



Minería de rellenos sanitarios como alternativa de gestión para residuos sólidos*

*Carlos Alberto Severiche Sierra***, *Rosa Leonor Acevedo Barrios****,
*José Del Carmen Jaimes Morales*****

Landfill mining as an alternative for solid waste management

Mineração de aterros sanitários como alternativa de gestão para resíduos sólidos

RESUMEN

El tema de los residuos sólidos constituye una de las mayores preocupaciones de las sociedades contemporáneas y un desafío mundial para la gestión ambiental. La disposición de estos en rellenos sanitarios, aunque resuelve un problema inmediato, no es la solución definitiva, ya que crea una nueva complicación y es la ocupación de terrenos que disminuye el área de uso de un territorio, además de la emisión de gases con impactos negativos en la atmósfera y el aumento del riesgo de contaminación de fuentes de agua, subterráneas y superficiales. En este estudio se hace una revisión de tema, teniendo como referencia la minería de rellenos sanitarios, su proceso tecnológico e impacto económico, y su aplicación como herramienta de gestión.

Palabras clave: aprovechamiento, contaminación, desechos, gestión ambiental.

* Artículo derivado del proyecto de investigación "Minería de rellenos sanitarios como alternativa de gestión para residuos sólidos en Bolívar, Norte de Colombia", realizada en el Departamento de Bolívar, durante el segundo semestre del año 2013. **Químico, especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente Universidad de Cartagena, Docente Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias, Colombia. Autor para correspondencia: cseveriches@gmail.com *** Bióloga, magíster en Microbiología. Docente de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias, Colombia. Correo electrónico: rosautb@gmail.com ****Licenciado en Biología y Química, Ingeniero de Alimentos, especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, magíster en Ingeniería Química, magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias-Colombia. jjaimemor@yahoo.es

ABSTRACT

Solid waste is one of the main worries in contemporary societies, and it is a global challenge for environmental management. Its disposal in landfills, even though solving an immediate issue, is not a definite solution because it creates a new complication: the occupation of terrains, thus reducing the useful area of territories, plus the gas emission that negatively affects the atmosphere and increases the contamination risks for surface and underground water sources. This study revises the issue, taking landfill mining as a reference with its technological process, its economic impact and its applicability as a management tool.

Key words: use, contamination, waste, environmental management.

RESUMO

O tema dos resíduos sólidos constitui uma das maiores preocupações das sociedades contemporâneas e um desafio mundial para a gestão ambiental. A disposição destes em aterros sanitários, ainda que resolve um problema imediato, não é a solução definitiva, já que cria uma nova complicação e é a ocupação de terrenos que diminui a área de uso de um território, além da emissão de gases com impactos negativos na atmosfera e o aumento do risco de contaminação de fontes de água, subterrâneas e superficiais. Neste estudo se faz uma revisão de tema, tendo como referência a mineração de aterros sanitários, seu processo tecnológico e impacto econômico, e sua aplicação como ferramenta de gestão.

Palavras importantes: aproveitamento, contaminação, refugos, gestão ambiental.

INTRODUCCIÓN

La sociedad humana siempre ha generado desechos como resultado de los procesos de producción y consumo para satisfacer sus necesidades. Tarde o temprano los recursos naturales extraídos de bosques, minas, pozos, mantos acuíferos y la tierra misma se convierten en basura, desperdicios, o desechos (Castillo, 2005; Pajaro y Olivero, 2011; Severiche y Acevedo, 2013; Acevedo y Severiche, 2013).

Cuando la población era pequeña y errante, los desechos se descomponían de manera natural porque se trataba en gran medida de material orgánico; con el surgimiento de la agricultura, hace unos 10000 años, se crearon asentamientos permanentes, aumento de la densidad demográfica y con ella la generación de desperdicios, cuyo manejo representa un problema básicamente urbano (Van Hoof y Herrera 2007; Sánchez et al., 2009; Álvarez y Pérez, 2012). En muchas ciudades los desperdicios simplemente se dejaban en el suelo de las casas o se arrojaban a la calle, con lo cual subía el nivel de esta; en la actualidad, por ejemplo, la ciudad inglesa de Bath se encuentra de tres a seis metros más arriba que en tiempos del imperio romano. En la isla de Manhattan, Nueva York, el nivel de la calle es hoy cuatro metros más alto que en el siglo XII (Santiago, 2008; Troitiño, 2009).

Sin embargo, en otras ciudades se adoptaron prácticas distintas. Durante el fortalecimiento de la civilización minoica en Creta, en los años 3000-1000 a. C, los desechos se colocaban en grandes hoyos y se cubrían con tierra a intervalos. Así pues, la idea de un relleno sanitario no es novedosa (Sánchez et al., 2009; Troitiño, 2009).

En el siglo V a. C., la ciudad India de Mohenjo Dairo tenía ya un eficaz sistema de drenaje y recolección de basura; cada hogar contaba con recipientes especiales para su almacenamiento temporal (Arvizu y Huacuz, 2003; Venegas y Rojas, 2009; Lozano, 2010).

El incremento de la población eleva la demanda de empleo y vivienda, y de una multitud de bienes y servicios. De 1985 al año 2000, los países en desarrollo aumentaron cerca del 65 % su capacidad para

construir y administrar los distintos tipos de infraestructura urbana, como transporte, saneamiento, servicios públicos, escuelas y hospitales, con el aumento correlativo de desechos o basura. El manejo de los desechos sólidos es, en suma, uno de los grandes problemas generados por el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la urbanización (Allende, 2001; Rulkens, 2007; Martínez y Montoya, 2013; Singh et al., 2014).

El manejo de residuos sólidos es una grave problemática en Latinoamérica, donde las ciudades y habitantes se ven cada vez más afectados; por tal razón, países como Chile y Brasil preocupados por el cuidado del medio ambiente han desarrollado proyectos exitosos (Acero, 2012).

En Colombia, se evidencia que el problema de los rellenos sanitarios es notorio en las principales ciudades, y la falencia se encuentra en todo lo relacionado con la minería de rellenos sanitarios, lo cual permite el aprovechamiento de los residuos sólidos depositados en estos espacios y que incluye el tratamiento de lixiviados con el diseño de un tratamiento para lograr su mitigación y aprovechamiento (Severiche y Acevedo, 2013).

El problema radica en los métodos de tratamiento y procesamiento de los residuos, pues una vez recolectados pueden ser asignados a diversos procesos de transformación, incluyendo reciclaje, aprovechamiento energético, elaboración de compostaje, producción de biogás, formulación de combustibles alternos, lo que sin duda repercutirá en beneficios sanitarios, ambientales, sociales, económicos y, por supuesto, culturales (Caicedo y Molina, 2004; Noguera y Olivero, 2010).

En Colombia, la política para la gestión de residuos sólidos tiene su fundamento en la Constitución Política de 1991, la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994 reglamentada en el Decreto 1713 de 2002, y el Decreto 2820 de 2010; dicha política ha servido para establecer el marco normativo correspondiente a la estructuración de una metodología para el diseño de planes de manejo de residuos sólidos; sin embargo, más que normativa, el país necesita revisar las experiencias exitosas de naciones desarrolladas, tomar conciencia y propiciar técnicas con el uso de tecnologías apropiadas, para llevar a cabo un adecuado aprovechamiento de los residuos sólidos y, específicamente, de aquellos depositados en los rellenos sanitarios (Novelo, 2002; Rojas y Mendoza, 2012).

En este artículo se hace una revisión de tema, teniendo como referencia la minería de rellenos sanitarios, su proceso tecnológico e impacto económico, su aplicación como herramienta de gestión y la producción de biogás.

MINERÍA DE RELLENOS SANITARIOS

La minería de rellenos sanitarios fue descrita por primera vez en 1953 en un artículo que documenta los procesos utilizados en el relleno sanitario operado por la ciudad de Tel Aviv, Israel. El objetivo primario fue la excavación de los residuos para la recuperación de un área donde se encontraba construido el relleno sanitario (Malik & Bharti, 2009; Frändegård et al., 2013; Quaghebeur et al., 2013; Masi et al., 2014);

Actualmente, aún se carece de información sistemática sobre proyectos o experiencias en el tema; a continuación se comentan algunos de los más conocidos.

El primero de ellos sucede en Tel Aviv, en el año de 1953, donde por mal diseño del relleno sanitario se motivó la explotación de residuos sólidos para la recuperación del suelo (Malik & Bharti, 2009; Bosmans et al., 2013; Van Passel et al., 2013; Raga & Cossu, 2014). En 1989, se encuentra una experiencia en la India, donde se realizó un estudio piloto para el compostaje. Posteriormente, en los años de 1990 a 1995, diversas zonas de EE. UU., como Nueva York, Florida y Connecticut, se centraron en el uso de la minería para la recuperación de vertederos, evitar la contaminación de aguas subterrá-

neas, la recuperación de suelo y el uso de vertedores para generar energía (Krook & Baas, 2013). En Europa, el primer país en entrar en esta tendencia fue Alemania, con el fin de fomentar el reciclaje y la recuperación de los vertederos en el año de 1994; este país es una potencia en digestores que se sostienen gracias a que la energía que se produce por ellos se paga por KWH producido. Otras experiencias de Europa han estado en los Países Bajos (Jain et al., 2013; Cyrs, 2014).

La minería de rellenos sanitarios tiene como propósito la recuperación de especies de valor comercial, material reciclable, metales, plásticos (Ersoy et al., 2013; Niskaen et al., 2013; Butt et al., 2014; Camba et al., 2014), además del aprovechamiento de gases generados para producir energía. Su fin es reducir la huella ecológica de forma significativa (Hrad et al., 2013; Rees et al., 2013; Kumar & Sharma, 2014).

Dentro de los aspectos metodológicos más relevantes de la minería de rellenos sanitarios se encuentra:

- **Excavación de residuos:** Es una técnica que consiste en la excavación de suelo hasta una línea base contaminada para posteriormente hacer una selección selectiva de residuos reutilizables y así descontaminar el suelo (Gupta et al., 2014).
- **Procesamiento y clasificación de los productos recuperados:** En esta etapa los residuos se seleccionan, se buscan los que se pueden reutilizar, como metales, plásticos, otros, para posteriormente re-disponer los que no sirven (Tom et al., 2013).
- **Redisposición de los residuos no utilizados:** En esta fase de redisposición se busca que con aquellos elementos orgánicos utilizables, se haga una fase de compostaje que genere unas reacciones químicas que permitan la producción de energía (Arthur & Brew, 2010; Bosmans et al., 2014). En este proceso, es necesario tener en cuenta que hay factores que afectan la descomposición de los residuos y que, por lo tanto, inciden en el aprovechamiento que de ellos pueda hacerse; inicialmente, las condiciones climáticas y meteorológicas del lugar: temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, precipitación pluvial, entre los principales; además, las propiedades físico-químicas de los residuos dispuestos, en términos de contenido de humedad, la capacidad de descomposición y el calor de reacción de los distintos procesos de reacción; la tecnología aplicada en la disposición final influye en las condiciones ambientales prevalecientes a través de la altura de las celdas, la tecnología de compactación, el tipo de cubierta y el perfil total del relleno (Caicedo y Molina, 2004).

Por último, la edad del relleno; se ha comprobado que la capacidad de reacción de los componentes químicos presentes en el relleno es mucho más rápida cuando el relleno es de reciente creación; en la medida que pasa el tiempo, dicha capacidad se torna mucho más lenta (Kaartinen et al., 2013).

IMPACTO ECONÓMICO DE LA MINERÍA DE RELLENOS SANITARIOS

Al analizar los impactos económicos que puede generar la minería en los rellenos sanitarios se encuentra que, en primera instancia, se rehabilita el terreno donde se encuentra el vertedero, generando impacto positivo y ahorro de costos; además, las zonas productivas rurales no se verán afectadas por la creación de un nuevo relleno sanitario (Oñate, 2014).

Además de esto, se evitan los costos de cierres del vertedero, ya que por legislación no es solo cerrar y se soluciona el problema, sino que se debe cumplir una normativa vigente, un plan de clausura del cierre que incluye obras de infraestructura como canales, caminos internos, inversión de maquinaria y la redisposición de residuos. Si se hace una explotación minera de los rellenos se evitarían todos estos costos (Calvallucci, 2009). Así, se evita la construcción de nuevos rellenos y el empleo de terrenos que podrían ser útiles para la agricultura o la ganadería; de allí la importancia de la minería en los rellenos sanitarios (Lopez et al., 2005; Hettiaratchi et al., 2014). De otra parte, una oportunidad de la utilización de la basura para generar energía es la comercialización de los bonos de carbono que se

otorgan por la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, entre otros). Esto se originó en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en diciembre de 1997, bajo los términos del Protocolo de Kyoto (Varela, 2013).

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA EXPLOTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS

Tradicionalmente, las fuentes generadoras de energía se han fundamentado en recursos no renovables, como el petróleo, el carbón y el gas natural; la demanda en este sentido es creciente y los recursos cada vez más limitados. El abuso en la utilización de estos elementos para obtener energía ha ocasionado serios impactos ambientales, lo que ha llevado a reflexionar sobre el uso eficiente de energía y la generación de energías limpias (Varela, 2013).

En este sentido, la energía renovable, de acuerdo con su origen, puede ser: solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidráulica. El biogás es considerado un producto resultante de la descomposición de los residuos orgánicos y, por lo tanto, puede clasificarse como parte integrante de la biomasa (Calvallucci, 2009; Tejada et al., 2010).

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas. La composición química del biogás (tabla I) indica que el componente más abundante es el metano (CH_4); este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero. La mezcla de CH_4 con el aire es combustible y arde con llama azul.

Tabla I. Composición química del biogás

COMPONENTE	FÓRMULA	PORCENTAJE
Metano	CH_4	40-70
Dióxido de carbono	CO_2	30-60
Hidrógeno	H_2	0,1
Nitrógeno	N_2	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O_2	0,1
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	0,1

Fuente: Cepero et al., 2012

El biogás, producto gaseoso contaminante de los rellenos sanitarios, es utilizado como fuente de energía, y en este sentido, pueden aprovecharse los bonos de carbono que se reciben por la reducción de las emisiones de metano y bióxido de carbono, principales gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global de la tierra (Oñate, 2014).

Las reacciones canalizadas que permiten la generación de energía son llamadas digestores; en Nepal y Dinamarca se han formulado experiencias exitosas en este tipo de proyecto y se encuentra que son sostenibles. Estas reacciones son de tipo físico, químico y biológico. Dentro de los cambios físicos se ha documentado la compactación de los residuos, la proliferación de gases dentro y fuera del relleno, que genera gases y lixiviados; las reacciones químicas provocan la disolución de masa y evaporación

de líquidos. Por último, las reacciones biológicas son fundamentales porque en ellas intervienen microorganismos que permiten la descomposición de los residuos, y cuando estos cumplen su ciclo de descomposición generan dióxido de carbono y metano (Arvizu & Huacuz, 2003; Calvallucci, 2009; Sanchez et al., 2009). A partir de estos procesos fisicoquímicos y biológicos, se establece la producción de biogás.

Además de lo expuesto, los beneficios de la producción de biogás, más allá de reducción de emisión de gas con efecto invernadero, incluyen el potencial para la mejora de la calidad de aire local a través de la destrucción de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAPS) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs) por medio de la combustión (Zapata et al., 2013; Masi et al., 2014).

Es de aclarar que los rellenos sanitarios poseen dos fases: una operativa y otra de clausura; dentro de la fase operativa se genera más metano y se produce el biogás; posteriormente, cuando el relleno sanitario se clausura, puede seguir generando biogás pero en menor proporción (Varela, 2013; Raga & Cossu, 2014). Es importante destacar que el biogás por sí solo genera contaminación, pero con un sistema de digestores este biogás se puede usar para la generación de energía eléctrica, por sus características térmicas.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados mostrados, se puede concluir que:

- En algunos países desarrollados ya se avanza en la construcción de digestores que aplican el principio básico de la minería en rellenos sanitarios.
- El impacto económico de la minería se refleja en que se evitan costos de construcción de nuevo rellenos, se evita el uso de más suelo para la disposición de residuos y se pueden generar ingresos con la comercialización de los bonos de carbono, entre otros.
- La explotación de la minería de rellenos sanitarios es una tecnología en desarrollo y aún faltan experiencias y estudios serios que permitan llegar a conclusiones definitivas.
- La tecnología de minería de rellenos sanitarios permite la recuperación de capacidad de rellenos abandonados y evita la utilización de terrenos adicionales que pueden ser utilizados para usos agrícolas, vivienda o pulmones verdes; la recuperación de gases, como el metano, permite la disposición de energía no proveniente de combustibles fósiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, R. (2012). *Formulación de los criterios para la evaluación de planes de gestión integral de residuos sólidos en Colombia*. Tesis de Especialización en Gerencia Ambiental. Universidad Libre. Bogotá, Colombia.
- Acevedo, R. y Severiche, C. 2013. Evaluation of environmental impacts in a water quality laboratory. *Producción + Limpia*, 8(2), 32-38.
- Allende, T. (2001). Evaluación geológico-ambiental en la determinación de la factibilidad de un área para relleno sanitario. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 4(7), 52-62.
- Álvarez, J. y Pérez, L. (2012). *Ecodiseño, creación de propuestas de bolsas reutilizables y biodegradables para el desarrollo sostenible*. Tesis de Grado en Artes Plásticas. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.

- Arthur, R. & Brew-Hammond, A. (2010). Potential biogas production from sewage sludge: A case study of the sewage treatment plant at Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana. *IJEE*, 1(6), 1009-1016.
- Arvizu, J. & Huacuz, J. (2003). Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. *Boletín IIE*, 27(4), 118-123.
- Bosmans, A. et al. (2014). Pyrolysis characteristics of excavated waste material processed into refuse derived fuel. *Fuel*, 122(15), 198-205.
- Bosmans, A. et al. (2013). The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 10-23.
- Butt, T. et al. (2014). Literature review of baseline study for risk analysis. The landfill leachate case. *Environment International*, 63, 149-162.
- Caicedo, F. y Molina, J. (2004). *Remoción de materia orgánica de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda por medio de un reactor UASB*. Tesis de Grado en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Camba, A. et al. (2014). Modeling the leachate flow and aggregated emissions from municipal waste landfills under life cycle thinking in the Oceanic region of the Iberian Peninsula. *Journal of Cleaner Production*, 67(15), 98-106.
- Castillo, J. (2005). *Psicología ambiental, naturaleza y cultura*. Buenos aires, Argentina: Ed. Por la Vida.
- Cavallucci, O. (2009). *Como está aprovechando el Ecuador las oportunidades del MDL dentro del marco del EU ETS*. Tesis de Maestría en Relaciones Internacionales. Universidad Andina Simón Bolívar. Quito, Ecuador.
- Cepero, L. et al. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 219-226.
- Cyrs, W. (2014). Landfill waste and recycling: Use of a screening-level risk assessment tool for end-of-life cadmium telluride (CdTe) thin-film photovoltaic (PV) panels. *Energy Policy*, 68, 524-533.
- Ersoy, H. et al. (2013). Landfill site requirements on the rock environment: A case study. *Engineering Geology*, 154(28), pp. 20-35.
- Filigrana, P. et al. (2011). Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores. *Biomédica: Revista Del Instituto Nacional de Salud*, 31(3), 322-334.
- Frändegård, P. et al. (2013). A novel approach for environmental evaluation of landfill mining. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 24-34.
- Gupta, A. et al. (2014). Application of Fenton's reagent as a polishing step for removal of UV quenching organic constituents in biologically treated landfill leachates. *Chemosphere*, 105, 82-86.
- Hettiaratchi, J. et al. (2014). Waste degradation and gas production with enzymatic enhancement in anaerobic and aerobic landfill bioreactors. *Bioresource Technology*, 159, 433-436.

- Hrad, M. et al. (2013). Comparison between lab- and full-scale applications of in situ aeration of an old landfill and assessment of long-term emission development after completion. *Waste Management*, 33, 10, 2061-2073.
- JAIN, P. et al. (2013). Case study of landfill reclamation at a Florida landfill site. En: *Waste Management*, 33(1), 109-116.
- Kaartinen, T. et al. (2013). Case study on sampling, processing and characterization of land-filled municipal solid waste in the view of landfill mining. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 56-66.
- Krook, J. & Baas, L. Getting serious about mining the technosphere: a review of recent landfill mining and urban mining research. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 55(15), 1-9.
- Kumar, A. & Sharma, M. (2014). Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 5, 50-61.
- López, D. et al. (2005). Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. *Interciencia*, 30(10), 623-630.
- Lozano, J. (2010). *Competitividad y expansión urbana en municipios de la región periférica del estado de Nuevo León*. Tesis de Doctorado en Filosofía con orientación en Arquitectura y asuntos urbanos. México: Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de Los Garza.
- Malik, S. & Bharti, U. (2009). Biogas production from Sludge of Sewage Treatment Plant at Haridwar. *Asian J. Exp. Sci.*, 23(1), 95-98.
- Martínez, J. y Montoya, N. (2013). Análisis preliminar de la viabilidad de obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. *Producción + Limpia*, 8(2), 72-84.
- Masi, S. et al. (2014). Assessment of the possible reuse of MSW coming from landfill mining of old open dumpsites. *Waste Management*, 34(3), 702-710.
- Niskanen, A. et al. (2013). Enhancing landfill gas recovery. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 67-71.
- Noguera, K. y Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso Colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356.
- Novelo, R. et al. (2002). Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 6(2), 7-12.
- Oñate, F. (2014). *Mecanismos para la promoción de energías renovables no convencionales para la producción de energía eléctrica en el Ecuador*. Tesis de Grado en Ingeniería Eléctrica. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Pajaro, N. y Olivero, J. (2011). Química verde: un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 169-182.
- Quaghebeur, M. et al. (2013). Characterization of landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 72-83.
- Raga, R. & Cossu, R. (2014). Landfill aeration in the framework of a reclamation project in Northern Italy. *Waste Management*, 34(3), 683-691.

- Rees, R. et al. (2013). Boron accumulation and tolerance of hybrid poplars grown on a B-laden mixed paper mill waste landfill. *Science of The Total Environment*, 447(1), 515-524.
- Rojas, R. y Mendoza, L. (2012). Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. *Producción + Limpia*, 7(2), 74-90.
- Rulkens, W. (2007). Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options. *Energy Fuels*, 22, 9-15.
- Sánchez, R. et al. (2009). Modelo de gestión integral para fortalecer la industria agroalimentaria venezolana. *Revista Venezolana de Gerencia*, 14(48), 537-561.
- Santiago, J. (2008). La problemática del ambiente, la educación ambiental y el uso didáctico de los medios de comunicación social. *Revista Investigación y Postgrado*, 23(2), 241-270.
- Severiche, C. y Acevedo, R. (2013). Las prácticas de laboratorio en las ciencias ambientales. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 3(40), 191-203.
- Severiche, C. y Acevedo, R. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. *Ingenium*, 14(28), 6-15.
- Singh, S. et al. (2014). Ozonation pretreatment for stabilized landfill leachate high-pressure membrane treatment. *Desalination*, 344(1), 163-170.
- Tejada, L. et al. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), 120-125.
- Tom, P. et al. (2013). Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 45-55.
- Troitiño, M. (2009). Turismo y desarrollo sostenible en ciudades históricas. *Ería*, 47, 211-227.
- Van Hoof, B. y Herrera, C. (2007). La Evolución y el Futuro de la Producción Más Limpia en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 10(26), 101-119.
- Van Passel, S. et al. (2013). The economics of enhanced landfill mining: private and societal performance drivers. *Journal of Cleaner Production*, 55(15), 92-102.
- Varela, D. (2013). *Análisis de la situación actual del aprovechamiento de la biomasa para producción de electricidad en España*. Tesis de Grado en Ingeniería Industrial. España: Universidad Carlos III de Madrid. Leganés.
- Venegas, F. y Rojas, R. (2009). Teoría y Práctica del Ordenamiento y Manejo Sustentable del Territorio: Tijuana-Rosarito-Tecate, Baja California, México. *Información tecnológica*, 20(3), 73-87.
- Zapata, A. et al. (2013). Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 105-120.