

Análisis bibliométrico - patentométrico sobre alternativas científico-tecnológicas para el tratamiento de aguas y residuales industriales utilizando zeolitas naturales y/o modificadas



<https://cu-id.com/2144/v16e03>

Bibliometric-patentometric analysis of scientific-technological alternatives for the treatment of industrial water and waste using natural and/or modified zeolites

Sergio Daikel González García, Ismari Salgado Machín

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo analizar la producción científico -tecnológica para el tratamiento de aguas y residuales industriales utilizando zeolitas naturales y/o modificadas”, mediante estudios bibliométricos y patentométricos. La investigación requirió el uso de diferentes métodos teóricos como el analítico-sintético, el inductivo-deductivo, y el método empírico para el análisis clásico documental. Los resultados mostraron que son relevantes los avances científicos en la utilización de zeolita natural modificada para las remociones de metales pesados y amonio. Se concluye que la producción científica y tecnológica en este tema, han tenido avances importantes en el periodo estudiado en cuestión (2010-2020).

Palabras clave: Estudio bibliométrico y patentométrico, tratamiento de agua, residuales industriales, zeolita, vigilancia tecnológica.

ABSTRACT: The objective of this work is to analyze the scientific -technological production for the treatment of water and industrial waste using natural and /or modified zeolites, through bibliometric and patentometric studies. The research required the use of different theoretical Methods such as the analytical -synthetic, the inductive -deductive, and the empirical method for classic documentary analysis. The results showed that scientific advances in the use of modified natural zeolite for the removal of heavy metals and ammonium are relevant. It is concluded that scientific and technological production on this topic has made important advances in the period studied in question (2010-2020).

Keywords: Bibliometric and patentometric study, water treatment, industrial waste, zeolite, technological surveillance.

INTRODUCCIÓN

La tecnología está en constante evolución y cambio para satisfacer las necesidades de la humanidad, y una de esas necesidades es el agua limpia. La industria del tratamiento del agua siempre está investigando, probando y desarrollando formas nuevas y mejoradas de tratar las aguas residuales y el agua potable de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Los medios de filtración de agua usando la zeolita como medio filtrante son una solución de tratamiento natural y sostenible para el tratamiento de agua potable, aguas grises y aguas residuales.

Son muy importantes los análisis de Wang con respecto al uso de zeolitas naturales en tratamientos de aguas y residuales industriales. “Las zeolitas naturales son abundantes y de bajo costo, son aluminosilicatos hidratados cristalinos con una estructura de marco que contiene poros ocupados por agua, alcalinos y cationes alcalinotérreos. Debido a su alta capacidad de intercambio de cationes, así como a las propiedades de tamices moleculares, las zeolitas naturales han sido ampliamente utilizadas como adsorbentes en procesos de separación y de purificación en las últimas décadas” (Wang et al., 2010).

Recibido: 22/05/2024

Aprobado en su forma original: 18/06/2024

Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Boyero, La Habana, Cuba

*Correo electrónico: sergio@cipimm.minem.cu, isalgado@cipimm.minem.cu

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Sergio D. González García, Ismari Salgado Machín. **Análisis formal de datos:** Sergio D. González García. **Investigación:** Sergio D. González García, Ismari Salgado Machín. **Metodología:** Sergio D. González García. **Redacción-borrador original:** Sergio D. González García. **Redacción-revisión y edición:** Sergio D. González García.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Las afirmaciones de Wang, en cuanto a la eliminación de amonio y metales pesados mediante zeolitas naturales son reveladoras. “La aplicación de zeolitas naturales en el tratamiento de aguas residuales se ha realizado y sigue siendo una técnica prometedora en los procesos de limpieza y descontaminación del medio ambiente. En las últimas décadas, el uso de zeolitas naturales se ha centrado en la eliminación de amonio y metales pesados debido a la naturaleza del intercambio de iones. Aparte de la presencia de cationes en agua, aniones y compuestos orgánicos son ampliamente presentados en las aguas residuales. En los últimos años, la zeolita natural y sus formas modificadas también se han reportado para la remoción de aniones orgánicos y de los sistemas de agua” (Wang et al., 2010).

En la actualidad, la actividad industrial está causando un aumento en la concentración de metales pesados en aguas. Entre los metales pesados más comunes se encuentran, plomo, cobalto, hierro, níquel, zinc, mercurio, cadmio, etc. Algunos de estos metales son esenciales para la vida, como es el caso del cobalto, manganeso, cobre, hierro, fósforo, sin embargo, niveles excesivos de estos metales son perjudiciales para el organismo.

El objetivo de este trabajo es presentar un paquete informativo llamado “Alternativas científico-tecnológicas para el tratamiento de aguas y residuales industriales utilizando zeolitas naturales-modificadas”, que permita a los directivos, investigadores y/o decisores, obtener un conocimiento actualizado de tendencias tecnológicas y científicas, conocer líderes tecnológicos (países, entidades y autores), para la toma de decisiones puntuales y medulares en su empresa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las bases Science Direct, Google Académico y Dimensions, en el horizonte temporal

2010-2020, con las estrategias de búsquedas correspondientes. Los registros fueron exportados al gestor bibliográfico EndNote (Versión X7), en la que se normalizó los datos y se eliminaron registros duplicados. Los registros fueron exportados al software Bibexcel para calcular la frecuencia en los campos autores, año y revista, se realizó el análisis de citas de los autores y revistas, se utilizaron técnicas de minería de textos con el software Vosviewer (Versión 1.6.6), para calcular la frecuencia y coocurrencia de las palabras más usadas y coincidentes semánticamente en título y resumen. Con todo esto, se identificaron las revistas más productivas, la tendencia de publicación por años, los autores líderes con sus índices de citación y las áreas temáticas de los artículos científicos.

En el estudio de patentometría se usaron las bases Google Patents, Espacenet, Patent Inspirations y Patentscope, con la estrategia de búsqueda (“natural zeolite” OR “modified zeolite”) AND (“water treatment” OR “sewage treatment” OR “industrial wastewater treatment” AND C02F*) en el periodo 2010-2020. Todos los registros recuperados de las distintas bases fueron copiados a un fichero integrador. Mediante el software Open Refine fueron homogenizados los campos de inventores y de asignación y se eliminaron registros duplicados. Se identificaron las publicaciones de patentes más destacadas en el tratamiento de aguas y residuales industriales utilizando zeolita natural y modificada, así como una descripción bien detallada de las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del levantamiento y análisis de información, el resultado arrojó un total de 105 documentos, en el rango de estudio 2010-2020 (23 patentes aceptadas, 15 modelos de utilidad, 67 solicitudes de patentes).

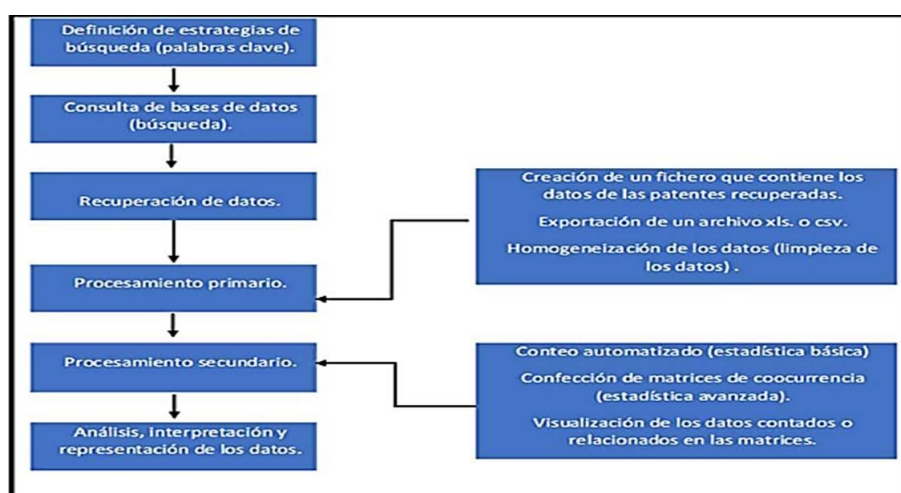


Figura 1. Diagrama de tratamiento de la información para vigilancia tecnológica. Fuente: Elaboración propia.

Se percibe un ligero aumento a partir del 2015 hasta el 2019, en la intención de solicitudes de patentes relacionadas específicamente con el tratamiento de aguas y residuales industriales utilizando zeolitas naturales y modificadas. En el 2020 la pandemia de COVID-19 freno un tanto las investigaciones. Por otra parte, en el análisis de complemento de artículos científicos se detecta un crecimiento notable y sólido en el período 2010-2020, lo que proyecta un alza en las solicitudes de patentes de los próximos años, por variables como la previsión de crecimiento del mercado mundial de agua y aguas residuales en un TCAC (*tasa de crecimiento anual compuesta*) de 7.3% en el rango 2020-2028, el alto interés de China en este sector y el aumento de residuales industriales de manera global.

Es altamente revelador que en el rango de estudio analizado (2010-2020), con excepción de 4 solicitudes de patentes, las 101 publicaciones siguientes pertenecen solo a un país, China. El dominio prácticamente absoluto con un 96% no deja margen alguno de quien moverá los hilos tecnológicos en este campo de estudio. Hay que aclarar que existe una tendencia en este tipo de investigación al secreto industrial por parte de un grupo considerable de empresas muy importantes en este sector, no obstante, el dominio chino es innegable.

Las universidades de Nanjing y Qingdao, son instituciones de las más antiguas y prestigiosas

de educación superior en China. Poseen un grupo elevado de proyectos e investigaciones de alta calidad, además son las únicas con 2 patentes en el período 2010-2020, siendo las entidades líderes a seguir. El resto de las 19 entidades tienen una sola patente. Por otra parte, analizando los investigadores, el conocimiento está muy fragmentado con 16 autores que tienen 2 patentes.



Figura 5. Entidades líderes en publicaciones de patentes 2010-2020. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al clasificador internacional de patentes (CIP)

- C02F1 / 00 (31%) Tratamiento de agua
- C02F101 / 00 (17%) Naturaleza del contaminante
- B01J20 / 00 (16%) Composiciones absorbentes sólidas o composiciones coadyuvantes de filtración
- C02F9 / 00 (12%) Tratamiento multipaso del agua
- C02F3 / 00 (7%) Tratamiento biológico del agua

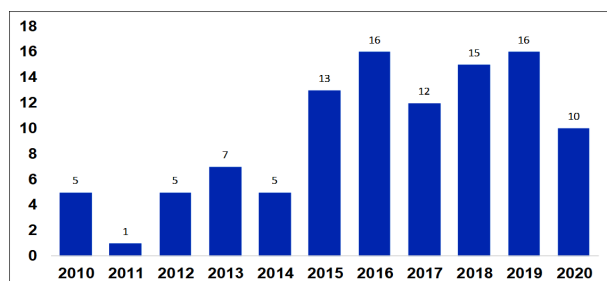


Figura 2. Evolución de las publicaciones de patentes 2010-2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases

Google Patents, Espacenet, Patent Inspirations y Patentscope.

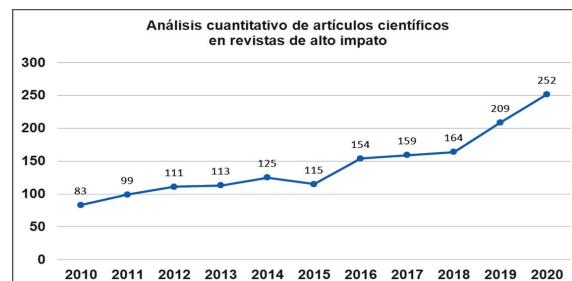


Figura 3. Análisis cuantitativo de artículos científicos

2010-2020 en revistas de alto impacto. Fuente: Elaboración propia a partir de las bases Science Direct y Dimensions.

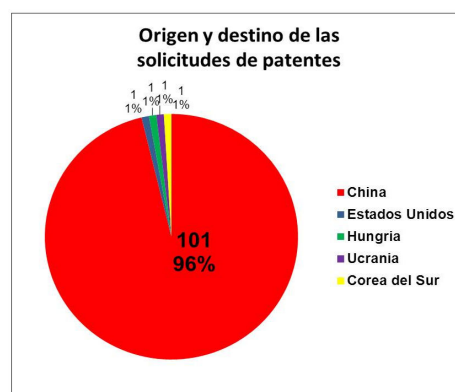


Figura 4. Países de origen y destino de las solicitudes de patentes 2010-2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases Google Patents, Espacenet, Patent Inspirations y Patentscope.

- C02F103 / 00 (6%) Naturaleza del agua
- C02F11 / 00 (2%) Tratamiento de lodos
- B01J29 / 00 (1%) Catalizadores que comprenden tamices moleculares
- B01D67 / 00 (1%) Procesos especialmente adaptados para la fabricación de membranas semipermeables para procesos o aparatos de separación
- B01D69 / 00 (1%) Membranas semipermeables para procesos de separación o aparatos caracterizados por su forma
- B01D71 / 00 (1%) Membranas semipermeables para procesos de separación o aparatos caracterizados por el material
- Otros (5%) Otros

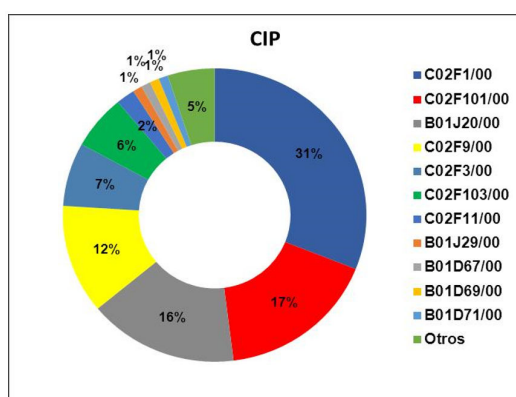


Figura 6. Clasificador Internacional de Patentes.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla que a continuación se presentan se observan las patentes más citadas en el periodo estudiado.

Autores más destacados y revistas de alto impacto

En el análisis de autores más productivos en artículos científicos, se muestra la presencia de 3 científicos chilenos y 2 griegos. Hossein Kazemian es el autor más productivo con mejor relación publicación-citación. También de este grupo, destacan los científicos Simos P. Malamis y Evina Katsou con destacados niveles de citación en 6 publicaciones, no obstante, se recomienda seguir los trabajos de todos los autores que se muestran a continuación. Esta selección ha contribuido en los avances científicos de los últimos 10 años y son altamente seguidos y citados por la comunidad científica en revistas de alto impacto. Es de destacar que en los últimos años se ha notado un incremento de estudios de Chile, siendo el país con más publicaciones de calidad en el tema en cuestión.

En cuanto a las revistas de alto impacto, el núcleo se establece en las 5 primeras revistas a continuación: “Water Science & Technology”, “Journal of Hazardous Materials”, “Microporous and Mesoporous Materials”, “Desalination and Water Treatment” y “Environmental Science and Pollution Research”.

Tabla 1. Patentes más destacadas en el período 2010-2020. Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la patente	Número de Patente	Prior.	Aplicante	Cita
Método de modificación de zeolita y aplicación del mismo para eliminar arsénico en agua	CN101920190B	2010	UNIV HUAZHONG AGRICULTURAL [CN]	4
Un método para la eliminación de productos químicos orgánicos y complejos organo-metálicos del agua de proceso u otras corrientes de una planta de procesamiento de minerales que utiliza zeolita	US8920655B2	2010	VALE S.A [BR]	3
Agente de tratamiento de agua compuesto, así como método de preparación y aplicación del mismo	CN103055804B	2013	UNIV HOHAI [CN]	2
Método de preparación de zeolita modificada con nano-hierro	CN103464094B	2013	UNIV TONGJI [CN]	1
Material compuesto de zeolita modificada con iones inorgánicos y aplicación del mismo	CN104941574B	2015	UNIV NANJING [CN]	1
Agente compuesto de materia orgánica de zeolita modificada para la eliminación sincrónica de nitrógeno y fósforo de aguas residuales, método de preparación, método de aplicación del agente compuesto de materia orgánica de zeolita modificada	CN104971699B	2015	UNIV NANJING [CN]	1
Zeolita modificada con nano ferro-manganeso para eliminar BrO_3 y ClO_4 , así como para la preparación y aplicación de zeolita modificada con nano ferro-manganeso	CN105148885B	2015	UNIV JINAN [CN]	0
Adsorbente de zeolita modificada para eliminar nitrógeno amoniacal y fosfato en agua, método de preparación y regeneración del mismo	CN105381782B	2015	UNIV FUDAN [CN]	0

Tabla 2. Autores más productivos de artículos científicos en revistas de alto impacto. Fuente: Elaboración propia.

AUTORES	PUBLICACIONES	CITACIONES	MEDIA
Hossein Kazemian University of Northern British Columbia, Canada	11	382	34.73
Silvio J. Montalvo University of Santiago Chile, Chile	9	293	32.56
Héctor Valdés Catholic University of the Most Holy Conception, Chile	9	186	20.67
José Luis Cortina Polytechnic University of Catalonia, Spain	8	247	30.88
Claudio A Zaror University of Concepción, Chile	8	181	22.63
Ayten Ates Cumhuriyet University, Turkey	7	177	25.29
Simos P. Malamis National Technical University of Athens, Greece	6	464	77.33
Evina Katsou Brunel University London, United Kingdom	6	464	77.33
Guang-Ming Zeng Hunan University, China	6	193	32.17

Tabla 3. Revistas de alto impacto con más publicaciones. Fuente: Elaboración propia.

NOMBRES	PUBLICACIONES	CITACIONES	MEDIA
<i>Water Science & Technology</i>	49	648	13.22
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	37	1860	50.27
<i>Microporous and Mesoporous Materials</i>	37	853	23.05
<i>Desalination and Water Treatment</i>	35	275	7.86
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	31	367	11.84
<i>AIP Conference Proceedings</i>	27	45	1.67
<i>IOP Conference Series Materials Science and Engineering</i>	24	53	2.21
<i>Journal of Environmental Management</i>	22	933	42.41

CONCLUSIONES

1. Las tecnologías desarrolladas son esencialmente físico-químicas, como adsorción, intercambio iónico, filtración, floculación, precipitación, catálisis y filtración por membrana.
2. Los desarrollos se enfocan principalmente, en la remoción de metales como hierro, cobre, zinc, manganeso, arsénico, cromo, plata, níquel y mercurio.
3. Hay tecnologías para la remoción de otro tipo de contaminantes (nutrientes) que paralelamente promueven la remoción de metales pesados (sin ser este su objetivo principal). Esto ocurre en procesos que requieren ajuste de pH.
4. Son relevantes los avances científicos en la utilización de zeolita natural modificada para las remociones de metales pesados.
5. El dominio de China en las solicitudes y patentes es casi absoluto con un 96% (101 publicaciones).
6. Chile es el país con más autores citados en revistas de alto impacto en este tema.
7. Los autores más citados son: Hossein Kazemian University of Northern British Columbia, Silvio J. Montalvo, University of Santiago Chile, Héctor Valdés Catholic University of the Most Holy Conception, Chile.
8. Las revistas de alto impacto de mayor cantidad de citaciones son: *Water Science & Technology* (49 citaciones) y la *Journal of Hazardous Materials* (1860 citaciones).

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, D., Builes, S., Ordóñez, C. & López, I. 2011. Evaluación de la eficiencia de una batería de filtros empacados en zeolita en la remoción de metales pesados presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18), 31-42.
- Can, Ö., Balköse, D., & Ülkü, S. 2010. Batch and column studies on heavy metal removal using a local zeolitic tuff. *Desalination*, 259(1-3), 17-21. doi: <http://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.047>
- Carreño, U.F. 2015. Tratamientos de aguas industriales con metales pesados a través de zeolitas y sistemas de biorremediación. *Revisión del estado de la cuestión. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 15(1), 70-78.
- Ciosek A.L., Luk G.K. 2017. Kinetic Modelling of the Removal of Multiple Heavy Metallic Ions from Mine Waste by Natural Zeolite Sorption. *Water*, 9(7), 482. doi: <http://doi.org/10.3390/w9070482>
- Chiang, Y. W., Ghyselbrecht, K., Santos, R. M., Martens, J. A., Swennen, R., Cappuyns, V., & Meesschaert, B. 2012. Adsorption of multi-heavy metals onto water treatment residuals: Sorption capacities and applications. *Chemical Engineering Journal*, 200-202, 405-415. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.070>
- Choi, H.-J., Yu, S.-W., & Kim, K. H. 2016. Efficient use of Mg-modified zeolite in the treatment of aqueous solution contaminated with heavy metal toxic ions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineering*.

- mical Engineers, 63, 482–489. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.03.005>
- Delkash, M., Ebrazhi Bakhshayesh, B., & Kazemian, H. 2015. Using zeolitic adsorbents to cleanup special wastewater streams: A review. *Microporous and Mesoporous Materials*, 214, 224–241. doi: <http://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.04>.
- Du, G. 2012. Retention and transport through Fe (III)-coated natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 221–222, 118–123.
- Guocheng, L., Li, Z., Wei-Teh, J., Ackley, C. & Fenske, N. 2014. Demarco removal of Cr (VI) from water using Fe (II)-modified natural zeolite. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(2), 384–390. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.08.003>
- Jovanovic, B., Vukasinovic-Pesic, V., Veljovic, D., & Rajakovic, L. 2011. Arsenic removal from water using low-cost adsorbents: A comparative study. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 76(10), 1437–1452. doi: <http://doi.org/10.2298/jsc101029122j>
- Kim, D.-G., Nhung, T. T., & Ko, S.-O. 2016. Enhanced adsorption of heavy metals with biogenic manganese oxide immobilized on zeolite. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(6), 2189–2196. doi: <http://doi.org/10.1007/s12205-016-0356-1>
- Magriotis, Z., Paulo, V. & Leal, A. 2014. Treatment through zeolites etheramines. *Applied Clay Science* 91–92, 55–62.
- Malamis, S., & Katsou, E. 2013. A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: Examination of process parameters, kinetics and isotherms. *Journal of Hazardous Materials*, 252–253, 428–461. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.03.024>
- Margeta, K., Zabukovec, N., Siljeg, M., & Farkas, A. 2013. Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use. *Water Treatment*. doi: <http://doi.org/10.5772/50738>
- Ríos, A., Vargas, F. & Cuchimaque, L. 2013. Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, (66), 24–44.
- Shi, J., Yang, Z., Dai, H., Lu, X., Peng, L., Tan, X., Fahim, R. 2018. Preparation and application of modified zeolites as adsorbents in wastewater treatment. *Water Science and Technology*, wst2018249. doi: <http://doi.org/10.2166/wst.2018.249>
- Wang, S., & Peng, Y. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 11–24. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>
- Wen, J., Dong, H., & Zeng, G. 2018. Application of zeolite in removing salinity/sodicity from wastewater: A review of mechanisms, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1435–1446. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.270>.