

RECICLAJE DE LAS AGUAS RESIDUALES: UNA FUENTE RENTABLE Y SOSTENIBLE DE MATERIALES DE INTERÉS

Jiraleiska Y. Hernández C.¹, Samuel Villanueva, Magaly Henríquez

¹ Centro Nacional de Tecnología Química, Gerencia de Proyectos de I+D+i, Coordinación de Energía y Ambiente (CEA), Apartado Postal 1064, Caracas, Venezuela. Tel.:0212-238-53-21.

*publicacionesgpidi.cntq@gmail.com

RESUMEN

Las aguas residuales por sus altos volúmenes generados, la infraestructura que requieren y la inversión necesaria para llevar a cabo un adecuado tratamiento han sido siempre consideradas como un tema complejo de abordar. Afortunadamente, tal concepto ha cambiado y la industria comienza a visualizar en las aguas residuales una fuente rentable y sostenible de energía, nutriente y materia orgánica. Reconociendo la importancia de su recolección, tratamiento, reutilización y reciclaje como una estrategia inteligente en la reducción de costos de producción y en la generación de desechos vírgenes. El presente trabajo muestra los productos que se pueden obtener de las aguas residuales urbanas e industriales, a partir de la información contenida en plataformas de patentes para el periodo 2012-2017. Identificando experiencias exitosas con posibilidades de aplicación, evidenciándose un cambio de paradigma mundial en la gestión de las aguas residuales, pasando del tratamiento y eliminación a contemplar la reutilización, reciclado y/o la obtención de productos de mayor valor añadido presente en las aguas residuales procedente de procesos industriales como urbanos; estas acciones evidencian la preocupación por la explotación y racionamiento de nuestros recursos naturales ante una situación de cambio climático acelerada producto del sistema actual de consumo.

Palabras claves: aguas residuales, reciclaje, reutilización, patentes, tecnologías de revalorización

ABSTRACT

Wastewater due to its high volumes generated, the infrastructure they require and the investment needed to carry out an adequate treatment have always been considered a complex issue to address. Fortunately, this concept has changed and the industry is starting to see a sustainable and sustainable source of energy, nutrients and organic matter in wastewater. Recognizing the importance of its collection, treatment, reuse and recycling as an intelligent strategy in the reduction of production costs and in the generation of virgin waste. This work shows the products that can be obtained from urban and industrial wastewater, based on the information contained in patent platforms for the period 2012-2017. Identifying successful experiences with application possibilities, evidencing a change of global paradigm in wastewater management, going from treatment and elimination to contemplating the reuse, recycling and / or obtaining higher added value products present in wastewater from of industrial processes as urban; These actions demonstrate the concern for the exploitation and rationing of our natural resources in the face of a situation of accelerated climate change resulting from the current system of consumption.

Keywords: wastewater, recycling, reuse, patents, revaluation technologies

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la vida tanto de los seres humanos como del resto de las especies de la tierra. Con un planeta cada vez más poblado y el cambio climático haciendo estragos en muchas partes del mundo, la gestión, conservación y acceso al agua en buenas condiciones es cada vez más difícil sobre todo en los países en desarrollo [1]

Bajo el contexto de una economía circular, donde se busca un equilibrio entre el desarrollo económico, la protección de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental. Las aguas residuales constituyen un recurso abundante y valioso que actualmente es empleado en procesos industriales, como iniciativas tecnológicas que permitirán asumir los nuevos retos de adaptabilidad ante el cambio climático. [2]

Evaluando la actividad patentométrica mundial visualizaremos las tendencias tecnológicas en el reciclaje de las aguas residuales, a partir de la información contenida en la base de datos *PatentInspiration*[®] y bajo una ecuación de búsqueda que permitió extraer documentos de patentes y formular indicadores de productividad según año, país, institución y códigos de Clasificación Internacional de Patentes (CIP) para el período 2012-2017.

METODOLOGÍA

La plataforma empleada para la revisión de los documentos de patentes fue *PatentInspiration*[®]. La ecuación de búsqueda ("**waste water**" AND (**recycling OR recycled OR recycle OR reuse OR "re-utilised"**)) fue utilizada en el campo del título para asegurar que los resultados sean del área de interés y en el período 2012-2017. En la tabla n° 1, se muestran los filtros utilizados para la obtención de los registros, los códigos corresponden a la Clasificación Internacional de Patentes (IPC) y se refieren principalmente a procesos del tratamiento del agua, componentes, partes y piezas, aparatos y programas de control de los efluentes residuales que no son relevantes para el estudio. La acción garantiza que los resultados arrojados pertenezcan al área de interés y los indicadores generados sean propios de un análisis de tendencias en el reciclaje de las aguas residuales y no en tratamiento.

Tabla N° 1. Metodología de búsqueda

Fecha de consulta	Filtros	Resultados
07/08/2018	Título	1861
	Mostrar una patente por familia	1762
	Patentes sin título o resumen	1660
	01/01/2012 al 31/12/2017	1011
	Primera Prioridad	965
	NOT (F23G7/00! OR F22B37/00! OR E03B1/00! OR D06F39/00! OR F28D7/00! OR G05D9/00! OR B28C9/00! OR G05B19/00! OR E03F5/00! OR D06F39/00! OR F28D7/00! OR G05D9/00! OR B28C9/00! OR G05B19/00! OR E03B1/00! OR E03C1! E03D5 F25B27 F24D17 OR B01D21! OR B01D29! OR B01D33! OR B01D35! OR B01D36! OR B01D50! OR B01D61! OR B01D63! OR B01D65! OR B09B3! OR B08B9! OR B08B3! OR C02F)	146

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estrategia de búsqueda recuperó 146 registros de solicitudes y concesiones de patentes, el 82,19% de los documentos fueron publicados entre los años 2014 al 2017, resaltando el año 2015 con 38 textos de innovación científica y mostrando un promedio de 24 patentes por año, aproximadamente. Adicionalmente, se evidenció una tendencia creciente en lo que concierne a la reutilización y reciclaje de las aguas residuales, como interés por el desarrollo de nuevos productos y/o innovaciones tecnológicas que permitirán atender la problemática actual y el futuro inmediato de los recursos hídricos y su calidad. (Ver gráfico N° 1).



Gráfico N.º 1. Número de patentes por año y tendencia de patentamiento (2012-2017)

Fuente: Software: PatentInspiration; Tratamiento: Hernández J.

Es importante mencionar que la cantidad de patentes que se muestran en este estudio se vinculan con la fecha de la primera prioridad y no de publicación, esto permite cerciorar el año correcto en la que fue introducida la protección a la oficina de patentes del país solicitante, además nos arroja un dato importante porque representa la fecha más cercana a la invención.

Esta tendencia de proteger tecnologías e invenciones relacionadas con el reciclaje de las aguas residuales inicia en el año 2000 con tres (03) documentos de patentes y manteniendo un promedio de cuatro (04) invenciones por año hasta el 2009. En el 2010, se multiplica el número de textos protegidos por parte de la comunidad científica y corporaciones interesadas en documentar experiencias exitosas en esta área de estudio, como muestra de la factibilidad técnica-económica de obtener materiales con alto valor agregado a partir de un subproducto de origen industrial o doméstico, pasando de siete (07) a dieciséis (16) documentos. (Ver tabla n°2)

Tabla N° 2. Número de patentes por año (2000-2017)

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Patentes	3	6	2	2	1	2	6	6	4	7	16	15	12	14	36	38	26	20

Los resultados arrojados permitió tratar, analizar y clasificar la información en tres (03) grandes grupos, aquellas relacionadas con la reutilización y/o reciclaje de las aguas residuales de origen industrial, las de procedencia doméstica y las invenciones relacionadas a dispositivos, máquinas o sistemas que permiten re-usar estos efluentes para una mejora continua del proceso. (Ver tabla n°3)

Tabla N° 3. Distribución de patentes por tipo de efluente y año (2012-2017)

Año	Industrial	%	Doméstico/ Municipal	%	Dispositivos	%	Total
2012	08	67	02	17	02	17	12
2013	10	71	03	21	01	07	14
2014	19	53	11	31	06	17	36
2015	15	39	21	55	02	05	38
2016	13	50	10	38	03	12	26
2017	12	60	05	25	03	15	20
Total	77	57	52	31	17	12	146

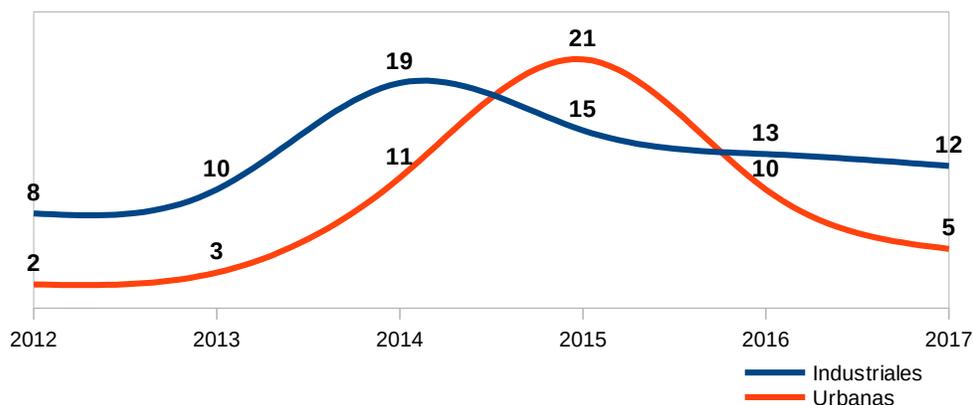


Gráfico N.º 2. Número de patentes orientada a la reutilización de las aguas residuales urbanas e industriales por año (2012-2017)

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de PatentInspiration

El cuadro anterior muestra la distribución de patentes por año, clasificadas según el origen de procedencia. Se determinó que el 57% de las patentes concedidas en el período de estudio corresponden a invenciones que permiten el aprovechamiento de los materiales de valor agregado presente en las aguas de origen industrial, mientras que el 31% pertenecen a la reutilización de las aguas procedentes de las actividades urbanas, solo el 12% de los documentos protegidos están orientados hacia dispositivos, máquinas o sistemas necesarios para llevar a cabo este proceso.

El año con mayor número de patentes enfocadas al aprovechamiento de las aguas industriales fue el 2013, con diez (10) documentos de catorce (14) solicitudes concedidas en el año. Mientras en el 2015, se registró 21 patentes orientadas al reuso de las aguas de origen urbano, representando el 55% del total generado en el año. La cantidad promedio de textos de invención para las aguas industriales es de trece (13) patentes por año, nueve (09) para los efluentes de origen urbano y tres (03) para el desarrollo de dispositivos.

Adicionalmente, en la tabla n°3 y en el gráfico n°2, se evidencia un interés en la reutilización y reciclaje de los efluentes de origen industrial, por contener aún materiales y elementos químicos importantes y en concentraciones que pueden ser recuperadas y reinsertadas en el proceso productivo. Este comportamiento es implementado por la empresa Anglo American al reutilizar el efluente de la mina de Witbank para agua potable, agua de procesos/industrial y agua que

puede evacuarse con seguridad en el ambiente; al mismo tiempo que separan el yeso del agua y lo utilizan como material de construcción, minimizando los costos relacionados con la importación del agua y el vertimiento sin control de los residuos generados [3].

La tendencia mundial esta orientada a la obtención de nuevos materiales a partir de los subproductos generados en la industria y la municipalidad, con un enfoque que nos conlleve a visualizar los residuos como recursos y aprovecharlos en procesos que demande materiales contenido en estos efluentes. Los documentos de patentes contienen información especial en la descripción de métodos, procedimientos, tecnologías, entre otros que pueden ser útil para la resolución de un problema puntual como lo son las aguas residuales.

Apoyados en los análisis estadísticos de las patentes y detallando la información que contienen, se logra determinar el rendimiento inventivo de las multinacionales y el ascenso de las tecnologías emergentes, como indicador de utilidad para las industrias que deseen invertir en mejorar sus procesos y maximizar sus recursos [4]. De lo anterior, se refleja en el gráfico n°3 la orientación de las patentes en el sector industrial

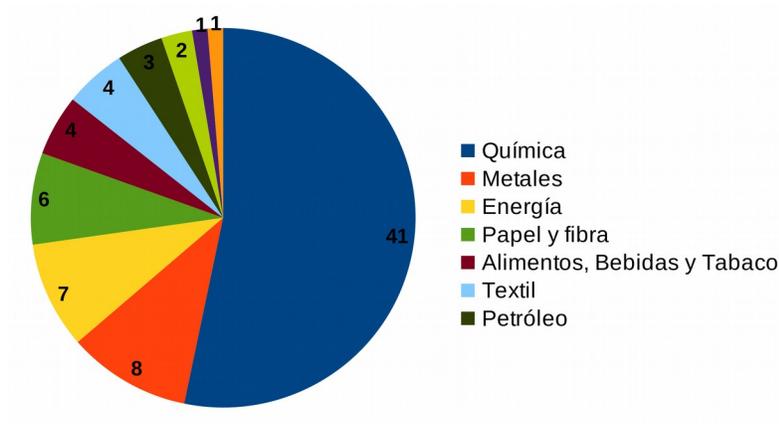


Gráfico N.º 3. Cantidad de patentes orientadas a la reutilización/reciclaje de las aguas residuales por sector económico (2012-2017)

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de PatentInspiration

El gráfico anterior muestra la distribución de las 77 patentes relacionadas con la reutilización/reciclaje de las aguas residuales de origen industrial, evidenciando que el 53% de los documentos protegidos provienen de experiencias exitosas de las industrias del sector químico, con un total de 41 documentos desde el 2012 al 2017. Seguida del sector metalúrgico, específicamente hierro/acero y aluminio con ocho (08) textos de invención que representan el 10%, 9% el sector energético, 6% papel y fibra, y 4% alimentos, bebidas y tabacos. Estos cinco (05) sectores de la industria básica e intermedia representan el 80,52% del total de los documentos de patentes de aquellas empresas que han protegido sus tecnologías y han logrado mejorar la eficiencia del proceso de reuso, reciclaje y/o la obtención de productos de mayor valor añadido presente en las aguas residuales. Otros sectores con menor participación pertenecen al área de la construcción, petróleo, salud y aeroespacial.

Las patentes se utilizan para comprobar el rendimiento tecnológico de los países, constituyen un indicador de las actividades más cercanas al desarrollo de una determinada tecnología [4]. Se evidenció un interés elevado en el reciclaje de las aguas residuales del sector químico, a pesar de ser una tendencia de reciente data, se registra información importante sobre la recuperación de tintas, níquel, titanio, paladio, zinc, azufre, entre otros materiales y elementos químicos recuperables y presentes en las aguas residuales propias del proceso industrial que lo caracteriza. Una de las invenciones que destaca en el sector químico fue registrada bajo el código CN105039717A [5] y trata sobre un método que permite reciclar paladio de las aguas residuales de la sección de activación de paladio alcalino, el proceso inicia con una reducción del paladio bruto disuelto con agua regia, la sustancia no disuelta se filtra y la relación de masa volumétrica del agua regia y el paladio en bruto es de 5-6 a 1 L/kg. Se realiza la adsorción en columna de iones que posteriormente son regeneradas y el paladio es reciclado a través de un líquido regenerado. De acuerdo con el método, las resinas aniónicas se usan para adsorber selectivamente $[PdCl_4]^{2-}$, los metales base de cobre, níquel y similares se separan efectivamente, la tasa de reciclaje es mayor al 96% y la pureza del producto es mayor que 99.98%.

En cuanto al enfoque visualizado por el sector metalúrgico, se observó registros de patentes que permiten recuperar cobre, níquel, cadmio y zinc, así como, metales pesados y fluoruros presentes en las aguas residuales procedentes del proceso decapante del acero inoxidable, documento que se encuentra registrado bajo el número CN103924253A [6] y trata sobre un método que recicla metales pesados y fluoruros a partir de un pre-tratamiento de separación de aceite en las aguas residuales de decapado de acero inoxidable; iniciando con un proceso de decantación en un estanque de sedimentación primaria, prensado del material sólido sedimentado y un tratamiento de reducción de la temperatura media para reciclar el polvo de hierro; se emplea intercambio iónico en el líquido obtenido en el estanque de sedimentación primaria para obtener $NiCl_2$ y se sedimenta el líquido concentrado (obtenido después del intercambio iónico) por segunda vez para obtener material de fluoruro de calcio. El método protegido aplica ampliamente a las empresas de producción de acero inoxidable sin que represente gran inversión debido a que puede completarse sobre la base del equipo existente.

En cuanto a las patentes relacionadas con el sector urbano, de 52 documentos generados en el período de estudio (ver cuadro n°2), 19 textos de invención se inclinan hacia el aprovechamiento energético de los efluentes domésticos, representando el 37% del total, 16 tratan sobre las opciones de reutilización de los residuos procedentes de las áreas de la ducha, cocina, lavado, y aquellas que no contengan materia fecal, representando el 31%. Mientras que el aprovechamiento calórico producto de la descomposición de la materia orgánica de estas aguas, representan el 23 % con doce (12) documentos de patentes y la producción de nuevos materiales a partir de los residuos generados en actividades comunes del ser humano, representa el 10% con cinco (05) documentos de invención.

Algunas patentes evidencian la producción de nuevos materiales con mayor valor añadido, aquella identificada bajo el código CN204125171U [7] muestra un modelo para el reciclaje de recursos de estruvita a partir de nitrógeno y fósforo en aguas residuales. El documento describe un mecanismo de recogida de cristal de estruvita dispuesto debajo de la salida de un tubo de descarga de los lodos, en la que se considera la inclinación y forma del equipo, material con la que está formado (capa de tela geotécnica) y detalles de operación en todo el proceso, que permitan separar de manera eficiente el agua-lodo del precipitado de estruvita.

El análisis de la extensión geográfica de las patentes permite analizar tanto el impacto de la reutilización y reciclaje de las aguas residuales como su mercado potencial. Adicionalmente, facilita al investigador o empresario información sobre el nivel de especialización o fortaleza tecnológica de un país y contribuye a los gestores de políticas a identificar los puntos fuertes y débiles de sus sistemas de innovación nacional [8]. En este estudio, se muestran los países que lideran la tendencia de valorización de las aguas residuales para el caso de una patente por familia, evidenciando una gran participación del continente asiático, encabezado por China con 27 documentos de patentes, seguido de República de Corea con 05, Taiwan y Estados Unidos con (02) protecciones de invención cada uno. (Ver figura 1).



Figura N.º 1. Distribución geográfica de las patentes (2012-2017).

Fuente: Software: PatentInspiration; Tratamiento: Hernández J.

Los países resaltados muestran fortalezas en cuanto al reciclaje de las aguas residuales, China protege invenciones relacionadas a la recuperación de cobre, níquel, zinc cadmio, y otros metales valiosos presentes en las aguas residuales procedente de las actividades básicas de hierro/acero y aluminio. Por su parte, Corea inclina sus procesos tecnológicos a la reutilización de las aguas residuales urbanas y la recuperación de metales de algunos procesos que lo genera; mientras que Estados Unidos patenta información acerca de la utilidad de los efluentes urbanos para hacer materiales fibrosos no tejidos y aprovecha el calor residual generado en el proceso.

La presión social y los compromisos internacionales asumidos por cada país han pautado una serie de retos que precisan la resolución e inversión en investigación para cubrir las necesidades actuales y de futuro en la mejora de la calidad de los recursos hídricos, tendencia que se ha evidenciado a lo largo de este estudio y reflejada de manera cuantitativa a través de los resultados de las patentes.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales domesticas poseen elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno que son descargados sin tratamiento previo a los receptores cercano, repercutiendo de manera negativa en la salud y el ambiente. Esta investigación permitió identificar las alternativas tecnológicas para recuperar esos materiales y transformarlo en residuo útil que puede ser empleado como fertilizante en los campos del país y el mundo, así como aprovechar el calor residual o reusar el efluente en otros procesos que no sean de consumo humano.

Los contaminantes presente en las aguas residuales generan un amplio espectro de contaminantes capaces de degradar el ambiente, porque dependiendo de la naturaleza del efluente, poseen características de toxicidad, movilidad y persistencia que acarrea consecuencias mayores que los

volúmenes de agua residual domestica producida en una ciudad. Sin embargo, existen tecnologías y procesos que se han desarrollado en otros países para el tratamiento y la recuperación de valor agregado de las aguas residuales, detalles técnicos que se encuentran descritos en los documentos de patentes como herramienta a utilizar para extraer información precisa y actualizada para la resolución de problemas.

La industria química y metalúrgica lideran un amplio desarrollo tecnológico en la recuperación de elementos químicos y metales que están presentes en las aguas residuales de cada uno de sus procesos. Estas actividades contribuyen a la reducción de costos operativos, a la creación de mercados secundarios a partir de los subproductos recuperados y a la minimización de los impactos producidos al ambiente.

Los países asiáticos liderado principalmente por China, constituye el país con mayor producción y registro de documentos de patentes relacionado al reciclaje de materiales y elementos químicos de las aguas residuales industrial. Sus protecciones están orientadas a la recuperación de cobre, níquel, zinc cadmio, y otros metales valiosos presentes en los efluentes procedente de las actividades básicas de hierro/acero y aluminio, lo que le ha permitido identificar oportunidades de mayor eficiencia de los recursos y contar con actividades de valor añadido que pueden ser comercializables.

REFERENCIAS

- [1] Alemany, S. Año internacional de la cooperación en la esfera del agua. 2013. Disponible en: <<http://www.ecogestos.com/2013-ano-internacional-de-la-cooperacion-en-la-esfera-del-agua/>>.
- [2] <https://es.unesco.org>
- [3] ONU: Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo. UN Water, 2015
- [4] Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible, 2013. El futuro de la química sostenible : Hoja de ruta. SusChem-España
- [5] Wenming W *et al.* Método para recuperar paladio de aguas residuales de la sección de activación de paladio alcalino, 2015. Patente: CN105039717A
- [6] Qisong C. *et al.* Método para recuperar metales pesados y fluoruro de aguas residuales de decapado de acero inoxidable, (2014) . Patente: CN103924253A
- [7] Zhang D. *et al.* Dispositivo para el reciclaje de recursos de estruvita a partir de nitrógeno y fósforo en aguas residuales. (2015) Patente: CN204125171U
- [8] González O. *et al* (2014) Estudio de patentes sobre tecnologías para tratamiento de agua y el agua residual. VII Seminario Internacional sobre Estudios Cuantitativos y Cualitativos de la Ciencia y la Tecnología, Brasil.
- [9] <https://patentinspiration.com>