

Costos de inversión para la descontaminación ambiental mediante modelos econométricos

Investment costs for environmental decontamination using econometric models

RODRÍGUEZ, Juan P.¹

RUIZ-OCHOA, Mauricio A.²

CASTRO-GARZÓN, Hernando³

Resumen

Este manuscrito establece elementos económicos para la toma de decisiones en la elaboración de costos en un plan de manejo ambiental, tendientes a reducir de manera significativa los impactos ambientales en los proyectos. Considerando componentes de tratamiento de aguas residuales domésticas, residuos sólidos domésticos, control de la afectación del aire y potabilización del agua como medidas para la reducción de la contaminación, se muestra que las ecuaciones econométricas permiten de manera especial configurar aspectos ambientales más evidentes y eficaces en la descontaminación ambiental.

Palabras clave: sostenibilidad, costos de inversión, descontaminación, econometría.

Abstract

This manuscript establishes economic elements for decision making in the elaboration of costs in an environmental management plan, tending to significantly reduce environmental impacts in projects. Considering components of domestic wastewater treatment, domestic solid waste, air pollution control and water purification as measures for pollution reduction, it is shown that econometric equations allow in a special way to configure more evident and effective environmental aspects in environmental decontamination.

Key words: sustainability, investment costs, decontamination, econometrics.

1. Introducción

La valoración ambiental de las políticas, programas, proyectos, obras y actividades, conllevan una evaluación del impacto ambiental, evidenciado mediante metodologías específicas según cada contexto y situación propia del proyecto. Esto trae consigo una estrategia articulada en mitigar y reducir los impactos negativos, mediante la elaboración de un plan de manejo encaminado especialmente a la disminución de cada aspecto ambiental valorado dentro una escala de cualificación ambiental, entre bajo y regular. Ello configura una serie de medidas técnicas apropiadas y adecuadas, pero desconociendo el valor de uso directo, indirecto y de existencia, es decir, no siendo preciso en la cuantificación de los costos ambientales de las obligaciones de remediación, cambios en

¹ Ingeniero Sanitario y Ambiental. Magister en Ingeniería Ambiental. PhD. en Ingeniería. Profesor Asociado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del grupo de investigación AQUAFORMAT. Correo electrónico: jprodriguez@udistrital.edu.co.

² Ingeniero Ambiental. Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Ph.D. en Ingeniería. Docente Investigador. Universidad Manuela Beltrán. Bucaramanga. Colombia.

³ Profesor, Escuela de Administración y Negocios. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

la calidad ambiental, agotamiento, impacto estético, emisiones al aire y agua, entre otros (Ruesga & Durán, 1995; Díaz-Vásquez & Cancelo, 2010); ello presupone un bajo rigor en lo económico, desconociendo la externalidad económica negativa (perjudicial) el costo de inversión, operación y mantenimiento a nivel de prefactibilidad para la descontaminación y alcanzar los estándares mínimos (Martínez, 1992; Freeman, 1998; Viglizzo *et al.*, 2011), es decir, los valores máximos admisibles establecidos en cada norma local. Por ello, este artículo pretende establecer elementos de ecuaciones econométricas para realizar de una manera eficiente y eficaz la reducción de la contaminación o más bien realizar un seguimiento y control ambiental de la descontaminación desde el ámbito económico.

2. Metodología

Con base en las generalidades anteriores, este artículo considera la cuantificación de los costos ambientales de las obligaciones de remediación, y cambios en la calidad ambiental, para ello se presentan aportes relacionados con los Costos de Inversión para Planta Potabilizadoras, Planta de Tratamiento de Agua Residual Municipal (PTARM), Gestión de Residuos Sólidos, y Control de la Contaminación del Aire.

3. Resultados

3.1. Costos ambientales

Los costos ambientales derivados de la valoración ambiental se pueden establecer de la siguiente forma:

Costos Ambientales = Costos de Gestión Ambiental + Costos por Impacto Ambiental; los Costos de Gestión Ambiental = gestión obligatoria + gestión voluntaria; los costos por impacto ambiental = valoración económica de impactos ambientales (Gómez, 2009; Hincapie & Becerra, 2014).

Los costos de inversión en el sistema de saneamiento ambiental, según lo establecido por el Banco Mundial y el Ministerio de Desarrollo Económico (Colombia), mencionan que para la captación y desarenación se encuentran entre 4.3 a 15.6 USD\$/habitante; para redes de distribución de agua potable (acueducto) entre 42.8 y 62.7 USD\$/habitante; para tanques de almacenamiento de agua potable entre 17.5 y 32.9 USD\$/habitante; para redes de recolección de aguas residuales domésticas (alcantarillado) entre 108.3 y 196.7 USD\$/habitante; para plantas potabilizadoras entre 10.4 y 25.8 USD\$/habitante; para plantas de tratamiento de agua residuales domésticas entre 35.6 y 48.1 USD\$/habitante.

Según el CEPIS para el año 1999, las tarifas de acueducto y alcantarillado pueden ser: para la Argentina de USD\$0.76/m³ para acueducto y USD\$0.49/m³ para alcantarillado; para Chile de USD\$0.74/m³ para acueducto y USD\$0.36/m³ para alcantarillado; para la Uruguay de USD\$1.81/m³ para acueducto y USD\$0.82/m³ para alcantarillado; para Perú de USD\$0.57/m³ para acueducto y USD\$0.23/m³ para alcantarillado; para Colombia de USD\$0.57/m³ para acueducto y USD\$0.41/m³ para alcantarillado (MDE, 2003).

3.2. costos de inversión para planta potabilizadoras

Las ecuaciones econométricas para la estimación de costos de inversión están generalmente establecidas mediante regresión en función de los costos y caudal de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP, a nivel de estudios de factibilidad) mediante la siguiente ecuación exponencial (Pérez, 1992; Valenzuela, 2006; Revollo & Londoño, 2010; Simate, 2015; León *et al.*, 2016):

$$CI = aQ^b,$$

donde, CI es el costo de inversión o de construcción, Q es el caudal de diseño de la PTAP, a y b son coeficientes calculados. Sin embargo, la constante a representa el costo de capacidad unitaria y la constante b se considera

como la constante de elasticidad costo escala (siempre positiva). Por lo tanto, si $b = 1$ significa que los costos de inversión son directamente proporcionales a la capacidad o caudal de la PTAP (los costos crecen de forma lineal), pero si $b < 1$, se entiende que los costos progresan menos que proporcionalmente a la capacidad o tamaño de la PTAP; es decir, se presenta una economía de escala, la cual describe el comportamiento de los costos según la variable del caudal o tamaño (Revollo & Londoño, 2010). Por otra parte, si el parámetro b es menor en la función de costos de las PTAP, se considera que lentamente crece su costo a medida que se consideran caudales o capacidades mayores de las PTAP; si $b > 1$, se presentaría una falsa economía de escala (Valenzuela, 2006). Sin embargo, la literatura reporta valores de la constante b (Cuadro 1) entre 0.68 y 0.954 (Friedler & Pisanty, 2006; León *et al.*, 2016).

Cuadro 1
Ecuaciones de costos de diversos países.

Tecnología	Año	Fuente	Ecuación costo de inversión
Filtración rápida convencional	1977	CEPIS	$CI = 1656 * Q^{0.66}$ Q = Caudal (m ³ /s); CI = Costo en miles dólares.
Filtración rápida modificada	1977	CEPIS	$CI = 1194 * Q^{0.60}$ Q = Caudal (m ³ /s); CI = Costo en miles dólares.
Filtración ascendente descendente	1977	CEPIS	$CI = 1074 * Q^{0.59}$ Q = Caudal (m ³ /s); CI = Costo en miles dólares.
Filtración ascendente	1977	CEPIS	$CI = 950 * Q^{0.59}$ Q = Caudal (m ³ /s); CI = Costo en miles dólares.
Sistema convencional	2010	ACP (Panamá)	$CI = 1 \text{ USD}\$ = 1 \text{ Gal/día}$

Fuente: León *et al.* (2016)

En Colombia, se han realizado varios análisis de regresión de exponencial, donde se han formulado funciones de costos para diversas tecnologías de PTAP (Cuadro 2).

Cuadro 2
Ecuaciones de costos para Colombia.

Tecnología	Año	Fuente	Ecuación costo de inversión
Sistema convencional	1982	Instituto Nacional de Fomento Municipal (INSFOPAL)	$CI = 2078 * Q^{0.53}$ ($1 \leq Q \leq 150 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles dólares
Sistema convencional	1982	INSFOPAL	$CI = 437 * Q^{0.83}$ ($1 \leq Q \leq 150 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles dólares
Sistema convencional	1998	MDE (2003)	$CI = 70,52 * Q^{0.36}$ ($2 \leq Q \leq 100 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Filtración directa	1998	MDE (2003)	$CI = 62.68 * Q^{0.32}$ ($2 \leq Q \leq 100 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Filtración múltiple etapas	1998	MDE (2003)	$CI = 38.60 * Q^{0.67}$ ($2 \leq Q \leq 100 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Filtración gruesa y directa	1998	MDE (2003)	$CI = 38.60 * Q^{0.67}$ ($2 \leq Q \leq 100 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Sistema convencional	2001	Díaz-Granados <i>et al.</i> (2002)	$CI = 13,010 * Q^{0.8082}$ Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Sistema convencional (Compacta – Fibra de vidrio)	2001	Díaz-Granados <i>et al.</i> (2002)	$CI = 21,886 * Q^{0.5734}$ Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Sistema convencional	2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)	$CI = 91 * Q^{0.588}$ Q = Caudal (L/s); CI = Costo en miles COLPESOS
Sistema convencional (Compacta – Fibra de vidrio)	2006	Rodríguez <i>et al.</i> (2015)	$CI = 81,231,292.53 * Q^{2.837}$ ($0.5 \leq Q \leq 1.5 \text{ L/s}$) Q = Caudal (L/s); CI = Costo en COLPESOS

Tecnología	Año	Fuente	Ecuación costo de inversión
			$CI = 31,467,947.5 * Q^{2.536}$ ($1.5 \leq Q \leq 3.0$ L/s) $Q =$ Caudal (L/s); $CI =$ Costo en COLPESOS $CI = 125,155.7 * Q^{5.182}$ ($4.0 \leq Q \leq 6.0$ L/s) $Q =$ Caudal (L/s); $CI =$ Costo en COLPESOS
Sistema convencional	2014	León <i>et al.</i> (2016); Rodríguez <i>et al.</i> (2015)	$CI = 2 \times 10^8 * Q^{0.5442}$ ($5 \leq Q \leq 80$ L/s) $Q =$ Caudal (L/s); $CI =$ Costo en COLPESOS
Sistema convencional (Compacta – Fibra de vidrio)	2014	León <i>et al.</i> (2016); Rodríguez <i>et al.</i> (2015)	$CI = 1 \times 10^8 * Q^{0.8056}$ ($0.1 \leq Q \leq 5$ L/s) $Q =$ Caudal (L/s); $CI =$ Costo en COLPESOS
Sistema convencional (Semicompacta – Fibra de Vidrio)	2015	León <i>et al.</i> (2016)	$CI = 1 \times 10^7 * Q + 2 \times 10^7$ ($0.3 \leq Q \leq 10$ L/s) $Q =$ Caudal (L/s); $CI =$ Costo en COLPESOS

Fuente: León *et al.* (2016)

La ecuación de costo de capacidad (Blank & Tarquin, 1992; Peters *et al.*, 2003), asumiendo que el valor $x = 0.44$ (sistemas de saneamiento) se tiene:

$$CI_{2014Q20} = CI_{2014Q5} * \left(\frac{Q_{i+1}}{Q_i}\right)^x,$$

donde, Q_{i+1} es la capacidad instalada requerida (L/s), Q_i es la capacidad instalada actual (L/s), y x es un coeficiente de mayoración.

3.3. Costos de inversión para Planta de Tratamiento de Agua Residual Municipal (PTARM)

El costo directo de construcción o de inversión aproximados a nivel de prefactibilidad para la asignación eficiente de recursos (Onkal & Demir, 2006) y la medición de los impactos de los usuarios finales de un proyecto de PTARM, indican el orden de prioridad de la inversión, y comparan entre varios proyectos de PTARM, sin incluir aspectos como la localización, área, impactos ambientales y los precios locales en el momento de la construcción, entre algunos aspectos. Ciertas regresiones de exponenciales se han diferenciado según el nivel o proceso de tratamiento de las aguas residuales, como se muestra en el Cuadro 3:

Cuadro 3
Ecuaciones de costos de diversos países.

Tecnología	Función de costos (CI)	No. de datos	Límite de confiabilidad (L/s)	Coefficiente de correlación	Fuente
Tratamiento secundario	$CI = 8988 * Q^{0.71}$	37	16.20 – 1388.9	0.908	Friedler & Pisanty (2006)
Secundario avanzado y nitrificación	$CI = 2790 * Q^{0.84}$	11	34.7 – 173.6	0.938	Friedler & Pisanty (2006)
Lodos activados	$CI = 0.0031 * Q^{0.881}$	6	115.7 – 289.3	0.979	Singhirunusorn & Stenstrom (2018)
Zanjón de oxidación	$CI = 0.0017 * Q^{0.910}$	8	11.6 – 902.8	0.604	Singhirunusorn & Stenstrom (2018)
Lagunas aireadas	$CI = 0.0143 * Q^{0.681}$	11	11.6 – 902.8	0.822	Singhirunusorn & Stenstrom (2018)
Lagunas de oxidación	$CI = 0.0004 * Q^{1.060}$	23	11.6 – 902.8	0.790	Singhirunusorn & Stenstrom (2018)
Tratamiento secundario convencional	$CI = 0.116 * Q^{0.854}$	9	NA	0.935	Tsagarakis <i>et al.</i> (2003)
Aireación extendida mecánica	$CI = 0.206 * Q^{0.775}$	35	NA	0.829	Tsagarakis <i>et al.</i> (2003)

Tecnología	Función de costos (CI)	No. de datos	Límite de confiabilidad (L/s)	Coefficiente de correlación	Fuente
Aireación extendida aire disuelto	$CI = 0.153 * Q^{0.727}$	32	NA	0.808	Tsagarakis <i>et al.</i> (2003)
Tratamiento primario	$CI = 15.75 * Q^{0.684}$	NA	1 – 4,000	1.000	Aristizábal (2011)
Tratamiento secundario	$CI = 23.46 * Q^{0.763}$	NA	1 – 5,000	1.000	Aristizábal (2011)

CI en millones de dólares y Q en m³/s. Fuente: León *et al.* (2016)

Por su parte, en Colombia se han realizado varios análisis de regresión de exponencial (Buitrago & Giraldo, 1994; Rodríguez, 2009; Aristizábal, 2011), donde se han formulado funciones de costos para diversos sistemas de tratamiento (Cuadro 4).

Cuadro 4
Ecuaciones de costos de diversos países.

Tecnología	Función de costos	No. de datos	Límite de confiabilidad (L/s)	Coefficiente de correlación	Fuente
Lagunas de estabilización	$CI = 41915593 * Q^{0.4019}$	7	1 – 250	NA	Buitrago & Giraldo (1994)
UASB	$CI = 13974805 * Q^{0.8149}$	5	1 – 450	NA	Buitrago & Giraldo (1994)
RAP	$CI = 43108293 * Q^{0.4243}$	2	1 – 60	NA	Buitrago & Giraldo (1994)
Aireación extendida	$CI = 33826482 * Q^{0.8378}$	3	1 – 40	NA	Buitrago & Giraldo (1994)
Tratamiento secundario	$CI = 2841 * Q^2 + 46830 * Q - 18.34$	NA	1000 – 14000	0,984	Aristizábal (2011)
Reactor Anaerobio	$CI = 248.263.192 * Q^{0.88} * DBO^{0.53} * N^{0.11} * SST^{0.30} * P^{0.03}$	30	1-250	0.985	Rodríguez <i>et al.</i> (2015)
Lagunas de Oxidación	$CI = 2,501,108,824 * Q^{0.59} * DBO^{0.28} * N^{0.65} * SST^{0.06} * P^{0.93}$	30	1-250	0.985	Rodríguez <i>et al.</i> (2015)
Reactor de Lodos Activados	$CI = 1,672,784 * Q^{0.33} * DBO^{2.18} * N^{0.18} * SST^{0.96} * P^{0.32}$	30	1-250	0.985	Rodríguez <i>et al.</i> (2015)

CI en millones de dólares y Q en m³/s. Fuente: León *et al.* (2016)

3.4. Costos de inversión para la gestión de residuos sólidos

Los costos de inversión en el sistema de aseo (residuos sólidos) según lo establecido por el Banco Mundial y el Ministerio de Desarrollo Económico (Colombia), son: para rellenos sanitarios convencionales de 3.0 USD\$/habitantes y para la recolección de residuos sólidos urbanos de 5.5 USD\$/habitante. Collazos & Duque (1988) establece que el costo de inversión en relleno sanitario para el año 2002 es de USD\$0.63 por m³ depositado; en el año 2000, el costo de inversión estaba entre 35 a 100 USD\$/tonelada dispuesta. La función de costos de inversión es de $CI = 4318.08 * T^{0.514}$ y los costos de operación y mantenimiento $CI = 4318.08 * T^{0.514}$ (Collazos & Duque, 1988).

De otro lado, los costos para la inversión instalada para rellenos sanitarios en Latinoamérica y el Caribe oscilan entre 5,000 a USD\$ 15,000/tonelada. Los costos de inversión para compostaje, entre 20,000 a USD\$ 40.000/tonelada. Los costos de inversión para incineración entre 125,000 a USD\$ 160,000/tonelada (Jaramillo, 2003).

Adicionalmente, los costos de inversión para planta de reciclaje oscilan entre 45 a 150 USD\$/tonelada recuperada. Los costos de inversión para una planta de lixiviados oscilan entre 10 a 40 USD\$/m³ tratado. Un equipo de digestión anaerobia para residuos sólidos tiene un costo de inversión entre 15.5 y 17 USD\$ millones para 192 y 200 toneladas/día, y para la operación de entre 11.14 y 19.52 USD\$/tonelada. Para los equipos de incineración, los costos de inversión entre 300 a 400 USD\$ millones para una capacidad de 1,200 toneladas/día (es decir 500 a 1,000 USD\$/tonelada); los costos de operación entre 100 a 150 USD\$/tonelada (Solórzano & Villalba, 2018). Los costos de inversión según Terraza & Willumsen (2010) para plantas de aprovechamiento de biogás de alto BTU oscilan entre 1,800 a 4,000 USD\$ por m³/día, y la evaporación de lixiviado oscila entre 7,000 a 10,000 USD\$ por m³/día (Cervi *et al.*, 2011)

Los costos de operación del sistema de aseo, en Latinoamérica: la recolección puede estar entre 30 a 80 USD\$/ton, transferencia entre 10 a 20USD\$/ton, y disposición final 10 a 20 USD\$/ton; los costos de operación de disposición final en Estados Unidos (USA) 30 USD\$/ton, incineración de 60 USD\$/ton; en Europa el costo promedio de operación en la disposición final es de 40 a 60 USD\$/ton; en Colombia, en el Relleno Sanitario Doña Juana (Bogotá) el costo de operación es de 6.6 USD\$/ton y el costo total de servicio de aseo (disposición final, barrido/limpieza, recolección y transporte) es 12.41 USD\$/ton (Cervi *et al.*, 2011; Hincapie & Becerra, 2014; Solórzano & Villalba, 2018).

3.5. Costos de inversión para el control de la contaminación del aire

Los costos de inversión (capital total) para la reducción de la contaminación del aire según lo menciona Bravo (2000) y EPA (2002) handbrook air pollution control cost manual, para precipitadores electrostáticos $C_I = 1502739 * Q^{0.564160}$, y los costos de operación son:

$$C_O = (66.11 * Q + 805817) * HRSP,$$

donde, Q es el caudal de la fuente emisora, y $HRSP$ son las horas promedio de operación al día.

Para filtros de mangas es $C_I = 827728.102 * Q^{0.403027}$;

Para los costos de operación es $C_O = (1643.998 * Q + 9381097) * HRSP$;

Para lavador venturi el costo de inversión es $C_I = 1391 * Q^{0.98}$;

y el costo de operación $C_O = (1533.4 * Q + 288916) * HRSP$ (Freeman, 1998; Feal, 2002; Mejía & Oviedo, 2006; Manzano-Agugliaro & Carrillo-Valle, 2016).

Para ciclones, de flujo de 0,5 a 12 m³/s; temperatura máxima del gas de entrada 540°C; carga de MP de 2.3 a 230 g/m³ y eficiencia del 90%. C_I (1995) 4600 a USD\$7400 por m³/s. Para flujo de 12 a 50 m³/s. C_I (1995) de 4100 a USD\$5,000 por m³/s. Adicionalmente, para filtros de mangas de flujo de 1 a 470 m³/s; temperatura hasta 260°C; Carga de 9 a 120 g/m³. C_I (1995) 13,000 a USD\$55,000 por m³/s. Los costos de operación y mantenimiento, para Ciclones convencionales (2002) entre 4600 a USD\$7400 por m³/s; Ciclones múltiples (1995) entre USD\$1,600 a USD\$2,600 por m³/s; para Filtros de Mangas (2002) entre 11,000 a USD\$50,000 por m³/s (Wark, 1996; EPA, 2002; Evans, 2004).

4. Conclusiones

Los costos de inversión y/ de capital evidencian una aproximación a nivel de prefactibilidad en proyectos de descontaminación, mediante planes de manejo ambiental. Se muestran diversas tecnologías en el tratamiento de aguas residuales, potabilización, control de la contaminación del aire y residuos sólidos, que se pueden ajustar en diversos contextos y especialmente condiciones de proyectos que ameritan una evaluación económica contigua, no solo en aspectos de la inversión sino también de la operación y mantenimiento de los sistemas propuestos.

Referencias bibliográficas

- Aristizábal, O.L. (2011). Referencias para costos de inversión en plantas de tratamiento de aguas residuales. En: Pinilla, J.I. Las ciudades y el agua: Ingenieros de EPM investigan sobre los sistemas hídricos urbanos. Medellín: Universidad de Medellín.
- Blank, L. & Tarquin, A. (1992). *Ingeniería económica*. Texas, USA: McGraw Hill.
- Buitrago, C.A. & Giraldo, E. (1994). *Evaluación técnica y económica de sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Bravo, R. (2000). *Proposición y Evaluación de Instrumentos de incentivo Económico para Mejorar la Calidad del Aire en Santiago: Aplicación al Caso de Fuentes Fijas*. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Cervi, R.; Esperancini, M. & Bueno, O. (2011). Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica. *Información Tecnológica*, 22(4): 3-14.
- Collazos, H. & Duque, R. (1988). *Residuos Sólidos*. Bogotá: FUNPIRS.
- Díaz-Granados, M.; Barrera, S.; Ramos, J.; Camacho, L.; Rosales, R.; Escalante, N. & Torres, M. (2002). *Metodología multicriterio para la priorización de inversión de aguas residuales municipales en Colombia*. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
- Díaz-Vázquez, M.R. & Cancelo, M.T. (2010). Análisis de los factores determinantes de la evolución de las emisiones de CO₂ y de azufre en países OCDE mediante una descomposición econométrica. *Revista De Economía Mundial*, 26: 85-106.
- EPA. (2002). *Manual de costos de control de contaminación del aire de la EPA*. USA: U.S. Environmental Protection Agency, USEPA.
- Evans, R. (2004). *Peer Review of BenMAP Software*. USA: Environmental Protection Agency.
- Feal, A. (2002). Filtros de mangas (I). Características típicas y mecanismos básicos. *Ingeniería química*, 34(39): 458-469.
- Freeman, H. (1998). *Manual de prevención de la contaminación industrial*. Mexico: McGraw-Hill.
- Friedler, E. & Pisanty, E. (2006). Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making. *Water Research*, 40(20): 3751-3758.
- Gómez, M. (2009). Tensiones, posibilidades y riesgos de la contabilidad medioambiental empresarial. *Contaduría Universidad de Antioquia*, 54: 55-78.

- Hincapie, D. & Becerra, W.L. (2014). Gestión de costos ambientales hacia el desarrollo sostenible. Propuesta para su valoración y revelación contable. *Trabajos de grado Contaduría Pública*, 8(1).
- Jaramillo, J. (2003). *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Efectos de la inadecuada gestión de Residuos sólidos*. Universidad de Antioquía, Medellín.
- León, K.; Rey, G.L. & Rodríguez, J.P. (2016). Ecuaciones econométricas para los costos de inversión en plantas de tratamiento de agua potable en Colombia. *I+D Revista de investigaciones*, 7(1): 109 - 115.
- Manzano-Agugliaro, F. & Carrillo-Valle, J. (2016). Conversion of an existing electrostatic precipitator casing to Pulse Jet Fabric filter in fossil power plants. *Revista Dyna*, 83(195): 189-197.
- Martínez, J. (1992). *Evaluación costo beneficio del control de la contaminación del aire en el área metropolitana de Monterrey*. Nuevo León: Universidad de Autónoma de Nuevo León.
- Mejía, M.E. & Oviedo, I.D. (2006). Estimación de las funciones de costo marginal de abatimiento de material particulado para fuentes fijas en el Valle de Aburrá. *Ensayos de Economía*, 16(29): 55-81.
- Ministerio de Desarrollo Económico (MDE). (2003). *Sector de agua potable y saneamiento básico: retos y resultados*. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico. Colombia.
- Onkal G. & Demir, I. (2006). Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities. *Journal of Environmental Management*, 79(4): 357-363.
- Pérez Carrión, J. (1992). *Mejoramiento de calidad del agua para consumo humano*. Lima: OPS/CEPIS.
- Peters, M.; Timmerhaus, K. & West, R. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers*. Firth edition. USA: Mc Graw-Hill.
- Revollo D. & Londoño, G. (2010). Análisis de las economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia. *Desarrollo y sociedad*, 66: 145- 182.
- Rodríguez, J.P. (2009). Selección técnico económico del sistema de depuración de aguas residuales. Aplicando la evaluación de la descontaminación hídrica. *Tecnología del Agua*, 29(306): 22-31.
- Rodríguez, J.P.; García-Ubaqué, C. & Penagos-Londoño, J.C. (2015). Analysis of the investment costs in municipal wastewater treatment plants in Cundinamarca. *Revista Dyna*, 82(192): 230-238.
- Ruesga, S.M. & Durán, G. (1995). *Empresa y medio ambiente*. Madrid: Pirámide.
- Simate, G. (2015). The treatment of brewery wastewater for reuse by integration of coagulation/flocculation and sedimentation with carbon nanotubes 'sandwiched' in a granular filter bed. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21: 1277-1285.
- Singhirunnusorn, W. & Stenstrom, M. (2010). A critical analysis of economic factors for diverse wastewater treatment processes: Case studies in Thailand. *Sustainable Environment Research*, 20: 263-268.
- Solórzano, G. & Villalba, L. (2018). *Capítulo V. Tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos*. En: Tello, P.; Campani, D. & Sarafian, D. *Gestión Integral de residuo sólidos urbanos*. México: AIDIS.
- Terraza, H. & Willumsen, H. (2010). *Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization*. Inter - American Development Bank. 68 p.

Tsagarakis, K.P.; Mara, D.D. & Angelakis, A.N. (2003). Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. *Water, air and soil pollution*, 142: 187-210.

Valenzuela L.C. (2006). Evaluación económica y metodología de minimización de costos para proyectos de sistemas de agua potable. *Desarrollo y sociedad*, 19: 147- 171.

Viglizzo, E.; Carreño, L.; Volante, J. & Mosciaro, M.J. (2011). *Valuación de los bienes y servicios ecosistémicos: Verdad objetiva o cuento de la buena pipa?* En: Laterra, P.; Jobbagy, E. & Paruelo, J.M. Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial, Chapter: 1, Publisher: Ediciones INTA. pp. 19-25.

Wark, K. (1996). Contaminación del aire. Origen y control. México: Limusa.