoriales más prominentes vs el número de documentos. Con estos títulos de revistas se puede obtener una idea de los temas predominantes: energía, energías renovables, biomasa, combustibles, materiales, ingeniería química, ingeniería ambiental, procesos, etc. Otras maneras de ver los temas o el alcance de las revistas son: mediante la clasificación por cuartil de Scimago, allí aparece su evaluación en su rubro correspondiente o directamente en la web de cada una.

Las 5 revistas más productivas son: Energies (62), Bioresource Technology (52), Biomass Conversion and Biorefinery (45), Energy & Fuels (34) y ACS Sustainable Chemistry & Engineering (33). Esto es coincidente con las revistas mencionadas por Mao et al. (2015) en su estudio bibliométrico de la biomasa como fuente de energía.

En la siguiente Tabla 2 se pueden observar algunos indicadores obtenidos en la web de Scimago de las revistas mencionadas anteriormente. El índice H es un indicador usado para medir la productividad (número de publicaciones) y el impacto (número de citas) de una revista o también de un grupo de académicos, como una universidad o un país. El SJR es un indicador de prestigio independiente del tamaño, que clasifica las revistas según su "prestigio promedio por artículo". Se basa en la idea de que "no todas las citas son iguales". SJR es una medida de la influencia científica de las revistas que da cuenta tanto del número de citas recibidas por una revista como de la importancia o prestigio de las revistas de donde provienen dichas citas. Mide la influencia científica del artículo promedio en una revista. Las citas por documento, cuenta el número de citas que reciben los documentos de una revista y las divide por el número total de documentos publicados en esa revista, en este caso el promedio de los documentos publicados en los últimos 4 años y citados en el corriente año (2021). El % de Colaboración Internacional da cuenta de los artículos que han sido producidos por investigadores de varios países. Indica la proporción de documentos de una revista firmados por investigadores de más de un país, incluyen más de una dirección de país.

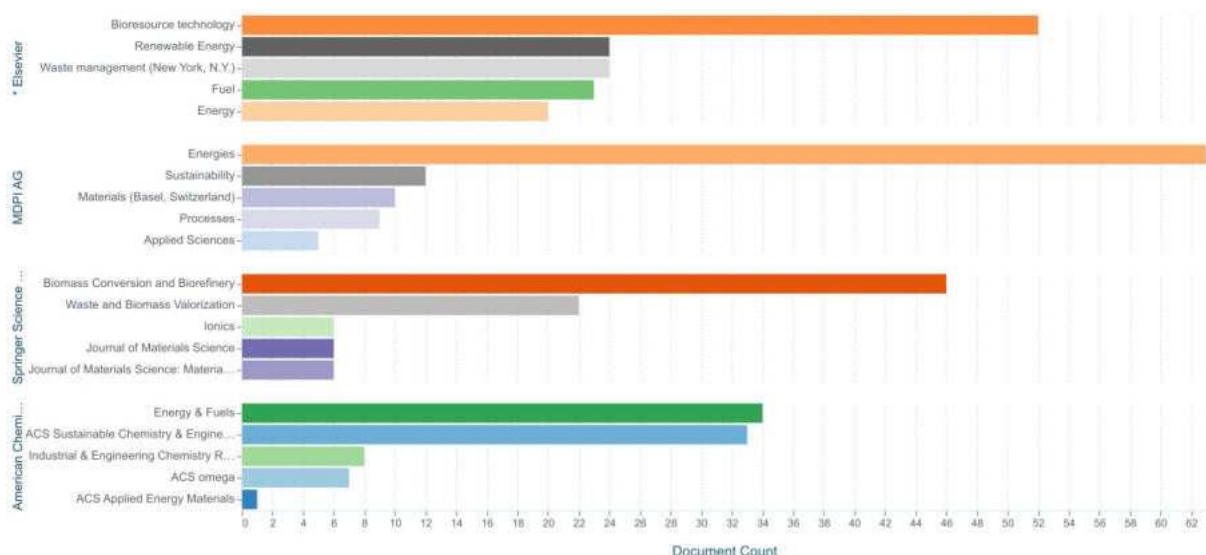


Figura 7: Revistas más prominentes agrupadas por editorial versus número de documentos. (Los colores son meramente ilustrativos)

Las revistas correspondientes a la editorial Elsevier seguidas por la editorial American Chemical Society son las mejores puntuadas y todas se encuentran dentro del primer cuartil (Q1) en su área según la clasificación de Scimago. Al conjunto de revistas se la clasifica según su SJR y se la divide en cuatro grupos iguales, cuatro cuartiles. Q1 comprende la cuarta parte de las revistas con los valores más altos, Q2 los segundos valores más altos, Q3 los terceros valores más altos y Q4 los valores más bajos. Respecto a las revistas correspondientes a las demás editoriales como Springer y MDPI corresponden en su mayoría al segundo y tercer cuartil (Q2 y Q3) (no se muestra en tabla).

Título	H index	SCJ	C.p.D	% C. I.
BioresourTechnology	317	2,35	10,862	30,11
Renewable Energy	210	1,88	8,771	33,39
Waste Management	182	1,74	9,475	29,27
Fuel	229	1,51	7,512	27,62
Energy	212	2,04	8,382	31,99
Materials	128	0,604	3,983	26,78
Processes	36	0,474	3,336	26,54
Energies	111	0,653	3,711	27,58
Sustainability	109	0,664	4,388	33,88
AppliedSciences	75	0,507	3,257	26,41
Ionics	62	0,523	2,793	9,05
BiomassConversion and Biorefinery	32	0,552	4,038	28,25
Waste and BiomassValorization	50	0,580	3,726	25,36
JournalofMaterialsScience	187	0,781	4,111	20,48
Journal of Mat. Sc.: Materials in Electronics	80	0,464	2,401	22,44
Energy & Fuels	198	0,822	4,427	25,12
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	132	1,743	8,908	28,48
Industrial & Engineering Chemistry Research	231	0,816	4,178	21,40
ACS Omega	55	0,708	4,009	21,30
ACS Applied Energy Materials	53	1,613	6,465	23,27

C.I.: Colaboración Internacional. C.p.D.: Citas por documento (4 años)

Tabla 2: Indicadores de las revistas más preponderantes en la temática del año 2021. Azul: Elsevier, Naranja: MDPI, Verde: Springer Science, Amarillo: American Chemical Society.

Instituciones

En la siguiente Figura 8 se puede observar un mapa de calor con las 20 instituciones más activas en cuanto a publicaciones. Si bien la mayoría de las instituciones pertenecen a los países más potentes en la temática, resulta interesante ver como aparece King Saud University de Arabia Saudita, país que no figura en el top 20 de los ya mencionados en la Figura 1. La Academia de Ciencias Chinas lidera el ranking con 34 publicaciones seguida por la Max Planck Society con 23 y el Consejo Nacional de Investigaciones Español (Spanish National Research Council) con 20.



Figura 8: Mapa de calor de las instituciones más prolíficas en cuanto a número de documentos.

Autores

En la siguiente Figura 9 se puede ver un gráfico de barras de los autores más activos vs número de documentos. Entre los autores más prolíficos Andrea Kruse y Luca Fiori encabezan la lista con 25 documentos seguidos por Reza 23, Dutta22, Ross y Spliethoff 16, Coronella y Sharma 15, Dubey 14, Pasek y Volpe 13, Acharya y Basso 12, Mohedano y Vallejo 11 y, Arie, Kristianto, Patuzzi y Titirici con 10.

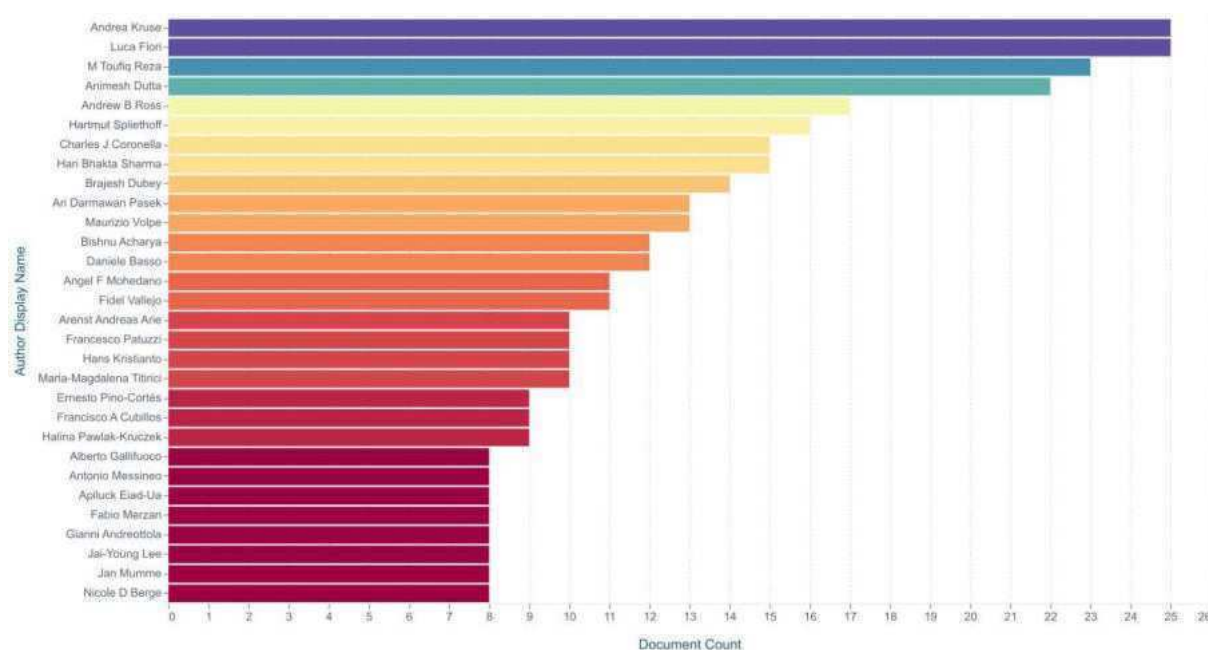


Figura 9: Autores más activos versus número de documentos. (Los colores son meramente ilustrativos).

CONCLUSIONES

Este estudio muestra que se ha incrementado el interés en el tratamiento de residuos mediante el método de torrefacción húmeda o carbonización hidrotermal. Si bien no es un tema reciente, el interés ha crecido notablemente en los últimos años debido al creciente y cada vez más urgente problema medioambiental. Incentivado en su mayoría por las políticas medioambientales implementadas por los

países desarrollados, y en menor medida por la participación de países en desarrollo. En vista de esta tendencia, la literatura relacionada ha crecido sustancialmente de 9 documentos en 2010 a 239 en 2020(2655,5%) con mucha participación de prestigiosas editoriales y revistas de alto impacto.

Por el análisis descrito, se puede observar que una tendencia en la investigación fueron los temas relacionados con la fase del proceso de producción, con la técnica en sí, su aplicación a distintos tipos de residuos y la utilidad multidisciplinaria de los productos obtenidos. Mientras tanto, los esfuerzos de los investigadores parecen estar cambiando hacia la gestión, aspectos económicos y para investigar cómo este proceso puede integrarse tanto a otros tratamientos de residuos como a la transformación del sistema energético hacia uno basado en energías renovables. Para ver reflejados todos estos esfuerzos de I&D en mayor masividad en la implementación, mayor participación del sector público y privado es necesario superar barreras técnicas, políticas y económicas, las cuáles resultarán claves en los próximos años. No obstante, toda esta información muestra claramente que la carbonización hidrotermal es una tecnología prometedora y en los próximos años podemos esperar ver muchos trabajos sobre esto.

REFERENCIAS

- Anthraper D., McLaren J., Baroutian S., Munir M.T., Young B.R. (2018). Hydrothermal deconstruction of municipal solid waste for solid reduction and value production. *Journal of Cleaner Production* 201, 812-819. <https://doi.org/10.1016%2Fj.jclepro.2018.08.116>
- Boloy R.A.M., da Cunha Reis A., Rios E.M. et al. (2021). Waste-to-Energy Technologies Towards Circular Economy: a Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis. *Water Air Soil Pollut* 232, 306. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05224-x>
- De Mena Pardo, B.; Doyle, L.; Renz, M.; Salimbeni, A. (2016) *Industrial Scale Hydrothermal Carbonization: New Applications for Wet Biomass*. Waste; ttz Bremerhaven: Bremerhaven, Germany.
- Ferrari G, Pezzuolo A, Nizami A-S, Marinello F. (2020). Bibliometric Analysis of Trends in Biomass for Bioenergy Research. *Energies* 13, 14, 3714. <https://doi.org/10.3390/en13143714>
- Fitzgerald G.C. (2013). 5 - Pre-processing and treatment of municipal solid waste (MSW) prior to incineration, pp 55-71. Editores: Naomi B. Klinghoffer, Marco J. Castaldi, In *Woodhead Publishing Series in Energy, Waste to Energy Conversion Technology*, Woodhead Publishing, Sawston, Reino Unido. <https://doi.org/10.1533/9780857096364.2.55>
- Jung D., Zimmermann M., Kruse A. (2018). Hydrothermal carbonization of fructose: growth mechanism and kinetic model. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 6, 13877–13887. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b02118>
- Kaza S., Yao L.C., Bhada-Tata P., Van Woerden F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development; Washington. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Khan I., Chowdhury S., Techato K. (2022). Waste to Energy in Developing Countries—A Rapid Review: Opportunities, Challenges, and Policies in Selected Countries of Sub-Saharan Africa and South Asia towards Sustainability. *Sustainability* 14, 3740. <https://doi.org/10.3390/su14073740>
- Klinghoffer N.B. y Castaldi M.J. (2013). Gasification and Pyrolysis of Municipal Solid Waste (MSW), pp 146-176. Woodhead Publishing, Amsterdam. <https://doi.org/10.1533/9780857096364.2.146>
- Knapczyk A., Francik S., Jewiarz M., Zawislak A., Francik, R. (2021). Thermal Treatment of Biomass: A Bibliometric Analysis-The Torrefaction Case. *Energies* 14, 162. <https://doi.org/10.3390/en14010162>
- Kruse A, Dahmen N. (2018). Hydrothermal biomass conversion: Quo vadis? *The Journal of Supercritical Fluids* 134, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.12.035>
- Kruse A., Funke A., Titirici M.M. (2013). Hydrothermal conversion of biomass to fuels and energetic materials. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 17, 515-521. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.05.004>
- Mao G., Zou H., Chen G., Du H., Zuo J. (2015). Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52, 1823-1833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.141>

- Matsakas L., Gao Q., Jansson S., Rova U. and Christakopoulos, P. (2017). Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals. *Electron. J. Biotechnol.* 26, 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.01.004>
- Meyer M. (2000). Does science push technology? Patents citing scientific literature. *Research Policy* 29, 409-434. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(99\)00040-2](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(99)00040-2)
- Mikhail S., Anand A., Kannan S., Raghavan V. (2020). Bibliometric Evaluation of Research in Hydrochar and Bio-oil. *Journal of Scientometric Res.* 9, 1, 40-53. <https://doi.org/10.5530/jscires.9.1.5>
- Reißmann D., Thran D., Bezama A. (2018a). Hydrothermal processes as treatment paths for biogenic residues in Germany: a review of the technology, sustainability and legal aspects. *J. Clean. Prod.* 172, 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.151>
- Reißmann D., Thran D., Bezama A. (2018b). Key Development Factors of Hydrothermal Processes in Germany by 2030: A Fuzzy Logic Analysis. *Energies* 11, 3532. <https://doi.org/10.3390/en1123532>
- Sarquah K., Narra S., Beck G., Awafo E.A., Antwi E. (2022) Bibliometric Analysis; Characteristics and Trends of Refuse Derived Fuel Research. *Sustainability* 14, 1994. <https://doi.org/10.3390/su14041994>
- Steinbach D., Kruse A., Sauer J. (2017). Pretreatment technologies of lignocellulosic biomass in water in view of furfural and 5-hydroxymethylfurfural production- a review, *Biomass Convers. Biorefinery* 7, 247-274. <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0243-0>
- Suwelack K., Kruse A., Dahmen, N. (2017). Socio-economic Assessment including Feedstock Supply and Marketability Concept of HTC/HTL-Products. *Proceedings of the 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, pp. 1550-1559.* <https://doi.org/10.5071/25THEUBCE2017-4AV.1.16>
- Osman A.I., Mehta N., Elgarahy A.M., Al-Hinai A., Al-Muhtaseb A.H., Rooney D.W. (2021). Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review. *Environmental Chemistry Letters* 19, 4075-4118. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01273-0>
- Wang L. y Li Z. (2021). Knowledge flows from public science to industrial technologies. *J Technol Transf.* 46, 1232-1255. <https://doi.org/10.1007/s10961-019-09738-9>
- Yamashita, Y. (2018). Exploring Characteristics of Patent-Paper Citations and Development of New Indicators. In M. Jibu, & Y. Osabe (Eds.), *Scientometrics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77130>
- Yan M, Periathamby A., Waluyo J. (2020). Challenges for Sustainable Development of Waste to Energy in Developing Countries. *Waste Management & Research* 38, 3, 229-231. <https://doi.org/10.1177/0734242x20903564>

ABSTRACT: A bibliometric analysis of technological advances of waste treatment through Hydrothermal carbonization was carried out. Using this technique not only the waste is reduced but also its conversion to energy is achieved (Waste to Energy). The bibliometric analysis was supported by the free software Lens, VOSviewer and the Scimago website. A corpus of 1651 documents was obtained from the search, in which 78.8% corresponded to scientific articles. It was possible to analyze the interactions observed between countries, authors, institutions, keywords, sources, fields of study, co-occurrence in different documents and quotes. The technology of waste conversion by hydrothermal carbonization is an important way, relatively new compared to other methods such as gasification, torrefaction, or biological methods. In addition to the use of the product in energy, numerous applications are being studied. It was evidenced that the research efforts are mainly focused on the process, the technique, the different waste sources, and the utilities that can be given by the products.

Keywords: hydrothermal carbonization, bibliometric analysis, biomass, hydrochar, waste to energy.