



TRABAJO DE GRADO
Opción Seminario-Diplomado.

Aplicación de los principios de economía circular en proyectos de infraestructura de redes de acueducto y alcantarillado: Enfoque en la línea de aguas de EPM

Corporación Universitaria Remington.
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Ferney Eusse Cordoba
Tutor: Lina María Villa Henao.
Opción de Trabajo de grado Seminario-Diplomado.
2025

Tabla de Contenidos

Resumen.....	3
Marco conceptual y contextual	5
1. Economía Circular	5
1.1 Fundamentos	5
1.2 Infraestructura hídrica urbana	6
1.3 Economía circular en el ciclo del agua	7
1.4 EPM y la línea de aguas: Un enfoque sistémico	8
2. Desarrollo e implementación del aprendizaje	11
Conclusiones	14
Referencias.....	16

Resumen

La economía circular (EC) sugiere un modelo de administración de recursos regenerativo, eficaz y sostenible, como alternativa de contingencia al convencional modelo lineal de producción, uso y desecho. Centrándose más en el asunto de la reutilización a nivel mundial, buscando una alternativa en el contexto urbano, su implementación en las infraestructuras de acueducto y alcantarillado como componentes que modifican el medio ambiente con las prácticas actuales, es fundamental entender que es necesario asegurar la sostenibilidad hídrica y energética, además de atenuar los impactos del cambio climático y el deterioro ambiental. El objetivo de este reporte técnico es examinar la aplicación de los principios de economía circular en los proyectos llevados a cabo por las Empresas Públicas de Medellín (EPM), poniendo especial atención en la línea de agua.

EPM ha implementado una serie de acciones dirigidas a completar el ciclo del agua y maximizar la utilización de los recursos existentes en los sistemas de saneamiento. Dentro de estas actividades se encuentran la valorización de residuos como los lodos y biosólidos, el reaprovechamiento del agua tratada, la generación de energía a partir de biogás, y la implementación de tecnologías digitales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el modelado de información para la construcción. Estas herramientas no solo facilitan una planificación, diseño y funcionamiento óptimo de las redes, sino que también potencian la habilidad de resistencia y adaptabilidad ante sucesos extremos y variaciones en la demanda.

El informe analiza ejemplos significativos como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando, en la que se utilizan los desechos orgánicos provenientes de la purificación de aguas residuales para producir energía. Además, es notable la utilización de agua residual tratada en actividades de carácter industrial y urbano, lo que reduce la presión sobre las fuentes de agua natural. Adicionalmente, se muestran ejemplos internacionales que facilitan la comparación del progreso de EPM con otras experiencias exitosas en naciones como Países Bajos, Dinamarca y Singapur.

En suma, estas tácticas evidencian la manera en que la economía circular puede ser incorporada de manera eficiente en las infraestructuras de agua, produciendo ventajas ambientales, económicas y sociales. Este reporte también trata los desafíos a los que se enfrenta EPM en su transición hacia un modelo más circular, como la exigencia de robustecer la normativa, el financiamiento sostenible y la implicación de los ciudadanos.

Palabras clave

Economía circular, acueducto, alcantarillado, EPM, SIG, BIM, infraestructura sostenible, reúso de agua, biogás.

Marco conceptual y contextual

1. Economía Circular

1.1 Fundamentos

La economía circular (EC) es un principio económico y medioambiental que aspira a reconfigurar el modo en que se emplean y administran los recursos durante su ciclo de vida. En contraposición al modelo lineal convencional que se basa en "tomar, hacer y desechar", la EC sugiere mantener los productos, componentes y materiales en su máximo rendimiento durante el periodo más largo posible. Este modelo fomenta la renovación de los sistemas naturales y la reducción del derroche mediante tácticas como el reaprovechamiento, reparación y reciclaje.

La EC se fundamenta en tres principios fundamentales sugeridos por la Fundación Ellen MacArthur: (i) eliminar desechos y contaminación desde el diseño, (ii) conservar productos y materiales en uso, y (iii) regenerar los sistemas naturales. Su implementación abarca varios ámbitos, tales como la industria de manufactura, la agricultura, la edificación y, más recientemente, la infraestructura urbana, especialmente la vinculada con la administración del agua.

Desde una perspectiva económica, la EC tiene el potencial de crear nuevas oportunidades comerciales, reducir costos y generar puestos de trabajo ecológicos. En términos ambientales, ayuda a disminuir la presión en los ecosistemas, atenuar el cambio climático y preservar los recursos naturales. En términos sociales, fomenta la innovación, la educación en medio ambiente y la implicación de los ciudadanos. En suma, estas ventajas transforman a la EC en un modelo de desarrollo sostenible para el siglo XXI.

1.2 Infraestructura hídrica urbana

La infraestructura de agua en las zonas urbanas comprende los sistemas de recolección, tratamiento, distribución y recolección de agua potable y aguas residuales en áreas urbanas. Estos sistemas, a menudo referidos como redes de acueducto y drenaje, juegan un rol crucial en la salud pública, el crecimiento económico y la preservación ambiental de las urbes.

En el enfoque convencional de administración del agua, los recursos acuáticos se extraen de fuentes naturales, se procesan para el consumo humano, se reparten por medio de redes, y finalmente se recolectan como aguas residuales para su uso final, usualmente sin retener su valor residual. Este método lineal produce efectos ambientales significativos, tales como la explotación excesiva de recursos acuáticos, contaminación de cuerpos hídricos, liberación de gases de efecto invernadero, y disminución de energía y nutrientes.

Frente a estos desafíos, la implementación de principios de economía circular en la infraestructura de agua urbana tiene como objetivo cambiar estos sistemas hacia una lógica más limitada y eficaz. Esto conlleva la implementación de tecnologías y estrategias que posibiliten el reaprovechamiento de aguas residuales tratadas, la recuperación de recursos presentes en los lodos, y la mejora energética de los procesos. Además, resulta crucial reconfigurar la planificación, edificación y funcionamiento de estas infraestructuras para garantizar su resistencia, adaptabilidad y sostenibilidad.

Las urbes contemporáneas necesitan interpretar sus redes hídricas como ecosistemas circulares que cumplen con diversas funciones, tales como la regulación de inundaciones, la restauración del medio ambiente, la prestación de servicios ecosistémicos y la generación de recursos. Esta nueva perspectiva demanda una gobernanza vanguardista, financiación sustentable y la incorporación de tecnologías de vanguardia para alcanzar una administración inteligente del ciclo urbano del agua.

1.3 Economía circular en el ciclo del agua

La implementación de la economía circular en el ciclo del agua conlleva la transición de los sistemas tradicionales de administración del agua hacia esquemas que valoren la eficiencia, la resistencia y la regeneración. Esta evolución se fundamenta en una perspectiva sistémica del agua como un recurso limitado y valioso, cuyo ciclo no debe concluir después de su primera utilización, sino que debe extenderse y mejorarse a través de prácticas tecnológicas, operativas y sociales.

En este escenario, se reconocen varias tácticas circulares fundamentales: (i) el uso de aguas residuales tratadas para propósitos industriales, agrícolas o de ocio; (ii) la generación de energía en forma de biogás o calor residual durante el tratamiento de aguas residuales; (iii) la obtención de nutrientes como nitrógeno y fósforo, usados como fertilizantes; y (iv) la digitalización y el control inteligente

Estas tácticas posibilitan disminuir la necesidad de recursos de agua libres, reducir la producción de desechos y atenuar los efectos perjudiciales en los ecosistemas. Además, permiten una integración más profunda entre sectores, fomentando sinergias entre el agua, la energía y la alimentación, generando así sistemas más resistentes y sustentables.

Además, la EC en el ciclo del agua conlleva un profundo cambio institucional y cultural, donde los administradores de servicios públicos, los reguladores, la industria y la población adoptan nuevas maneras de pensar, planificar y emplear el recurso acuático. La elaboración de políticas públicas, la inversión en innovación y la capacitación de capacidades son elementos fundamentales para materializar esta transición.

1.4 EPM y la línea de aguas: Un enfoque sistémico

En Colombia, Empresas Públicas de Medellín (EPM) se destaca como una organización líder en la provisión de servicios públicos domiciliarios. Mediante su red de agua, EPM administra el suministro de agua potable y la recolección y tratamiento de aguas residuales para más de 4 millones de individuos en Medellín y municipios circundantes. En años recientes, EPM ha integrado una perspectiva de sostenibilidad y economía circular en sus políticas, proyectos y actividades, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los principios de gobernanza ambiental.

El sistema de abastecimiento de aguas de EPM ha empezado a incorporar gradualmente prácticas que representan los principios de EC. Entre las más notables se encuentran la recuperación de energía en instalaciones de tratamiento, como el uso de biogás en la PTAR San Fernando, como se indica en la Figura 1; el uso de agua residual tratada para procesos industriales y riego de áreas verdes; la valorización de biosólidos y lodos como recursos agrícolas; y la reducción de pérdidas físicas a través de la sectorización y el seguimiento inteligente de redes.



Figura 1. Biodigestores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando (Tomado de página web de EPM)

Además, EPM ha decidido digitalizar su infraestructura de agua mediante la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ordenado por capas como se indica en la Figura 2, y Modelado de Información de Edificaciones (BIM). Estas herramientas han facilitado la optimización de la planificación, diseño, funcionamiento y conservación de redes, maximizando recursos y minimizando efectos. Estas acciones establecen a EPM como una compañía líder en la transición hacia una infraestructura circular, resistente y enfocada en la sostenibilidad en las ciudades.

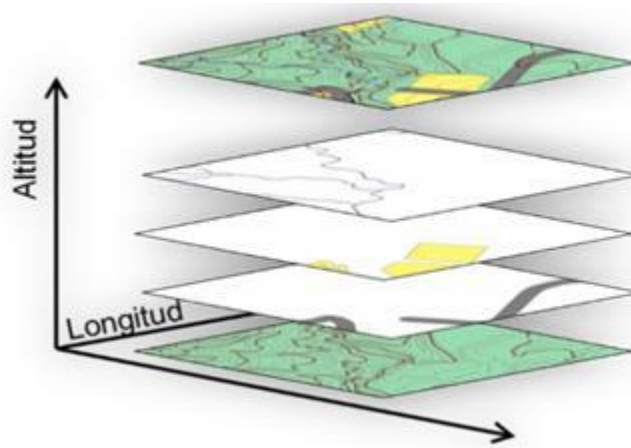


Figura 2. Esquema de capas de un SIG (Tomado de Instructivo de referenciación EPM)

Esta perspectiva sistémica no solo demanda avances tecnológicos, sino también modificaciones en la cultura de la organización, sistemas de financiación apropiados y una conversación continua con los grupos de interés. La vivencia de EPM puede funcionar como referencia para otras compañías y ciudades de América Latina que aspiran a cambiar sus sistemas de administración del agua hacia modelos circulares e integrados

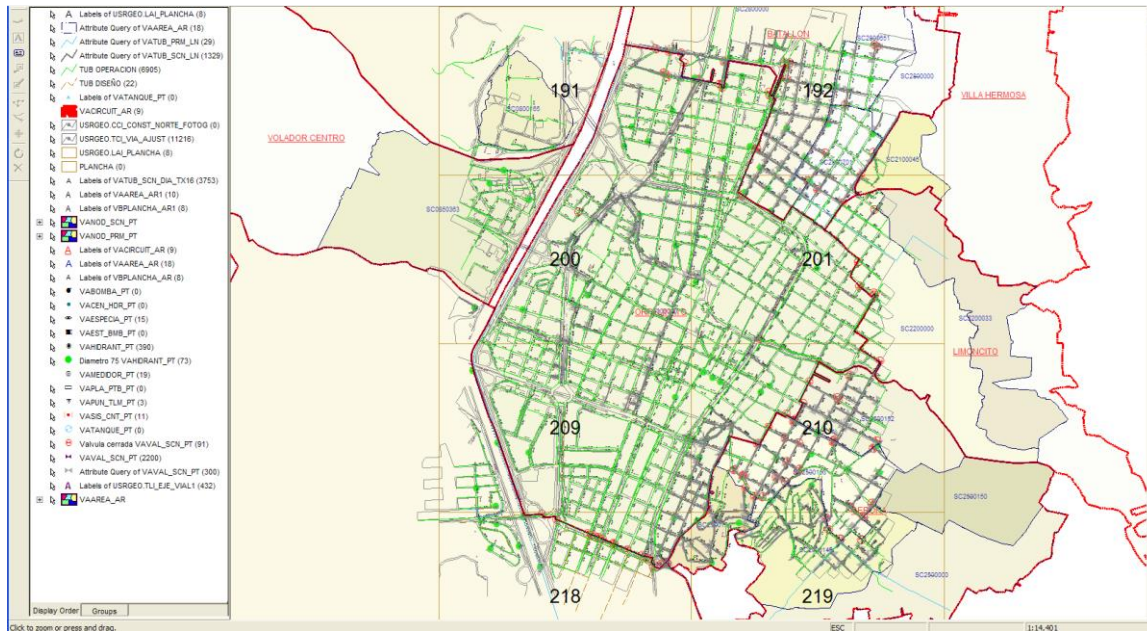


Figura 3. Esquema de modelo digital línea de aguas (Tomado de Instructivo de referenciación EPM)

2. Desarrollo e implementación del aprendizaje

La implementación de los fundamentos de la economía circular (EC) en las iniciativas de infraestructura de redes de acueducto y alcantarillado ha ganado particular importancia en el marco de la línea de aguas de EPM. Basándonos en los conocimientos obtenidos en el seminario, se determinó la necesidad de llevar a cabo acciones específicas que demuestren cómo este método puede incrementar la eficiencia, sostenibilidad y resistencia de los sistemas de agua en las ciudades.



Figura 4 Esquema clasificación grupos modelo digital (Tomado de Instructivo de referenciación EPM)

EPM ha puesto en marcha varias tácticas circulares en el funcionamiento de sus instalaciones y redes. Un caso ilustrativo es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando, en la que se utiliza el biogás producido durante la digestión de lodos para generar electricidad, disminuyendo así el uso de energía de la planta y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta propuesta no solo demuestra la recuperación de energía, sino también la transformación de desechos en recursos valiosos, un principio fundamental de la EC.

Otra medida sobresaliente es la utilización de aguas residuales tratadas, utilizadas en procesos industriales, riego de áreas verdes y limpieza de carreteras. Esta práctica reduce la presión sobre las fuentes de agua naturales y facilita el cierre del ciclo del agua en ambientes urbanos. Igualmente, los biosólidos producidos en la gestión de aguas residuales son acondicionados y empleados como enriquecimientos orgánicos en terrenos agrícolas, fomentando la valorización de subproductos.

En términos tecnológicos, EPM ha integrado la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como se indica en la Figura 2 y Modelado de Información de Construcción (BIM) para mejorar el diseño, edificación, funcionamiento y conservación de las redes de acueducto y alcantarillado. La implementación de SIG facilita la georreferenciación de activos, como se muestra en la figura 4, la detección de áreas críticas, el estudio de la cobertura y la organización de acciones preventivas. En cuanto a BIM, simplifica la modelación digital de infraestructuras, optimizando la coordinación interdisciplinaria durante la realización de proyectos, y permitiendo simulaciones que previenen conflictos en la construcción, disminuyen gastos y potencian la eficiencia, como se muestra en la figura 5.

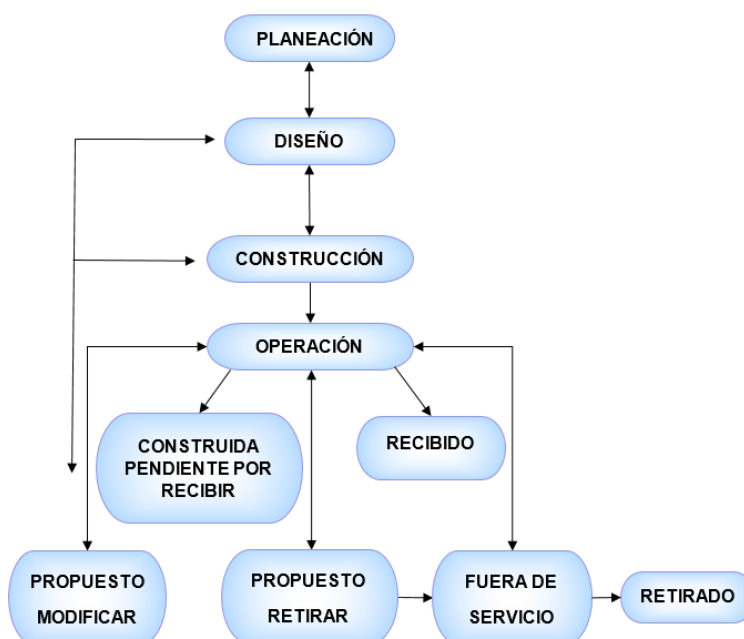


Figura 5. Esquema de los estados y transiciones de los elementos en el modelo digital de aguas (Tomado de Instructivo de referenciación EPM)

En la elaboración del informe, se contrastaron estas acciones con otras iniciativas globales de economía circular en el ámbito hídrico, como los proyectos de reutilización de agua en Singapur (NEWater), el tratamiento sofisticado de aguas residuales con recuperación de recursos en Ámsterdam (Waternet), y la administración integrada del ciclo del agua en Dinamarca (Aarhus Vand). Estas analogías demuestran que las tácticas implementadas por EPM están en sintonía con las tendencias mundiales y muestran un progreso gradual hacia modelos de infraestructura más sustentables.

Respecto al proceso de aprendizaje, se determinó que la aplicación de EC en infraestructura de agua demanda una mezcla de habilidades técnicas, administración del saber y un robusto marco institucional. Las habilidades adquiridas en el seminario facilitaron la comprensión del rol de la innovación, la relevancia de la planificación integrada y la aplicación estratégica de instrumentos digitales para modificar los sistemas de agua desde una lógica lineal a un modelo circular.

Finalmente, se admite la importancia de continuar con la articulación entre las políticas públicas, los marcos normativos y las decisiones de negocios para fortalecer una infraestructura hídrica genuinamente circular. La experiencia de EPM proporciona una base firme en la que seguir edificando soluciones replicables y escalables en el ámbito de la EPM.

Conclusiones

1. La economía circular ofrece una vía sostenible y eficaz para la transformación del modelo tradicional de gestión de infraestructuras hídricas. Las estrategias adoptadas por EPM, como la valorización de residuos, el reúso del agua y la generación de energía a partir de subproductos, demuestran que es posible integrar principios circulares en todas las etapas del ciclo del agua, desde la captación hasta el tratamiento final.
2. El uso de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el modelado de información para la construcción (BIM) es fundamental para una gestión inteligente y eficiente. Estas herramientas han permitido mejorar significativamente el diseño, la operación y el mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado, optimizando recursos y reduciendo impactos ambientales.
3. Las experiencias desarrolladas por EPM son comparables con casos internacionales exitosos, lo que evidencia su alineación con estándares globales. Iniciativas como NEWater en Singapur o los sistemas de recuperación de recursos de Waternet en Ámsterdam validan que EPM se encuentra en una senda de innovación acorde a las mejores prácticas mundiales.
4. Existen desafíos estructurales para avanzar hacia una economía circular consolidada en el sector hídrico. Entre estos se encuentran la necesidad de contar con marcos regulatorios más robustos, mecanismos de financiamiento verde, y una

- mayor participación de la ciudadanía y las comunidades en la toma de decisiones y en el uso responsable del recurso hídrico.
5. El aprendizaje obtenido en el seminario permitió consolidar conocimientos y habilidades clave para analizar, diseñar e implementar soluciones basadas en economía circular. Este enfoque requiere una visión integral, capacidades técnicas multidisciplinarias y una fuerte orientación hacia la sostenibilidad y la innovación tecnológica.
 6. EPM constituye un referente para otras entidades públicas y privadas en Colombia y América Latina. Su experiencia en economía circular aplicada a la infraestructura hídrica puede ser replicada y adaptada a distintos contextos urbanos, rurales e industriales, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6 (agua limpia y saneamiento) y el ODS 12 (producción y consumo responsables)

Referencias

- 1 Agudelo, C. A., Londoño, J. M., & Bedoya, D. A. (2020). *Economía circular y sostenibilidad urbana: una revisión desde el contexto latinoamericano*. *Revista de Economía Institucional*, 22(43), 111-136.
- 2 Andrews, D. (2015). *The circular economy, design thinking and education for sustainability*. *Local Economy*, 30(3), 305-315.
- 3 EPM. (2023). *Informe de sostenibilidad 2022*. Empresas Públicas de Medellín. <https://www.epm.com.co/site/home/informacion-corporativa/sostenibilidad>
- 4 European Environment Agency. (2021). *Water and circular economy*. <https://www.eea.europa.eu/publications/water-and-circular-economy>
- 5 Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems." ("(PDF) A review on circular economy: the expected transition to a ...") *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- 6 Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). *Circular economy: the concept and its limitations*. *Ecological Economics*, 143, 37-46.
- 7 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Estrategia Nacional de Economía Circular - Colombia*. <https://www.minambiente.gov.co/economia-circular/>
- 8 Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., & Dewulf, J. (2019). ("An analysis of European Union's circular economy ... - IOPscience") *Circular economy indicators: What do they measure?*. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452-461.
- 9 Singapur Public Utilities Board. (2021). *NEWater: Turning Wastewater into Drinking Water*. <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>
- 10 Waternet. (2020). *Resource recovery: Turning wastewater into value*. <https://www.waternet.nl/english/service-and-contact/about-us/>
- 11 Empresas Públicas de Medellín. (2024). *Instructivo para la referenciación de los sistemas de acueducto y alcantarillado* (Versión 10). <https://www.epm.com.co/content/dam/epm/proveedores-y-contratistas/centro-de->

[documentos/historico-manuales-tecnicos/referenciacion-sistemas-acueducto-alcantarillado-version-10.pdf](#)