

## HACIA LA VIABILIDAD DE LOS PROYECTOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN COLOMBIA

Diego Gómez, PhD,<sup>1</sup>  
Walter Ospina Ortiz<sup>2</sup>  
Enrique Posada Restrepo<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Ingeniero Industrial, PhD, M Sc, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Director ECSIM, [diego.gomez@fundacionecsim.org](mailto:diego.gomez@fundacionecsim.org)

<sup>2</sup>Ingeniero electricista Universidad Nacional – Sede Medellín, Colombia. Director WtERT Colombia [icatersas@gmail.com](mailto:icatersas@gmail.com)

<sup>3</sup>Ingeniero mecánico UPB; BS y Máster en ingeniería mecánica, University of Maine, Orono, Maine, EUA [eposadar@yahoo.com](mailto:eposadar@yahoo.com)

**Resumen:** Se hace una revisión de las dificultades y barreras que se presentan en Colombia en lo que tiene que ver con la utilización de técnicas de valorización de residuos sólidos. Se examinan las distintas viabilidades y riesgos al respecto y se incluyen recomendaciones para mitigar tales barreras y poder pasar a la etapa de ejecución de este tipo de proyectos. Este trabajo ha sido elaborado por los autores luego de sostener una serie de entrevistas con personas relacionadas con el campo y es un perfeccionamiento de trabajos anteriores realizados por tales autores.

**Palabras clave:** Valorización, Residuos Sólido Municipales, Tratamientos, Tratamiento Térmico, Costos y beneficios, Rellenos sanitarios.

### 1 INTRODUCCIÓN

La humanidad está generando en término medio entre 0,9 y 1,2 kilogramos diario por persona en residuos [1, 2]. ¿Como se puede construir una solución de manera que se pase de la contaminación a la regeneración del medio ambiente? Varios elementos parecen críticos. Uno de ellos es la reducción de la tasa de residuos per cápita y otra es la profundización en los modelos de economía circular. La reducción de las tasas per cápita puede parecer como algo correcto, posible y sensible. Pero la realidad que se observa en los países a medida que se desarrollan [3], es que se produce un aumento de estas tasas. Así que no hay indicaciones que por esta ruta se llegue a mitigar el problema, al menos en el corto plazo. Queda como opción idealizada la profundización de los modelos de economía circular. Esta ruta parece lógica y simple, pero en realidad implica importantes y complejos aspectos relacionados con la logística, la tecnología, la sostenibilidad económica, la disponibilidad de espacios y de empresas especializadas en estos procesos para los desechos municipales y el desarrollo de ciclos de utilización y adecuación de los residuos a las necesidades de los procesos de transformación.

Entonces queda como ruta disponible real el encontrar, desde la tecnología, formas de convertir los residuos en insumos para la generación energía o para procesos de producción

industrial con transformaciones térmicas o químicas. Este documento busca atender la forma de hacer viable la generación de energía con residuos. En esencia, los plásticos, textiles, biodegradables y otros son formas concentradas de energía que ha procesado el hombre. El asunto es como extraer la mayor cantidad de energía concentrada en estos residuos.

## **2 PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDO MUNICIPALES**

El manejo de los residuos sólidos es uno de los desafíos ambientales más urgentes a nivel mundial. En las últimas décadas, el crecimiento exponencial de la población, el aumento del consumo y la urbanización han generado una acumulación masiva de residuos que, en muchos casos, no se gestionan adecuadamente, lo que conlleva graves consecuencias para el medio ambiente, la salud pública y la economía.

A medida que la población mundial crece y los países se desarrollan económicamente, la cantidad de residuos sólidos también aumenta. Según las Naciones Unidas, se espera que la generación de residuos urbanos crezca a una tasa anual del 3,4% hasta 2050. En particular, las ciudades, que albergan a más del 55% de la población mundial, son los principales centros de generación de residuos. Los productos de uso diario, como envases de plástico, productos electrónicos, textiles y alimentos, contribuyen significativamente a este aumento.

Uno de los mayores problemas derivados de la acumulación de residuos sólidos es el impacto ambiental. Los desechos no gestionados de manera eficiente, como es el caso de los plásticos de un solo uso, pueden terminar en los océanos si se manejan descuidadamente permitiendo que lleguen a las corrientes de agua, afectando la vida marina y contribuyendo a la contaminación de los ecosistemas acuáticos. En los vertederos, los residuos orgánicos generan emisiones de metano, un potente gas de efecto invernadero, que se considera por muchos que tiene impactos sobre el cambio climático. Además, la quema de residuos en basureros mal gestionados emite contaminantes atmosféricos, afectando la calidad del aire y la salud humana.

La gestión de residuos sólidos enfrenta diversos desafíos, especialmente en los países en desarrollo. La falta de infraestructura adecuada, la escasez de recursos financieros y la falta de educación y concientización pública dificultan la implementación de sistemas de recolección, clasificación y reciclaje eficientes. En muchas regiones, los vertederos ilegales y las prácticas de disposición inadecuadas son comunes, lo que agrava el problema.

La figura 1 [4] muestra la situación de disposición de residuos en varios países avanzados. En varios de ellos, en Europa, se han logrado desarrollar rutas para evitar llevar los residuos a disposición en rellenos sanitarios. En el caso de Estados Unidos, se tiene todavía un uso amplio de este método de disposición, probablemente por tratarse de un país con amplias disponibilidades de terrenos.

<b>Manejo de residuos en cuatro países avanzados de Europa y USA</b>							
Pais (población, millones)	Desechos totales, millones ton/año (kg/días por habitante)	Desechos municipales (MSW) millones ton/año (Kg/día por habitante)	MSW a reciclaje materiales, %	MSW a reciclaje y tratamiento orgánico, %	MSW a tratamiento térmico energía, %	Desechos resultantes del tratamiento térmico de los MSW, %	MSW a rellenos, %
Francia (65)	323 (13.6)	34 (1.43)	23	18	35	1	23
Alemania (84)	400 (13,0)	52(1.69)	49	18	27	5	1
Italia (60)	164 (7.5)	27 (1,23)	27	19	13	7	23
Holanda (17)	141 (22,7)	9 (1,45)	25	28	44	1	2
USA (333)		366 (3,01)	24	7	8	1	60

- Los desechos totales están muy relacionados con la potencia productiva del país y son mucho mayores que los municipales.
- Los desechos municipales también están relacionados con la potencia productiva (afluencia del país)
- Se aprecia una tendencia a tres modos de manejo (reciclaje de materiales, aprovechamiento orgánico y tratamiento térmico, cada uno cercano al 30 %) con el resto (10 %) llevado a rellenos.
- Estados Unidos difiere mucho de los cuatro países europeos. Es muy pobre en aprovechamientos térmico y orgánico

*Figura 1 Manejo de residuos en cuatro países avanzados de Europa y en USA [4]*

En los países desarrollados, aunque la infraestructura de gestión de residuos es más avanzada, aún persisten desafíos como el bajo índice de reciclaje de ciertos materiales, especialmente plásticos, y la saturación de los vertederos debido a la creciente cantidad de desechos generados.

Dos tipos de residuos que han adquirido gran relevancia en las últimas décadas son los residuos electrónicos (o e-waste) y los plásticos de un solo uso. Los residuos electrónicos contienen materiales peligrosos como mercurio, plomo y cadmio, que pueden contaminar el suelo y el agua si no se gestionan adecuadamente.

Por otro lado, el plástico, especialmente el de un solo uso, ha alcanzado crecientes niveles debido a su abundancia, estimulada por los bajos costos, durabilidad y la falta de alternativas sostenibles. Precisamente esto muestra que hay que buscar soluciones que trasciendan las tradicionales prácticas del reciclaje.

No obstante, lo anterior, para abordar la crisis global de los residuos sólidos, se continúa proponiendo las soluciones, que incluyen la reducción en la fuente, el reciclaje, la economía circular y la innovación en materiales. Se considera que son fundamentales la educación y la sensibilización pública para fomentar hábitos de consumo responsable y la adopción de prácticas de reciclaje. Pareciera que iniciativas como la prohibición de plásticos de un solo uso y el fomento de la reutilización están ganando terreno, aunque es evidente que se

necesitan alternativas adicionales si se quiere evitar que vayan los residuos a los rellenos sanitarios en forma masiva. Evidentemente la tecnología juega un papel crucial en la mejora de los procesos de reciclaje y en la creación de soluciones más sostenibles para los productos de consumo.

El problema de los residuos sólidos es complejo y global, pero no es insuperable. La cooperación entre gobiernos, empresas y ciudadanos es esencial para transformar la manera en que producimos, consumimos y gestionamos los desechos. Si bien existen retos significativos, el cambio hacia una economía circular y la adopción de prácticas más sostenibles ofrecen una oportunidad de mitigar los impactos negativos de los residuos y construir un futuro más limpio y saludable para las generaciones venideras.

Para abordar el tema de los residuos sólidos a nivel mundial, existen diversas fuentes de información confiables que proporcionan datos, análisis y soluciones sobre la gestión de residuos, el impacto ambiental, y las tendencias globales. A continuación, se presentan algunas de las principales fuentes de información sobre este tema: UNEP: Global Waste Management Outlook (2024 Update), publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), este informe profundiza en el estado global de la gestión de residuos, pronosticando que el coste de la mala gestión de los residuos podría superar los 600.000 millones de dólares anuales en 2050. Hace hincapié en la necesidad de un cambio hacia enfoques de residuo cero y economías circulares para reducir costos y mejorar la sostenibilidad ambiental. Este informe incluye un análisis actualizado de las tendencias mundiales de generación de residuos y las estrategias de gestión. Explora varios escenarios de residuos y sus impactos, instando a una transformación sistémica hacia la recuperación de recursos y prácticas más sostenibles

Dos publicaciones de investigaciones son el Journal of Waste Management que Publica artículos sobre la gestión de residuos y la innovación tecnológica y Waste Management & Research, una revista académica que aborda los aspectos científicos y técnicos de la gestión de residuos. Estas fuentes ofrecen información detallada y actualizada sobre el tema de los residuos sólidos a nivel mundial, con perspectivas globales, regionales y locales, y cubren aspectos técnicos, científicos, sociales y económicos del problema. A nivel de tecnología es ampliamente recomendable consultar los resultados de las investigaciones y conferencias gestionadas por los miembros de la organización WTERT [5], el Consejo Mundial de Investigación y Tecnología para la Conversión de Residuos en Energía que reúne a ingenieros, científicos y gerentes de universidades e industrias de varios países, entre ellos Colombia, donde la SAI es la entidad que la impulsa.

El reto de las buenas ideas es hacer el tránsito a innovaciones, esto es, nuevos productos y servicios en uso por la sociedad (Manual de Oslo). Ese tránsito se logra desarrollando la idea hasta convertirla en un proyecto viable. Esto supone múltiples retos en tecnología, medioambiente, viabilidad económica y financiera.

Este trabajo se estructuró para revisar cada uno de los aspectos críticos para viabilizar la valorización de residuos sólidos. Específicamente la generación de energía con estos. Se encontrará la discusión detallada de cada uno de los asuntos críticos que permiten que los proyectos se hagan viables y a manera de conclusión se hace una revisión del problema desde la perspectiva de la gestión de riesgos.

Este trabajo tuvo como insumo inicial el documento sobre las barreras para la realización de proyectos de valorización de residuos, desarrollado por WtERT – Colombia para presentar en el V CONGRESO MUNDIAL SOBRE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS, China, 2023, organizado por GLOBAL WtERT. Los autores: Enrique Posada (Presidente de WtERT COLOMBIA) y Walter Ospina (Director de WtERT COLOMBIA) han estudiado las barreras que enfrentan este tipo de proyectos en Colombia y América Latina.

Esta indagación se ha orientado a cómo hacer viables los proyectos y hace un análisis de cada uno de los componentes críticos de la evaluación de los proyectos. La metodología seguida fue, partiendo del documento previo se realizó una entrevista estructurada con expertos que están al frente de la formulación de políticas públicas, o de empresas que tienen la responsabilidad de resolver el problema de la gestión de residuos sólidos, o de investigadores de nivel internacional. Con esto se obtuvo el documento que se presenta el cual como se explicó, sigue el análisis de viabilidad y riesgos recogiendo las sugerencias de los expertos y lo avanzado en los dos años de trabajo desde la última publicación.

### **3 EL ANÁLISIS DE VIABILIDAD**

Un análisis de viabilidad es un estudio integral que evalúa si un proyecto como el aprovechamiento tecnológico de los residuos para generar energía y productos útiles es viable o factible en Colombia y Latinoamérica en términos de varios factores clave. Este análisis tiene el objetivo de determinar si un proyecto como este puede lograrse de manera exitosa, sustentando decisiones informadas sobre su aprobación, modificación, o rechazo.

Un primer componente es la viabilidad técnica que analiza si el proyecto es factible desde un punto de vista técnico, es decir, si se dispone de la tecnología, los recursos materiales y las capacidades necesarias para llevarlo a cabo. Incluye la evaluación de infraestructuras, tecnología necesaria, de la experiencia técnica y de los riesgos técnicos.

Los siguientes componentes que acá se discutirán serán las viabilidades socioeconómicas y ambientales que examinan los impactos que el proyecto puede tener sobre la comunidad y el medio ambiente. Se evalúan aspectos como la mejora en la calidad de vida de la población afectada, y los impactos ambientales (positivos y negativos) que pueda generar.

Se trata continuación la viabilidad territorial, legal y regulatoria que busca determinar si un proyecto cumple con las regulaciones y normativas legales necesarias, como permisos

ambientales, laborales, de construcción, entre otros. Incluye también una revisión de posibles restricciones legales o problemas normativos que puedan afectar su ejecución.

Se finaliza con el análisis de la viabilidad económica y financiera que evalúa la rentabilidad del proyecto, analizando si los beneficios o ingresos superarán a los costos en el mediano y largo plazo. Esto implica calcular indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el período de recuperación de la inversión y el análisis de costos y beneficios y examina si existen los recursos financieros necesarios para ejecutar el proyecto. Incluye la planificación de presupuesto, la evaluación de posibles fuentes de financiamiento y la capacidad del proyecto para generar los recursos suficientes para cubrir costos y pagar deudas.

A manera de referencia, uno de los expertos expuso el proceso de estudio de viabilidad que sigue la compañía que en la que lidera el tema de residuos, en la siguiente forma: *“Se definió una hoja de ruta para el manejo de residuos sólidos. El estudio de prefactibilidad permite establecer criterios (tecnologías probadas, GATE FEE, TIPPING FEES, precio de kilovatio, etc.) para poder contrastarlos con propuestas debido a la cantidad de posibilidades que se vienen consolidando en los últimos años. Con el apoyo del Banco Mundial se está trabajando en el estudio de factibilidad. Luego se establece el esquema de implementación del proyecto (figura societaria, licitación, sociedad de economía mixta, etc.). Esto se da luego de que se tenga el proyecto estructurado y formulado y se ofrece y evalúan los interesados.”*

### **Viabilidad Técnica**

La viabilidad técnica de un proyecto evalúa si existen los recursos, conocimientos y capacidades necesarios para implementar y operar el proyecto de manera eficiente y exitosa. Es un componente crítico en el análisis de viabilidad, ya que permite determinar si las condiciones técnicas son adecuadas para cumplir los objetivos propuestos, minimizando riesgos técnicos y asegurando el cumplimiento de los estándares requeridos.

### **Aspectos clave de la viabilidad técnica**

- **Disponibilidad de Recursos Técnicos:** Se analiza si se cuenta con la infraestructura, equipos y tecnología adecuados para llevar a cabo el proyecto. Esto incluye verificar la accesibilidad de materiales y herramientas específicas que puedan ser necesarias.
- **Capacidades del Personal:** Este análisis revisa si el equipo de trabajo tiene el conocimiento y las habilidades técnicas requeridas para desarrollar y operar el proyecto. Si no es así, se deben considerar opciones de capacitación o contratación de expertos.
- **Evaluación de Procesos y Metodologías:** Incluye la revisión de los procesos y métodos de trabajo propuestos para asegurar que son los más efectivos, seguros y rentables para alcanzar los objetivos del proyecto.

- Factibilidad del Cronograma: Examina si el tiempo asignado para completar el proyecto es realista en función de los recursos y capacidades técnicas disponibles.
- Análisis de Riesgos Técnicos: Se identifican posibles desafíos técnicos que podrían afectar el desarrollo del proyecto, como problemas de compatibilidad, durabilidad de materiales, o cambios en la tecnología. Se desarrollan estrategias para mitigar estos riesgos.
- Cumplimiento de Normas y Regulaciones: Verifica que el proyecto cumpla con los estándares técnicos, normativas de seguridad y regulaciones vigentes, lo cual es fundamental para evitar problemas legales y garantizar la calidad del proyecto.

### **Avanzando en el conocimiento de las tecnologías por parte de los funcionarios responsables**

En la evaluación con los expertos se encontró que se tiene un avance importante en un grupo de funcionarios en el país, pero aún insuficiente. Persisten los siguientes problemas:

- Falta de suficiente conocimiento, por parte de los funcionarios públicos en alcaldías, gobernaciones, ministerios y autoridades ambientales
- Los planes de gestión integral de RSM en los municipios de Colombia, PGIRS, no contienen proyectos de valorización energética y aprovechamiento de los residuos para generar productos útiles.
- Hay desconocimiento sobre la economía, la tecnología, los flujos y los espacios y recursos necesarios para los procesos de separación y de recolección selectiva. Hay desconocimiento de los sistemas de aprovechamiento de materiales orgánicos, de su economía y tecnología; es casi nulo el conocimiento sobre el aprovechamiento energético y térmico.

Los expertos hicieron énfasis en estos aspectos:

- Hace falta voluntad política. El desconocimiento de estas tecnologías en las comunidades se vence con políticas del “buen vecino” y pedagogías, además la implementación de las tecnologías se realiza con Asociaciones Publico Privadas
- La falta de mayor conocimiento desde los entes territoriales y operadores de aseo, es una problemática. Como evidencia de ello, se menciona que se han dado casos de la existencia de oferentes con soluciones, pero no se logra avanzar. Al parecer los tomadores de decisiones no logran ver la factibilidad real de estas propuestas, aunque no está claro por qué no se han tomado estas ideas para dar solución.
- El desconocimiento genera reprocesos, ideas que se ensayan sin llegar al éxito, sumando a todo ello la falta de una guía más completa y más integral en las normas colombianas sobre el manejo de residuos que brinde una orientación en tema de aprovechamiento de residuos, a los gestores y operadores de aseo, la información de respaldo respecto a estos temas se da desde entidades como la ISWALAC (asociación internacional de residuos sólidos) Banco Mundial, Comisión Europea, BID.

- Para romper estas barreras se necesita generar conocimiento, capacidades, donde se tengan buenas prácticas (documentos) a nivel nacional y encontrar formas de divulgación, para que sirva de referencia a los interesados en desarrollar este tipo proyectos y a los tomadores de decisiones especialmente en municipios de menor categoría.
- Hay tecnologías existentes para incineración ampliamente probadas TRL9, (con más de 2000 plantas a nivel mundial), en cambio otras tecnologías como (gasificación, pirólisis) usadas en procesos industriales son muy eficaces con materiales homogéneos, pero se necesita para materiales heterogéneos, y de este tipo de tecnologías existen 3 plantas en el mundo que están trabajando en la configuración completa, permitiendo agregar subprocesos los cuales generan valor en el mercado.
- La generación de energía eléctrica en una planta que procese 500 ton/día puede estar alrededor de 10 MW si el poder calorífico es 8.800 kJ/kg. Se trata de una energía firme que puede resolver el tema de los rellenos sanitarios como solución preferida. Tal solución se puede llevar a la práctica asociando la energía producida y la energía térmica que se genera con su aprovechamiento como generación distribuida en complejos industriales.
- Se rompe el desconocimiento convenciendo a los responsables de las comunicaciones en la sociedad de los beneficios de las nuevas tecnologías y de sus impactos en la mejora de calidad de vida. A la población mediante campañas de incentivos económicos que las lleven a generar conciencia sobre aspectos como la correcta separación de los RS para facilitar estos procesos, especialmente si se quiere incluir alternativas dedicadas para los residuos orgánicos. En esto se puede considerar realizar foros, campañas de divulgación por los distintos medios y redes sociales que contribuyan a la comprensión del uso de las nuevas tecnologías.

### **Una oportunidad de desarrollo tecnológico local**

El desarrollo de proyectos de Valorización de Residuos Sólidos con Generación de Energía, WtE, es una oportunidad para las empresas que gestionan residuos y para la ingeniería local. El foco de construcción de capacidades está en los siguientes aspectos:

- Diseño y estudio de sistemas en todas las etapas de la ingeniería de proyectos.
- Fabricación de componentes o subsistemas que requieren las plantas de separación, de refinación, de valorización energética y de producción de materiales a partir de los RSM.
- Prestación de servicios que apoyen la operación y el mantenimiento de las plantas.

Los expertos consultados recomiendan:

- Se pueden desarrollar proyectos WtE, inicialmente con la colaboración de empresas y tecnologías extranjeras, pero ejecutados con participación de tecnología, empresas y mano de obra local. Se tienen las capacidades, e historia en este sentido en distintas

áreas de la tecnología. Por ejemplo, es claro que se cuenta con capacidades nacionales en los procesos de separación y en la combustión de materiales sólidos.

- A través de proyectos de utilización de materiales derivados de los procesos de recuperación como es el caso del CDR (combustible derivado de residuos), usado en plantas cementeras como reemplazo del carbón, se facilita la participación de otros actores en los proyectos de WtE (aprovechamiento térmico de los residuos). Esto actores, como las plantas cementeras, cuentan con medios y estructuras en sus plantas para manejar estos productos derivados de los residuos y esto permite canales de comercialización a la tecnología.
- Seguir las experiencias de países avanzados de la Unión Europea que marcan un camino en el manejo de RSM basado en tres estrategias, cada una con una contribución semejante [5], que son: a) el del reciclaje, b) el compostaje, la generación de biogás y de productos para la agricultura, basados en los desechos orgánicos y c) la valorización energética. En esta forma queda una pequeña fracción, de menos del 10 % que se lleva a disposición final en rellenos sanitarios que no generan problemas ambientales significativos.

### **Conclusiones y recomendaciones sobre la viabilidad técnica**

Se considera que es totalmente viable, desde la tecnología, el empleo de sistemas de valorización energética y aprovechamiento de residuos, para los casos colombiano y latinoamericano.

No obstante, los aspectos limitantes discutidos, la ingeniería colombiana está en capacidad de construir, montar, operar y hacer mantenimiento de plantas de valorización energética, bien sean térmicas o biológicas. La experiencia y el conocimiento adquirido a través de las termoeléctricas a carbón y gas natural así lo demuestran.

Este proceso de participación de las entidades nacionales puede ser gradual, apoyado por la colaboración internacional y por las investigaciones de los varios grupos de investigación y desarrollo que ya existen en el país y en la región.

Se considera adecuado desarrollar, a corto plazo, sistemas reales, como ya se ha estado haciendo en Brasil.

### **Viabilidad social**

La viabilidad social evalúa el impacto que tendrá sobre la sociedad y las comunidades involucradas. Este análisis considera cómo el proyecto afectará a las personas, tanto en términos de beneficios como de posibles efectos adversos, y busca asegurar que los resultados sean socialmente aceptables y sostenibles para las partes interesadas.

### Elementos claves en la viabilidad social

- **Impacto en la Comunidad:** Se evalúa cómo el proyecto afectará la calidad de vida de las personas en la comunidad, considerando aspectos como generación de empleo, mejoras en infraestructura, acceso a servicios y efectos en la cohesión social. También incluye el análisis de posibles desplazamientos, cambios en el estilo de vida o costumbres, y efectos culturales.
- **Aceptación Social:** Este aspecto analiza el nivel de apoyo o resistencia que puede encontrar el proyecto dentro de la comunidad. La aceptación puede depender de factores como la comunicación y transparencia del proyecto, la percepción de los beneficios que ofrece, y cómo se manejan los impactos negativos.
- **Inclusión y Participación:** Para asegurar que el proyecto sea socialmente viable, es importante que incluya mecanismos de participación para la comunidad en el proceso de planificación y desarrollo. Esto permite que los miembros de la comunidad expresen sus opiniones, preocupaciones, y sugerencias.
- **Impacto en Grupos Vulnerables:** Se evalúa cómo el proyecto puede afectar a poblaciones vulnerables, como personas de bajos ingresos, mujeres, minorías étnicas, y otros grupos en situación de desventaja. El análisis de viabilidad social debe prever medidas para proteger y beneficiar a estos grupos.
- **Sostenibilidad Social a Largo Plazo:** Se considera si el proyecto generará beneficios duraderos y contribuirá a la estabilidad social de la región. Esto incluye evaluar si las mejoras introducidas serán sostenibles sin depender de recursos externos una vez finalizado el proyecto.
- **Impacto en el Entorno Cultural:** Los proyectos deben respetar las tradiciones y valores culturales de las comunidades locales. Esto es especialmente importante en regiones con un fuerte patrimonio cultural, donde el proyecto puede causar tensiones o conflictos si no se adapta adecuadamente a las costumbres locales.

### Comentarios de expertos

- Los tamaños de los proyectos están directamente relacionados con la dificultad que presenten para romper las barreras es así como la toma de decisiones y presupuestos impiden el avance de estos, desde la organización se piensa en soluciones distribuidas en sitios de producción con proyectos a pequeña y mediana escala que no presenten complicaciones con estos dos factores (toma de decisiones y presupuestos), y a su vez se evitan costos por transporte y disposición final, los cuales puedan ser puestos en economía circular para la sociedad, por ejemplo en plazas de mercado, agremiaciones residenciales, comerciales, estos proyectos son más realizables que proyectos de gran envergadura. Es de anotar que proyectos de esta naturaleza pueden contar con el apoyo de las administraciones locales.
- La gestión social debe seguir ejemplos como el de Suiza, en donde empezaron por campañas de educación en la niñez enseñándoles la necesidad del cuidado del medio ambiente, y a su vez los niños influyen y cuestionan a las personas mayores para que tomen esas medidas, así se va generando una conciencia. Esto es un proceso que

demanda tiempo (mínimo una generación), y para poder reducir estos tiempos se pueden adoptar incentivos económicos (de diferentes modelos).

- Mediante la conciencia y cuidado ambiental que se obtienen por el orden y la limpieza se generan beneficios económicos: estímulo al turismo, mejoramiento de la calidad de vida y la generación de empresas.
- Se necesita una concientización en que el desarrollo de estas tecnologías requiere grandes inversiones y desde el gobierno y entidades públicas tomar en consideración los pasivos ambientales generados por los rellenos y desde los usuarios y políticos desarrollar la conciencia de que el precio que en general se paga para la gestión de RSM es bajo, apenas si alcanza para gestionar los residuos en rellenos sanitarios y ello dificulta la implementación de estas tecnologías de aprovechamiento que van a tener costos adicionales, pero también claros beneficios, algunos de ellos intangibles, pero también reales y evaluables a través de la conciencia social e individual.

### **Aterrizar el idealismo en acciones ciertas: decantando Basura Cero**

Increíblemente el concepto de basura cero y su interpretación también se ha vuelto una barrera. Las instituciones, las empresas y muchas entidades del sector público pueden certificarse en basura cero, pero eso no quiere decir que no haya residuos para disposición final. El concepto mismo de basura cero, puede dar lugar a establecer las limitaciones y barreras mentales como bases para no adelantar iniciativas de tratamiento y aprovechamiento, en espera del imposible ideal de la no generación de residuos. Además, este concepto desconoce la realidad experimental que muestra que a medida que las sociedades se desarrollan, generan cantidades crecientes de residuos.

Opiniones de los expertos sobre este concepto:

- La idea absoluta de basura cero es una utopía, no existe país que gestione todos sus residuos de modo que no haya basuras. Es normal que se generen residuos y además de que es económicamente imposible e inviable reciclar todos los residuos generados por un país.
- Es un término que, si se toma absolutamente, desconoce el desarrollo económico que han tenido las sociedades e iría en contravía al desarrollo y la sostenibilidad económica de la sociedad.

### **La sin salida ambiental de “Grupos Ambientalistas”**

El reto de darle solución ambiental a la gestión de residuos se enfrenta al bloqueo de las soluciones desde unos grupos que se asumen como ambientalistas. Esto genera las siguientes situaciones:

- El ciudadano del común reciba información sesgada sobre los proyectos de valorización y aprovechamiento.

- El trámite de la licencia ambiental dura 4 o 5 veces lo que debería ser. Se trata de trámites excesivamente costosos y complejos.
- Puede suceder que las autoridades ambientales nieguen la licencia, aduciendo que los estudios hechos son deficientes o incompletos. En este sentido es importante que las autoridades ambientales conozcan a profundidad las tecnologías de aprovechamiento de residuos y WtE y contribuya positivamente a que se hagan bien hechos los procesos, apoyando y revisando los mismos para que se hagan exitosamente. A todos convienen estos proyectos.

Al respecto opinan los expertos.

- Con frecuencia los activistas son los primeros que al ver que se va a realizar un nuevo proyecto, levantan una queja para que el proyecto sea parado, aprovechando la falta de conocimiento y conciencia política de la población, transmitiendo falsas verdades y haciendo que el público las acepte ingenuamente.
- Con respecto al activismo ambiental convienen no tomarlo solamente como un impedimento. Conviene examinar las oportunidades para tenerlo en cuenta para mejorar el proyecto, siendo hábiles en las comunicaciones y la escucha. En una buena gerencia de los proyectos se tienen en cuenta los comentarios y sugerencias y se está con la mejor disposición. Por otra parte, con las comunidades se logra el empoderamiento del proyecto por parte de estas, para que no sean un problema sino más bien parte del proyecto.
- Cada vez que se va a realizar un proyecto importante aparecen organizaciones y entidades con intereses particulares. Se debe vencer el desconocimiento alrededor de estas tecnologías dándoles manejo desde el principio y yendo de la mano con la comunidad.
- Con respecto a los grupos ambientales, hay que tener en cuenta que los gobiernos tienden a dejarse influenciar por el ambientalismo, especialmente en las entidades de naturaleza ambiental. Ello puede dificultar el desarrollo de estos proyectos.
- Conviene entonces buscar que los grupos ambientalistas participen positivamente, estableciendo estrategias no solo para informar sino también para motivar e integrar, ya que todos los proyectos tienen afectaciones sociales y la estrategia de la organización es socializar, y llegar a acuerdo con las organizaciones para hacerlas partícipes de estos proyectos.
- Hay que considerar los sistemas de revisión y crítica ambiental como medios positivos para lograr que los proyectos se hagan con toda la calidad necesaria, no para suspenderlos o volverlos inviables.
- Es importante participar en los debates que se promueven y presentar información valiosa, verdadera, basada en la abundante experiencia que se tiene, para responder a las dudas y negatividades.
- Es importante conocer a fondo los beneficios y costos de estos proyectos, tanto tangibles como intangibles, estando preparados para presentarlos de manera objetiva a los públicos interesados.
- Con el desarrollo de modelo regenerativo se busca integrar a las comunidades en el desarrollo de proyectos. Mediante la implementación de este modelo se logra la

participación desde lo social, la integración económica de estos proyectos a las comunidades, el desarrollo territorial y beneficios a las comunidades aledañas.

- Desde que haya voluntad política, se puede lograr la implementación de estos proyectos, porque es de esperar que cuando a la comunidad se le da a escoger entre la instalación de un nuevo relleno o la de una planta para la valorización de RS, las comunidades opten por las tecnologías de aprovechamiento.

### **La falta de participación ciudadana.**

Sugerencia de los expertos:

- En la población latina no existe un fuerte sentido de comunidad que les permita unirse para analizar y exigir solución a los problemas. Caso contrario sucede en países como Japón, Corea del Sur, Suiza, entre otros.
- Se requiere que la propia comunidad haga campañas buscando respuestas adecuadas al buen manejo de los residuos de parte de los políticos y de los funcionarios públicos. Estas campañas van mostrando el grado de conciencia que la comunidad va adquiriendo con respecto a los problemas sociales y económicos que tienen.

### **Falta de normas de mayor calidad; carencia de multas ambientales para residuos y de incentivos municipales y departamentales para las buenas prácticas**

Según explica uno de los expertos *Existe una política nacional de gestión integral y sostenible de residuos municipales. Respetando esta política los alcaldes y gobernadores deberían hacer uso de la creatividad y la innovación para establecer normas e incentivos que en verdad motiven a la comunidad a participar en la solución al problema de la disposición final de los residuos municipales. Esto no ocurre siempre, en parte porque existe otra posible barrera en los funcionarios públicos, que es la falta de sentido de comunidad. Dado que ellos son a la vez funcionarios públicos y ciudadanos, la falta de este sentido de comunidad afecta su ejercicio como trabajador público y su responsabilidad como miembro de una comunidad.*

Desde un punto de vista social, este tipo de proyectos puede hacerse viable, si con la participación de todos los involucrados y de los funcionarios públicos, municipales y departamentales, se socializan entre las comunidades este tipo de proyectos y se explican los beneficios que conllevan. Para ello, ellos deben capacitarse de forma persistente y efectiva. Así pueden sustentar todas las medidas punitivas y coercitivas que implementen para aplicar un mejor sistema de manejo, separación, transporte y disposición final de los residuos sólidos municipales.

### **Viabilidad ambiental**

La viabilidad ambiental se refiere a la capacidad de un proyecto de desarrollarse de manera que no cause un impacto negativo o irreparable en el medio ambiente. Esto implica que

cualquier actividad debe evaluarse en función de su sostenibilidad y su compatibilidad con los ecosistemas y los recursos naturales disponibles. Una visión más moderna contempla la capacidad del mismo proyecto de contribuir en una dinámica de regeneración ambiental.

Para determinar la viabilidad ambiental de un proyecto, generalmente se realiza un estudio de impacto ambiental (EIA), en el cual se analiza cómo una actividad podría afectar el entorno natural, la biodiversidad, los recursos hídricos, el suelo y el aire. A partir de estos estudios, se proponen medidas de mitigación o adaptación para minimizar los impactos negativos. Un proyecto es viable ambientalmente cuando:

- No degrada los recursos naturales de manera irreversible.
- Minimiza los desechos y la contaminación.
- Respeta la biodiversidad y los hábitats de especies locales.
- Fomenta prácticas sostenibles que aseguren la preservación del entorno para futuras generaciones.

Los proyectos WtE y de aprovechamiento de residuos son parte de la solución ambiental para evitar los rellenos sanitarios, pero también generan impactos ambientales que hay que gestionar y mitigar.

Para el caso de los proyectos de este tipo que generan electricidad, deben ser considerados por parte de los funcionarios de las autoridades ambientales tanto como proyectos de generación de energía eléctrica, como subproyectos de un sistema de disposición final de los residuos sólidos municipales.

Si el proyecto WtE, que se pretenda construir en un botadero o relleno sanitario con licencia ambiental, es considerado como parte del sistema de gestión integral y sostenible de los RSM, que permite hacer aprovechamiento y valorización de residuos sólidos, entonces la licencia ambiental existente sólo debe ser modificada. Esto equivale a decir que los proyectos WtE deben considerarse parte del sector residuos y no parte del sector eléctrico colombiano.

Al respecto opinan los expertos:

- Se lograría reducir los tiempos de licencias de estos proyectos de aprovechamiento integral resaltando sus aspectos positivos:
  - No existe contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos evitándose la generación de los lixiviados producidos en la vida activa del relleno sanitario
  - Existe una menor generación de metano comparados con los rellenos sanitarios.
  - Menor uso de espacios que pueden ser mejor aprovechados.
- Teniendo en cuenta el desconocimiento actual, en muchos de los actores de estos proyectos debe ser parte del ejercicio que se realiza, como recomienda el Banco Mundial, el generar capacidades y conocimientos.

- El trámite ambiental es extenso, puede tomar hasta 3 años, después del estudio de prefactibilidad. Si es una planta de WtE y aprovechamiento y valorización, en nuevos terrenos, el trámite puede ser aún más extenso y complejo. Esto es demasiado. Parece importante establecer un mejor marco regulatorio, que les permita a todos los actores como manejar estos proyectos desde las mismas autoridades, y que los tiempos de trámites y permisos no sean tan extensos.
- A veces las autoridades ambientales no son parte de las soluciones, sino parte del problema, debido a los costos y tiempos para acceder desarrollarlas. Se convierten en un cuello de botella en el desarrollo de estos proyectos.
- Inclusive la licencia ambiental no da la seguridad de que los proyectos se puedan realizar, ya que estos pueden ser revocados por otras autoridades sociales, alcaldías, bajo la influencia de comunidades y personas. Ello hace aún más costoso el desarrollo de cualquier proyecto no solo de generación, de infraestructura, de exploración.
- En Europa si alguna persona tiene algún reparo sobre un proyecto, se cuenta con una figura equivalente a lo conocido en Colombia y que es llamado consulta previa. La autoridad toma a consideración los argumentos y después toma la decisión respecto a la ejecución del proyecto, llevando a veces, según el asunto y su importancia, a un referendo. Conviene examinar si en Colombia se necesitan cambios en la normatividad para que las licencias no se vuelvan un problema, un impedimento sino en un componente clave en el diseño de la solución.

Si se considera que un proyecto de valorización energética de RSM es muy similar a las termoeléctricas a carbón y gas natural que funcionan en Colombia desde hace más de 25 años, el trámite de la licencia ambiental no debería ser un problema para las autoridades ambientales ni para los propietarios del proyecto de valorización, dado que debe seguirse el mismo procedimiento. Dicho en otra forma, hay conocimiento de ingeniería de las partes involucradas. Por tanto, si las termoeléctricas han recibido licencia ambiental, estos proyectos, que son básicamente termoeléctricas con RSM, deberían tener la misma suerte.

Se cuenta con tecnologías totalmente demostradas para que el manejo de los residuos por sistemas de aprovechamiento térmico y de valorización de residuos cumpla con todas las exigencias ambientales. Por ello el sistema licenciamientos ambientales no dese ser un obstáculo sino un método para garantizar la aplicación de las buenas prácticas a los mismos.

### **Viabilidad regulatoria y legal**

La viabilidad regulatoria y legal se refiere a la capacidad de un proyecto de cumplir con las normas, leyes y regulaciones vigentes. Este concepto implica una revisión y análisis detallado de los marcos legales y regulatorios aplicables para asegurar que la iniciativa pueda operar de manera lícita y esté alineada con las disposiciones gubernamentales y sectoriales.

Para garantizar la viabilidad regulatoria y legal de un proyecto, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de normativas: Verificar que la actividad se ajuste a las leyes locales, nacionales e internacionales, así como a los estándares específicos de la industria, que pueden incluir normas de seguridad, salud, medio ambiente, protección al consumidor, entre otras.
- Permisos y licencias: Obtener las autorizaciones necesarias para operar legalmente, como licencias comerciales, permisos ambientales, certificados de construcción y cualquier otro tipo de permiso específico que exija la regulación.
- Respeto a los derechos laborales: Asegurar que las condiciones de trabajo cumplan con las leyes laborales y de seguridad social, y que se respeten los derechos de los empleados.
- Protección de la propiedad intelectual: Registrar patentes, marcas comerciales, derechos de autor u otros derechos de propiedad intelectual relevantes para proteger la innovación o el producto del proyecto.
- Adaptación a cambios legislativos: Estar preparado para ajustar las operaciones en caso de que surjan cambios regulatorios o legales, de modo que el proyecto pueda seguir siendo viable en un contexto de nuevas leyes o regulaciones.

En Colombia, el manejo de residuos sólidos está regulado por un conjunto de leyes, decretos y normas que establecen las directrices para la gestión integral de residuos, con el fin de minimizar su impacto ambiental y proteger la salud pública. El marco legal colombiano busca promover prácticas sostenibles, el reciclaje y la adecuada disposición de residuos. A continuación, se destacan las principales normas y directrices del marco legal de residuos sólidos en el país:

- Ley 9 de 1979 (Código Sanitario Nacional): Establece directrices para la protección de la salud pública, incluyendo aspectos relacionados con la disposición de residuos sólidos. Esta ley fue uno de los primeros marcos generales en Colombia sobre temas de salubridad.
- Ley 99 de 1993: Crea el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) y establece que esta entidad es responsable de formular y regular la política ambiental, incluyendo la gestión de residuos sólidos. Esta ley también da origen al Sistema Nacional Ambiental (SINA), encargado de coordinar la gestión ambiental en Colombia.
- Ley 142 de 1994 (Ley de Servicios Públicos Domiciliarios): Esta ley establece el marco regulatorio para los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el servicio de aseo, que abarca la recolección, transporte, tratamiento, disposición final de residuos sólidos y actividades complementarias como el barrido y la limpieza de vías y áreas públicas. Algunos aspectos destacados de la Ley 142 relacionados con residuos sólidos son:
  - **Regulación del Servicio de Aseo:** Define el servicio de aseo como un servicio público domiciliario, lo que implica que debe ser prestado bajo ciertas

- condiciones de calidad, continuidad y cobertura para satisfacer las necesidades de la comunidad.
- **Supervisión y Control:** La ley establece que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) es la entidad encargada de supervisar y controlar la calidad y eficiencia de los servicios, incluyendo el de aseo. También establece la competencia de las Comisiones de Regulación, en particular de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), para regular tarifas y garantizar un servicio adecuado.
  - **Tarifación y Subsidios:** Define un régimen tarifario y establece que, en áreas de menores ingresos, pueden aplicarse subsidios para hacer el servicio asequible, mientras que en sectores de mayores ingresos pueden aplicarse contribuciones para financiar los subsidios.
  - **Promoción del Reciclaje:** Aunque en su redacción original no incluía explícitamente la actividad de reciclaje, la ley ha sido complementada por decretos y resoluciones que promueven la inclusión de recicladores de oficio en la prestación del servicio de aseo, como el Decreto 596 de 2016.
  - La Ley 142 de 1994 es fundamental para asegurar que el servicio de aseo, y por lo tanto la gestión de residuos sólidos, se brinde de manera organizada, regulada y accesible para la población en todo el país, promoviendo tanto el orden público como la sostenibilidad ambiental.
- Ley 1259 de 2008: Conocida como la "Ley de Comparendos Ambientales", tiene el propósito de regular el manejo adecuado de los residuos sólidos en espacios públicos y promueve la cultura del buen manejo de residuos en las ciudades. Sanciona las conductas que afecten el orden y la limpieza del espacio público, incentivando así el manejo responsable de los residuos.
  - Decreto 2981 de 2013: Regula la prestación del servicio público de aseo en Colombia, estableciendo parámetros y condiciones para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Además, incentiva la separación en la fuente y el reciclaje en el país.
  - Ley 1672 de 2013: Reglamenta la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), buscando que productores y comercializadores participen en la disposición y reciclaje de estos residuos.
  - Resolución 0668 de 2016 y Resolución 1407 de 2018: Estas resoluciones regulan la gestión de residuos de empaques y envases de papel, cartón, plástico, vidrio y metal. La Resolución 1407 establece los lineamientos para que los productores y comercializadores de productos envasados o empacados adopten sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de estos residuos.
  - Ley 1973 de 2019: Regula la gestión de residuos sólidos con énfasis en la economía circular, incentivando a las empresas a reducir, reciclar y reutilizar materiales, además de la minimización de residuos en los procesos productivos.
  - Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIRS): Aunque no es una ley, el PNGIRS es una herramienta estratégica que orienta la gestión de residuos en Colombia a nivel municipal y departamental. Propone políticas y estrategias para la

reducción en la generación de residuos y promueve el reciclaje y el aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos.

- Economía Circular en la Política Nacional: Colombia ha adoptado la economía circular como parte de su estrategia ambiental, que abarca la gestión de residuos sólidos a través de la promoción de sistemas de reutilización, reparación y reciclaje en los sectores productivos y sociales.

En conjunto, este marco legal busca promover una gestión integral de los residuos sólidos que contribuya a la sostenibilidad ambiental y fomente una cultura de reciclaje y aprovechamiento, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas nacionales de reducción de residuos.

La aplicación de estos marcos legales ha generado una red de intereses que pueden favorecer o no el desarrollo de proyectos WtE. Se consideran varios de ellos a continuación.

### **Intereses del sector eléctrico y del sector residuos**

Se debe lograr que el interés del sector eléctrico de energía a costos viables se compatibilice con el del usuario final que puede tener energía de origen en Generación Distribuida en la que el comparativo de KWh se da con los componentes de distribución y restricción incluidas, lo que permitiría un valor que haga viables los proyectos.

A esto se debería sumar que un proyecto WtE por parte de los empresarios del sector eléctrico, la mayoría de carácter privado, pueden monetizar o valorizar los beneficios sociales y ambientales e incorporarlos en la construcción del flujo de caja para evaluar el proyecto en cuanto ello sea posible vía ingreso de las tarifas de disposición, reducción de efectos de gases e ingresos por energía renovable. Es importante construir esquemas en Colombia que permitan promover los proyectos WtE

Al respecto comentan los expertos consultados:

- Es el aspecto que puede ser una de las más complicadas barreras que debe vencer la implementación de las tecnologías WtE, debido a que no están claros los proyectos de este tipo en cuanto a sus regulaciones.
- Las tarifas de aseo por el manejo de los RSM que se aplican a los usuarios son bajas, por ejemplo, cuando se les cobra la tarifa como multiusuario a un edificio y no por apartamento), también la existencia de subsidios otorgados por el municipio, el departamento o la nación al manejo, disposición de residuos sólidos.
- Hay que romper la barrera de la falta de conocimiento en la medida que se haga más difusión, al considerar este tipo de soluciones en donde los insumos no solo es la venta de energía, la venta de materiales por reciclaje, los combustibles generados, sino también el no uso de rellenos sanitarios, entonces lo que se debe lograr es socializar estos proyectos como una solución a los rellenos sanitarios con el componente energético de las FN CER, donde no solo se le dé énfasis a temas

económicos como (Capex, Opex, costo de energía, costo nivelado de energía ,etc.) sino también integrando las alternativas con componente ambiental no solo las de generación.

- A su vez tomando experiencias internacionales del cómo lograron integrar los dos componentes energéticos y ambientales, por ejemplo, para una empresa multiservicio presenta dificultad el desarrollo de estos proyectos, ahora para las empresas que no manejan todos los servicios, es por ello que se requiere sensibilizar y alfabetizar para que el proceso sea entendido, mediante organizaciones que generen valor agregado.
- Esta tecnología hay que enfocarla como solución de aseo (disposición de los residuos), fomentándola como una alternativa a la disposición final y permitirle que sea remunerada en la formula tarifaria del sector de transporte de los residuos que en vez que lo lleve al relleno sea llevado a la planta de valorización y de igual forma para la planta de valorización como una alternativa a la disposición final de residuos.

### **Intereses de los concesionarios de aseo**

Un análisis similar resulta de examinar el papel de las empresas concesionarias responsables de la disposición final de los RSM. Se considera poco probable que le propongan al municipio que les concesionó la disposición final de los RSM, la realización de proyectos WtE. Es probable que las empresas que recolectan, transportan y operan el botadero o relleno sanitario en los municipios, grandes, medianos y pequeños, consideren que se van a ver afectadas negativamente cuando los funcionarios de los municipios proponen un proyecto WtE para que se integre al sistema de gestión de los RSM.

- Con este sector es delicado el tema. Hay que considerar por un lado que para desarrollar rellenos sanitarios adicionales, con las licencias y permisos que ello implica, es complejo. Entonces, este sector tiene un horizonte difícil debido a que la disposición final por rellenos está viendo amenazado su futuro por temas ambientales y sociales. Las nuevas tecnologías deben contar con apoyo del estado facilitando su implementación.
- Este tipo de proyectos puede tener diversos actores no solo en el desarrollo del proyecto sino como operadores y dueños. Aunque estos actores tengan intereses particulares, hay que promover entre ellos estos proyectos, como un gana-gana para las distintas partes.
- La regulación no promueve ni promociona estas iniciativas. Desde los mismos PGIRS (Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regionales), se observa que el enfoque está más asociado a los procesos tradicionales, (recolección, transporte y disposición final en relleno sanitario). Por ello hay proponer que se incluyan estas iniciativas en los PGIRS
- La tarifa de disposición final se aplica mayormente al uso de los rellenos. Se remunera en forma relativamente modesta el Gate FEE (tarifa para disponer rellenos sanitarios). Como las alternativas de valorización tienen unos costos adicionales, si estas no son remuneradas, o si, inclusive se llegue a quitar estas tarifas porque no se están disponiendo los residuos recibidos, sino que se tratan, se afectaría a los dueños de los

rellenos y a los operadores de sistemas de tratamiento. Es por ello que se requiere integrar a los actores haciendo gestiones ante los reguladores para que se modifiquen o ajusten debidamente los planes PGIRS.

Es un tema sensible el tratamiento de valorización térmica, debido a que en la jerarquía de gestión de residuos, este método de tratamiento está en la parte inferior, por debajo de actividades como la separación en fuente, el reciclaje y el aprovechamiento y gestión de lo orgánico. Por ello hay que tener un discurso menos basado en jerarquías, más dirigido a la complementariedad y la integralidad. Desarrollar las jerarquías superiores requiere de mucho tiempo. Entonces los proyectos de WtE y aprovechamiento son complementarios. Con ellos no se amenaza realmente el desarrollo de los programas de reciclaje y manejo orgánico.

### Marco legal para inversiones WtE

La **Ley 1715 de 2014** en Colombia, enfocada en la promoción de las energías renovables y en la gestión eficiente de la energía, fue modificada por la **Ley 2099 de 2021**. Esta nueva ley amplía el alcance de la Ley 1715 y adapta la normativa para promover una transición energética más amplia y alineada con los compromisos ambientales del país. Aquí algunos aspectos clave de la **Ley 2099 de 2021**:

1. **Transición Energética:** Declara la transición energética como política de Estado, con el objetivo de diversificar la matriz energética hacia fuentes más limpias y sostenibles, no solo con energías renovables (como solar, eólica y geotérmica), sino también con fuentes de bajas emisiones de carbono.
2. **Promoción de Nuevas Tecnologías:** Amplía el alcance a tecnologías emergentes, incluyendo el hidrógeno verde y azul, almacenamiento de energía, eficiencia energética y movilidad sostenible.
3. **Incentivos Tributarios:** La Ley 2099 mantiene y amplía los incentivos tributarios para proyectos de energías renovables, incluyendo exenciones del IVA, aranceles y deducciones en el impuesto de renta. Se incluyen también beneficios para proyectos de hidrógeno y almacenamiento de energía.
4. **Eficiencia Energética y Autogeneración:** Fomenta la autogeneración y generación distribuida de energía, incentivando a empresas y personas a generar su propia energía a partir de fuentes renovables. También promueve la eficiencia energética en diversos sectores, buscando reducir el consumo y mejorar el uso de la energía.
5. **Certificados de Energía Renovable:** Establece los certificados de energía renovable como mecanismos para certificar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, buscando incentivar que las empresas los adquieran para compensar su huella de carbono.
6. **Electromovilidad:** La ley también impulsa la movilidad sostenible y la transición a vehículos eléctricos e híbridos en Colombia, con incentivos y planes para fortalecer la infraestructura de carga eléctrica en el país.

En conjunto, la Ley 2099 de 2021 busca avanzar en los objetivos de sostenibilidad y descarbonización, facilitar la inversión en nuevas tecnologías energéticas y continuar con la modernización de la infraestructura energética en Colombia. Esta reforma adapta la política energética del país a los desafíos del cambio climático y a los compromisos internacionales de reducción de emisiones.

Incluye el aprovechamiento de los **residuos sólidos como fuente de energía**. Esta ley reconoce la importancia de los residuos sólidos en la diversificación de la matriz energética, incentivando su uso para generar energía mediante procesos como la **biomasa, biogás y otras tecnologías de conversión de residuos a energía**.

Algunos puntos relevantes sobre la generación de energía a partir de residuos sólidos en la Ley 2099 de 2021 son:

1. **Promoción de la Biomasa y el Biogás:** La ley incentiva el uso de residuos orgánicos y agrícolas para generar biogás y biomasa, los cuales pueden ser utilizados como fuentes de energía para calefacción, electricidad o incluso para producir combustibles alternativos.
2. **Incentivos para Proyectos de Energía a partir de Residuos:** Proyectos que aprovechen residuos sólidos para la generación de energía renovable pueden acceder a los mismos incentivos fiscales que se otorgan a otras energías renovables, tales como exenciones de IVA y aranceles, deducciones de renta y acceso a mecanismos de financiación y apoyo gubernamental.
3. **Certificados de Energía Renovable:** La ley permite que proyectos de generación de energía a partir de residuos sólidos accedan a los Certificados de Energía Renovable (CER), lo que fortalece su viabilidad comercial y ambiental.
4. **Contribución a la Economía Circular:** Al incluir la generación de energía con residuos sólidos, la ley fomenta la economía circular, incentivando la reducción y aprovechamiento de residuos y contribuyendo a una gestión de residuos más sostenible en el país.
5. **Integración con Políticas Ambientales y de Sostenibilidad:** La ley también alinea este tipo de generación con los objetivos de reducción de emisiones y aprovechamiento de residuos en los planes nacionales de desarrollo sostenible y de transición energética.

Con estos lineamientos, la Ley 2099 de 2021 refuerza el aprovechamiento de residuos sólidos para generar energía limpia, apoyando la diversificación de la matriz energética y promoviendo una gestión de residuos más sostenible en Colombia.

Al respecto, los expertos consultados opinan:

- En la página del ministerio de vivienda actual [6] se presentan esquemas para el manejo de residuos muy basado en el reciclaje y los recicladores, el manejo de sus relaciones y de la economía de estas. Se trata de un sistema muy idealizado y

complejo, el cual no ha sido efectivamente aplicado. No hay mención de sistemas de valorización.

- No existe una reglamentación, unos lineamientos que le permitan a las autoridades ambientales simplificar las licencias.
- Aunque se trata de proyectos con componente ambiental y energético, en donde el país ha tenido grandes cambios hacia la integración de las FNCER enfocada a los incentivos tributarios, ley 1715, de agilización de trámites, aún falta la integración de estos proyectos. Efectivamente, cuando se habla de proyectos de RSM, de biomasa, se analizan los beneficios ambientales y energéticos por aparte, al igual que las regulaciones establecidas por los ministerios no encajan adecuadamente en estos dos aspectos.
- Para unir dos regulaciones, la del sector de residuos y saneamiento básico (CRAG) con el de las empresas de energía (CREG), se necesita una integración sabia, que facilite que se analicen estos dos aspectos de los proyectos de forma conjunta y no aislada.
- Las autoridades deben de empezar desde ahora a asumir los costos ocultos y pasivos ambientales generados por la disposición de los rellenos y disminuir su enfoque en estas, y fomentar idealmente el uso de las nuevas tecnologías. En cambio, se ha visto que cuando se dan, de manera recurrente emergencias ambientales por crisis en los rellenos, la coyuntura forzada y la falta de planeación y de adaptación a las nuevas tecnologías, se tiende a tomar decisiones apresuradas bajo el acoso del tiempo y las amenazas de una crisis pública.

### **Tipping fee (gate fee) y estímulos a los rellenos sanitarios**

El *tipping fee* es la tarifa que actualmente los rellenos sanitarios cobran por cada tonelada de RSM que reciben para hacer la disposición final.

En el caso colombiano, la resolución CRA 720 de 2015, indica en el artículo 31:

*“ARTÍCULO 31. Costo de alternativas a la disposición final. Podrán emplearse alternativas a la disposición final en relleno sanitario siempre y cuando éstas cuenten con los permisos y autorizaciones ambientales requeridas y el costo a trasladar a los usuarios en la tarifa no exceda el valor resultante de la suma del Costo de Disposición Final definido en el ARTÍCULO 28 y el Costo de Tratamiento de Lixiviados por escenario definido en el ARTÍCULO 32, por cada tonelada. Dichos costos corresponden a la disposición final y tratamiento de lixiviados del municipio y/o distrito donde se pretenda emplear la alternativa.”*

Según se ha visto en la práctica, con la restricción del artículo 31 mencionado, los municipios colombianos no se ven impulsados a desarrollar proyectos WtE. Para hacerlo tendrían que contar con el apoyo de los gobiernos nacional y departamental, posibilitando aumentos o subsidios para las tarifas mencionadas, generando transferencias y aportes condonables,

facilitando así que los municipios propongan y ejecuten proyectos WtE que sean viables económica y financieramente. Es decir, en Colombia debe existir una ley similar a la ley de Metros (Ley de transporte masivo que permite que las ciudades propongan proyectos donde el gobierno nacional aporta hasta el 70% de la inversión), pero en este caso, sería para la gestión integral y sostenible de los RSM, en especial para los proyectos que hacen una disposición final que protege el aire, el agua, el suelo y las generaciones futuras.

Al respecto, comentan los expertos consultados:

- Mediante alianzas público- privadas se puede gestionar que haya incentivos para los actores que prestan servicio de disposición y transporte para los rellenos sanitarios. Por ejemplo: una tasa que reconozca en la formula tarifaria la disposición de estos residuos las tecnologías de aprovechamiento novedosas.
- Los Tipping fees locales son muy bajos comparándolos con los del mundo, las tarifas de energía son atractivas, pero tienen una volatilidad alta, es por ello que es mejor asegurar la venta de energía mediante PPA (contratos de ventas de energías) y no por bolsas, por la volatilidad de los precios en bolsa.

### **Viabilidad territorial**

La viabilidad territorial se refiere a la capacidad de un territorio para sostener y facilitar un proyecto, actividad o desarrollo de manera sostenible, en función de sus características y recursos. Se analiza considerando los siguientes aspectos:

- Factores físicos: La topografía, el clima, la calidad del suelo, el acceso a recursos hídricos y energéticos, entre otros aspectos que determinan si el entorno natural es apto para el uso con WtE.
- Factores urbanos: La disponibilidad y el uso de la tierra que habiliten los proyectos WtE.

Las ciudades grandes y medianas de Colombia disponen de muy pocos terrenos para hacer nuevos rellenos sanitarios. Además, otros actores como los constructores de vivienda, centros comerciales, centros recreativos, hoteles, etc., se han adelantado en la compra de tierras y los municipios tienen que buscar cada vez más lejos y fuera de su jurisdicción los terrenos para eventualmente construir un nuevo relleno. Esto actúa a favor de los proyectos WtE, que requieren espacios mucho menores, en las ciudades grandes y medianas que son capitales de departamento.

En los municipios pequeños, especialmente de las regiones del Atlántico y Pacífico de Colombia, se dispone de mayor disponibilidad de terreno para botaderos. Como en estos municipios se desea desarrollar el ecoturismo, es importante que cuenten con tratamiento apropiado del agua potable, de las aguas residuales y de los RSM. Son regiones donde se están promoviendo proyectos turísticos y de infraestructura, lo que hace que se incremente

la generación de residuos. Parece razonable sugerir que en estas regiones se apliquen las tecnologías WtE, Hacerlo a corto plazo, va ser más económico que hacerlo cuando el problema haya alcanzado la magnitud que tiene en las grandes ciudades de Colombia, como Bogotá, Medellín y Bucaramanga.

Por ejemplo, hoy la ciudad de Medellín ha puesto en operación la segunda planta de tratamiento de aguas residuales para evitar más contaminación del Río Medellín y continuar con el programa de recuperación de dicho río. ¿Cuándo se debe empezar a hacer lo mismo para los ríos Atrato, San Juan, Meta, Putumayo, Magdalena, Vaupés, entre otros? Así, buscando evitar que alcancen el grado de contaminación del Río Bogotá y del Río Medellín. En las áreas metropolitanas, que agrupan varios municipios, ninguno de ellos quiere albergar el relleno sanitario a donde todos llevan los RSM. Por ejemplo, el Área Metropolitana de Medellín dispone de un relleno sanitario en el cercano Municipio de Don Matías. Este municipio no pertenece al selecto grupo que conforma el área metropolitana mencionada. Si hoy se consultara a la comunidad y al alcalde de ese municipio ¿Si permitiría que se construyera otro relleno sanitario en su jurisdicción para recibir los RSM de 10 municipios que se encuentran a 60 km de distancia de la ciudad de Medellín?

### **Falta de políticas a nivel municipal y departamental**

Si los municipios y los departamentos de cada país de LAC, preparan una política regional y local enmarcada dentro del plan nacional de gestión de los RSU y de los compromisos internacionales del gobierno nacional en cuanto a cambio climático y gestión de RSU, los beneficios en el mediano y largo plazo se pueden clasificar en tres categorías.

- Medio ambiente
- Energía y cambio climático
- Desarrollo de la economía local y regional
- Cultura

Desde el medio ambiente, para evitar promover la construcción de más rellenos sanitarios con todos sus negativos impactos ambientales.

Desde el cambio climático, para evitar la generación y liberación de gases de efecto invernadero en los botaderos y vertederos. El balance de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente claramente favorece los sistemas WtE en comparación con los rellenos sanitarios.

Desde la energía, para promover la generación de biogás, electricidad y calor, aprovechables en otros procesos.

Desde la economía, se genera empleo, se crean actividades económicas en la región y disminuye la informalidad en la gestión de RSM.

Desde la cultura, se generan costumbres de orden y aseo, de buenas prácticas, de aprovechamiento y ahorros, de clasificación, de disciplina social.

## **Viabilidad económica financiera**

La viabilidad financiera y la viabilidad económica son conceptos importantes en el análisis de proyectos y decisiones de inversión. Ambos conceptos están relacionados con la capacidad de un proyecto o empresa para mantenerse en el tiempo, pero se centran en aspectos distintos:

### **Viabilidad financiera**

La viabilidad financiera se refiere a la capacidad de un proyecto o empresa para cubrir sus obligaciones financieras a corto y largo plazo, es decir, su habilidad para generar el flujo de efectivo necesario para pagar deudas, gastos operativos y otros compromisos financieros. Es un análisis que se centra en si el proyecto puede contar con la liquidez y los recursos suficientes para operar sin caer en problemas de falta de financiamiento.

Ejemplo: una empresa puede tener viabilidad financiera si cuenta con el capital y flujo de efectivo para cubrir sus gastos operativos, como salarios y costos de producción, además de poder cumplir con sus pagos de deudas.

### **Viabilidad económica**

La viabilidad económica, en cambio, evalúa si un proyecto o inversión generará beneficios superiores a sus costos, en términos de rentabilidad y generación de valor en el tiempo. Se enfoca en analizar si, a lo largo de la vida del proyecto, los ingresos proyectados superarán los costos de operación, inversión y otros gastos necesarios para su funcionamiento. Esta viabilidad suele calcularse a través de indicadores como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Ejemplo: un proyecto tiene viabilidad económica si el beneficio total esperado supera el costo total de inversión y operación, generando un retorno positivo para los inversionistas.

La diferencia clave entre ambas es que la viabilidad financiera se centra en la capacidad de un proyecto para manejar sus flujos de caja y cumplir con sus compromisos de pago, mientras que la viabilidad económica se enfoca en evaluar si el proyecto es rentable y si generará valor a largo plazo. En otras palabras, la viabilidad financiera considera la capacidad de solventar gastos inmediatos y mantener la operación, y la viabilidad económica valora si, en general, el proyecto o empresa aportará un beneficio económico neto.

Ambas son necesarias para determinar si un proyecto es sostenible y atractivo para inversionistas o financiadores.

La generación de empleo y los efectos en competitividad se contemplan principalmente en el análisis de viabilidad socioeconómica de un proyecto, que es una extensión del análisis económico y financiero. Este análisis considera los impactos que el proyecto puede tener en la comunidad, en la economía local o regional, y en el mercado. Estos aspectos incluyen beneficios que no necesariamente se reflejan de manera directa en los ingresos o costos

financieros del proyecto, pero que aportan valor a la sociedad y pueden justificar el apoyo o la aprobación del proyecto.

Aquí se detalla cómo cada uno de estos aspectos se incorpora en la evaluación de un proyecto:

#### **a. Generación de empleo**

La generación de empleo es un efecto positivo en la economía local que se puede incluir en el análisis de viabilidad socioeconómica. Este análisis estima cuántos empleos directos e indirectos creará el proyecto y cómo contribuirá al desarrollo económico de la comunidad.

- Empleos directos: puestos de trabajo generados dentro del proyecto, como en su construcción, operación, o mantenimiento.
- Empleos indirectos: trabajos creados en industrias y servicios que apoyan al proyecto, como proveedores de materiales o servicios de transporte.

La generación de empleo suele valorarse no solo en términos de cantidad, sino también de la calidad del empleo (niveles salariales, duración, capacitación). A menudo, este factor ayuda a que un proyecto gane apoyo social o respaldo gubernamental.

#### **b. Efectos en la competitividad**

Los efectos en la competitividad se refieren a cómo un proyecto puede mejorar la posición competitiva de la economía o la industria donde se desarrolla. Esto puede implicar el fortalecimiento de infraestructura, mejora en la tecnología, capacitación del personal, y mejor acceso a mercados. Un proyecto que promueva la competitividad puede reducir costos en el mercado, atraer nuevas inversiones o fomentar la innovación, lo cual beneficia a la industria en el largo plazo.

Por ejemplo,

- Incremento en eficiencia: un proyecto que reduce los costos operativos o mejora la productividad de la industria puede hacerla más competitiva.
- Innovación: proyectos que introducen nuevas tecnologías o prácticas innovadoras pueden dar ventaja competitiva a nivel regional o nacional.

Estos elementos se consideran en el análisis de viabilidad socioeconómica a través de indicadores como el impacto social, el impacto en el desarrollo regional, o el valor agregado. Aunque algunos aspectos pueden aparecer en el análisis de viabilidad económica, los beneficios en generación de empleo y competitividad tienden a integrarse de forma más explícita cuando se evalúa el impacto del proyecto desde una perspectiva más amplia, que considere no solo la rentabilidad, sino también los beneficios sociales y estratégicos.

### **El monto de las inversiones iniciales y requeridas**

Existe una potencial e importante dificultad adicional, aun en el caso de que se logre que la dirigencia política y los funcionarios de los municipios, departamentos o del gobierno nacional, comprendan y acepten los beneficios sociales, económicos y ambientales, asociados a los proyectos de valorización de residuos y WtE. En la realidad se ha visto que no se logra todavía el desarrollo de estos proyectos. Se pasa a una etapa de negación del proyecto, dado que se lo considera como una imposibilidad, dados los montos de la inversión inicial, argumentando que es demasiado alta, por fuera de las capacidades existentes.

En este sentido es importante señalar que, sin el conocimiento o la existencia de un estudio de prefactibilidad comparativos y de costo beneficio, que debe ser previamente elaborado, de modo que se permita conocer cuál es la tecnología más aplicable y el costo de inversión del proyecto, no puede declararse que no sea factible llevar a cabo la inversión. Es importante crear una conciencia y una disciplina para incluir en estos análisis los aspectos ocultos, intangibles, buscando formas de que sen incluido en la valorización del proyecto.

Por ejemplo, en Colombia, una planta de biogás, cuyos equipos electromecánicos se importan de Europa, que procese alrededor de 100 ton/día de residuos orgánicos, puede requerir una inversión inicial de 10 millones de euros, valorando el euro a \$COP 4.500, implica una inversión de 45.000 millones de pesos colombianos. Pretender que este proyecto se recupere, considerando la venta de los subproductos como la electricidad y el bioabono, en pocos años, no es factible. Es importante considerar dentro del balance de beneficios, la valoración los beneficios sociales, económicos y ambientales del proyecto, cuando se evita que 100 ton/día sean depositadas en un botadero a cielo abierto o en cuerpos de agua. También deben ser considerados adecuadamente los beneficios de empleo, de desarrollo de tecnología, de cultura, del orden, del aseo.

Afortunadamente, los fabricantes de los equipos para las plantas WtE están haciendo avances tecnológicos que disminuyen los precios de las tecnologías WtE, permitiendo que puedan ser pagadas por los países en desarrollo. Es importante dar la oportunidad al arranque de proyectos localmente, gestionando la participación creciente de fabricantes y de tecnología en ingeniería locales. Igualmente hay que evolucionar mentalmente, en cuanto al beneficio de repartir subsidios a personas desempleadas o pobres, en comparación a utilizar en parte estos fondos para impulsar la sostenibilidad de los proyectos de valorización.

Por lo dicho anteriormente, no se puede concluir que Colombia y los países Latinoamericanos no tienen dinero para invertir en tecnologías WtE. Lo importante parece ser contar con una mayor conciencia de los beneficios y diseñar estrategias como las señaladas para racionalizar y nacionalizar los costos y las inversiones.

Entonces, ante estas situaciones, es importante el análisis de cuáles deben ser los procedimientos que permitan definir técnicamente, ambientalmente y socialmente, los proyectos que requiere un municipio, departamento y un país, considerando todos los beneficios y costos, tangibles e intangibles, evitando que se adelanten estos proyectos de

forma mediocre o con visos de corrupción, dando lugar a que no funcionan bien y velando por la participación de las empresa, la ingeniería y la tecnología locales para racionalizar sus inversiones y costos y generar prosperidad nacional y empleo.

Al respecto opinan los expertos consultados:

- La restricción financiera existe y la clave para resolverla puede ser el desarrollar alianzas tipo APP, estableciendo contratos con ventas de electricidad a precios razonables, en esencia similares a los que pagana los beneficiarios de la energía usuarios. Se complementan los ingresos de los proyectos con la colocación de bonos de carbono, tasas por tratamiento de residuos especiales, y mejores tipping fees). En esta forma se puede lograr el cierre financiero garantizando una TIR adecuada.
- Para que el proyecto sea rentable parece necesario apalancar la inyección necesaria. El Estado nacional, regional o local debería aportar un capital semilla del 30% del CAPEX a fondo perdido. Un proyecto así bien concebido, con sistemas tecnológicos razonables, que no superen en sus inversiones de CAPEX los 600 dólares por tonelada anual de residuos, puede ser atractivo para un inversionista que aporte el resto del CAPEX, que podría recuperar con una TIR atractiva. Para inversiones superiores a los 600 dólares por tonelada anual, es posible que se requiera mayor porcentaje de apalancamiento o contar con mayores ingresos por electricidad, bonos de carbono o tipping fees.
- Hay que trabajar para lograr una conciencia que el costo actual para la disposición de residuos es bajo, que no se tienen en cuenta los pasivos ambientales (gases efecto invernadero, factores sociales, etc.). No se puede comparar estos proyectos tecnológicos con los rellenos sanitarios. Deberían tener una variable adicional que les permite tener el cierre financiero, debido a que son tecnológicamente más complejos y sofisticados.
- El estado debe apalancar el desarrollo de la infraestructura para la valorización energética, con un 30% al menos. Se necesita un concurso de todos los actores de los diferentes niveles para sacar adelante estos proyectos.
- La gestión de residuos en Latinoamérica tiene costos bajos (relacionados con los tipping fees) de menos de USD 8 por Tonelada, comparándolos con países del norte (Europa, EE UU) con tarifas mayores de USD 100-150 por tonelada para disposición final, estos costos permiten tener plantas de valorización energética en vez de rellenos sanitarios.
- Las alternativas que se apoyen en desarrollo de proyectos piloto y de investigación y desarrollo, necesitan inversiones suficientes y persistencia en el tiempo, que las sostengan hasta que los resultados se presenten. Hay países como China que le han apostado a desarrollos propios, basado en buena parte en estos desarrollos de tecnología, obteniendo éxitos probados al cabo de 10 a 20 años de trabajo, que continúa y que hace que China se haya convertido en un país líder en estos campos. Sin embargo, en el medio local no se tienen suficientemente estas visiones. Por ello parece que lo normal es que se opte por tecnologías que estén aprobadas a nivel comercial. Inclusive para proyectos piloto, seguramente se va a buscar que se hagan

con tecnologías ya probadas. Dado que las tecnologías WTE de gran envergadura e inclusive pequeñas se consideran que ya están probadas con un nivel de incertidumbre bajo, será difícil seguir la ruta de los desarrollos propios. No obstante lo anterior, hay que tener una visión de CTi también.

- Como no se tienen en cuenta los perjuicios económicos y ambientales generados por la disposición de los residuos en rellenos sanitarios, primeramente, estos no se cuantifican ni son tenidos en cuenta financieramente para los proyectos de generación de energía y los ambientales no son incluidos en la tarifa y se convierten en una amenaza silenciosa que más adelante la naturaleza lo cobra paulatinamente mediante la disminución de la calidad de vida.
- Por ello los beneficios de las nuevas tecnologías de valorización de RS deben de ser asumidos por todos los usuarios porque estos están beneficiando a mejorar la calidad de vida de todas las personas, es por ello que la tarifa debe tener 2 componentes, el componente básico (costo del proceso el cual estaría dispuesto y puede pagar el usuario), el segundo componente social y económico (debe ser asumido por todos).
- Mientras exista la opción de relleno sanitario, se llega a que no se tenga que pagar la deuda social y ambiental por disponer los residuos. De seguir usando los rellenos como única alternativa, es posible que se llegue recurrentemente a preocupantes emergencias ambientales.

#### 4 GESTIÓN DE RIESGOS

Un análisis de riesgos de un proyecto Waste to Energy (WtE), que convierte residuos en energía, considera los factores que pueden afectar el éxito y la sostenibilidad del proyecto. Aquí se presenta una descripción de los principales riesgos asociados con este tipo de iniciativa.

##### **Riesgo ambiental**

- Contaminación del aire: La combustión de residuos puede generar emisiones de gases contaminantes como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxidos de carbono, y partículas finas. Si no se cuenta con tecnología de filtrado adecuada, existe el riesgo de afectaciones a la calidad del aire, lo cual puede derivar en multas o cierres del proyecto.
- Generación de cenizas y residuos tóxicos: La combustión o tratamiento de residuos puede producir cenizas volátiles y materiales peligrosos. Manejar y disponer de estos residuos de forma segura es esencial para evitar impactos en el suelo y el agua.
- Riesgo para la biodiversidad: La ubicación de la planta podría afectar a la flora y fauna local, especialmente si se ubica cerca de hábitats sensibles sin las debidas precauciones.

##### **Riesgo tecnológico**

- Dependencia de tecnología compleja: Las plantas WtE requieren de tecnología avanzada para el tratamiento eficiente de residuos y la generación de energía.

Problemas con la tecnología o la falta de mantenimiento pueden llevar a interrupciones en la operación o a un funcionamiento ineficiente.

- Fallas en el equipo y mantenimiento: La maquinaria utilizada puede desgastarse rápidamente debido a los materiales de residuos sólidos municipales, lo que aumenta los costos de mantenimiento y riesgo de paradas operativas.
- Actualización tecnológica: La tecnología de WtE avanza rápidamente, y si el proyecto no incorpora las mejores prácticas y desarrollos, puede quedar obsoleto rápidamente, afectando su competitividad.

### **Riesgo económico y financiero**

- Altos costos de inversión inicial: El establecimiento de una planta WtE requiere una inversión significativa en infraestructura, permisos, y tecnología, lo que aumenta el riesgo de retorno si el proyecto no se lleva a cabo de acuerdo a lo planeado.
- Dependencia de incentivos gubernamentales: Muchos proyectos de WtE dependen de subsidios o incentivos fiscales para ser rentables. Cambios en la política gubernamental o la eliminación de incentivos pueden afectar la viabilidad financiera.
- Volatilidad de precios de la energía: La rentabilidad del proyecto puede estar afectada por la fluctuación en los precios de la energía en el mercado, ya que podría hacer que la energía generada no sea competitiva.

### **Riesgo social y comunitario**

- Oposición comunitaria: Las comunidades locales pueden mostrar resistencia debido a preocupaciones sobre la salud, el medio ambiente, y la calidad de vida. La falta de aceptación social puede llevar a retrasos, mayores costos y conflictos.
- Riesgo de salud pública: Si la planta no cuenta con la tecnología adecuada para minimizar las emisiones, los problemas de salud en la comunidad pueden dar lugar a sanciones y afectar la reputación del proyecto.
- Impacto en la economía local: Si la planta atrae recursos (agua, energía, espacio) que podrían estar destinados a otros sectores, o si afecta negativamente a negocios locales, podría generar conflictos y descontento.

### **Riesgo legal y regulatorio**

- Cumplimiento normativo: El proyecto debe cumplir con diversas regulaciones ambientales y de salud, las cuales pueden variar o volverse más estrictas con el tiempo. Incumplimientos pueden llevar a sanciones o incluso a la clausura de la planta.
- Cambio en políticas gubernamentales: Modificaciones en las leyes de gestión de residuos, energía renovable, o impuestos podrían hacer el proyecto inviable o afectar sus finanzas. Cambios en normativas locales también podrían limitar las operaciones.

### **Riesgo operativo**

- Calidad y consistencia de los residuos: La variabilidad en la cantidad y tipo de residuos que llegan a la planta puede afectar el rendimiento de la generación de energía y generar costos imprevistos en la operación.
- Seguridad y riesgos laborales: La operación de una planta WtE conlleva riesgos laborales debido a la manipulación de materiales potencialmente peligrosos. Accidentes o condiciones inseguras pueden retrasar el proyecto y aumentar los costos.

### **Riesgo de mercado**

- Competencia en generación de energía: La competencia con otras fuentes de energía, como la solar o eólica, que pueden tener costos menores, podría afectar la rentabilidad del proyecto.
- Cambios en la disposición final de residuos: Si las regulaciones o políticas sobre reciclaje o reducción de residuos cambian, podría afectar la cantidad de materiales disponibles para el proyecto, lo cual impactaría su producción de energía.

### **Medidas de mitigación**

- Tecnología de control ambiental avanzada: Implementar sistemas de filtración y control de emisiones que cumplan con las normativas ambientales más exigentes.
- Mantenimiento regular y actualización tecnológica: Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y considerar la actualización de tecnologías para mantenerse competitivos.
- Análisis financiero robusto y diversificación de fuentes de ingreso: Realizar estudios de viabilidad económica detallados y explorar acuerdos a largo plazo con proveedores de residuos y compradores de energía.
- Plan de comunicación y participación comunitaria: Involucrar a la comunidad desde el inicio, mostrando transparencia y los beneficios ambientales y económicos del proyecto.
- Plan de gestión de residuos: Asegurar un suministro consistente de residuos y adaptarse a la composición variable para mantener la operación estable.
- Gestión del riesgo legal y cumplimiento normativo: Trabajar en conjunto con asesores legales y cumplir con las normativas locales e internacionales para evitar problemas regulatorios.

Realizar este análisis ayuda a anticipar, minimizar, y manejar los riesgos, aumentando así la probabilidad de éxito de un proyecto Waste to Energy.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a los siguientes expertos que fueron consultados mediante preguntas y entrevistas estructuradas y a quienes se entregó una versión inicial de este trabajo.

- Luis Oliverio Cárdenas. Ex gerente de Empresas Varias de Medellín
- Carlos Velázquez. Ha sido ingeniero en plantas de fabricación de equipos para valorización de residuos en Suiza
- Gabriel Vélez. Gerente de operaciones de Empresas Varias de Medellín
- Mauricio González. Responsable de la gestión integrada de Residuos Sólidos Municipales en Empresas Públicas de Medellín
- Juan Pablo Restrepo – Ingeniero. Ha trabajado en Empresas Públicas de Medellín y tiene maestría en valorización térmica de residuos
- Luis Guillermo Vélez – Economista experto en regulación de servicios públicos y concejal de Medellín

Se agradece también a Luis Alexander Aristizábal Parra, estudiante de ingeniería mecánica de la Universidad de Antioquia en práctica formativa y socio estudiante de la SAI, quien estuvo colaborando en la recopilación de la información recogida en las entrevistas, facilitando tenerlas en cuenta en este trabajo

## REFERENCIAS

- [1]. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/residuos-solidos> Consultado en 2024
- [2]. <https://www.meuresiduo.com/blog-es/una-vision-general-de-los-residuos-solidos-en-nuestro-planeta/> Consultado en 2024
- [3]. <https://www.statista.com/statistics/1336513/global-generation-of-municipal-solid-waste-per-capita-by-country/> Consultado en 2024
- [4]. Posada, Enrique. Inteligencia Estratégica en la solución del problema de los desechos sólidos en Colombia. Presentada en la V Conferencia Panamericana de Aprovechamiento de Residuos. SAI. Medellín, 2024. <https://es.slideshare.net/slideshow/inteligencia-estrategica-en-la-solucion-del-problema-de-desechos-solidos-en-colombia-pdf/267706836>
- [5]. <https://wtert.org/> En esta página web se consigue abundante información sobre los temas de residuos sólidos municipales.
- [6]. <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-gestion-institucional-gestion-de-residuos-solidos-aprovechamiento>. Consultado en 2025