



# Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos

---

**Análisis de Tecnologías de Riesgo**

**GAIA**

**Marzo de 2017**

**Informe disponible en: <http://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Gasificación-y-pirólisis-2017-ESP.pdf>**

**Autores principales: Neil Tangri y Monica Wilson.**

**Agradecemos la asistencia y revisión proporcionada por: Shlomo Downen, Jane Bremmer, Bradley Angel, Anne Larracas, entre otros.**

**Traducción al español: David Gatica y Franco Salas**

## Resumen ejecutivo

La gasificación y la pirólisis pretenden transformar residuos sólidos en gas o combustibles de síntesis a través de la combustión, lo que significa que están regulados en Estados Unidos y la Unión Europea como incineradores de residuos. Hay compañías que han estado experimentando con estas tecnologías por más de tres décadas. En este informe se considera que, a pesar de que existe poca información disponible acerca de las operaciones en instalaciones comerciales tentativas, existen muchos ejemplos de plantas que se vieron forzadas a cerrar debido a fallas técnicas y fracaso financiero. Además, otros proyectos han fracasado en la fase de propuestas, luego de recaudar fondos significativos, debido a la oposición de la comunidad y la fiscalización del gobierno ante afirmaciones falsas y exageradas.

Se han invertido más de 2 mil millones de dólares solo en los proyectos que figuran en este informe, todos los cuales fueron cerrados o cancelados antes de comenzar las operaciones. Dentro de las compañías involucradas se incluye a Air Products & Chemicals, Thermoselect, Plasco, Compact Power, Caithness, Interserve y Brightstar.

Los desafíos técnicos y económicos de los proyectos de gasificación incluyen el incumplimiento de la producción energética estimada, de la generación de ingresos y de los objetivos de emisión. Históricamente, las plantas de gasificación también han buscado subvenciones públicas con el propósito de ser rentables. En concreto, los proveedores buscan subvenciones para energías renovables; sin embargo, tales instalaciones emiten dióxido de carbono a partir de materiales derivados de fuentes de combustible fósil como los residuos de plástico y carbón, contrario al propósito de “energía renovable”.

**Se concluye que los beneficios potenciales de la gasificación de residuos son menores y más inciertos, y los riesgos son mucho mayores de lo que sus proponentes afirman.** Los programas municipales que se basan en estrategias de prevención y separación de residuos, reciclaje y compostaje intensivo, y el rediseño de productos que no pueden volver a la cadena productiva, han demostrado tener éxito económico y técnico.

# Introducción

Mientras el mundo lidia con cantidades cada vez más grandes de residuos, los empresarios y los gobiernos locales están buscando nuevas maneras de manejar y disponer los residuos sólidos, que incluyen una sorprendente variedad de plásticos y materiales compuestos. Existe un renovado interés por la gasificación y la pirólisis en algunas regiones del mundo, que, a pesar de ser procedimientos conocidos, apuntan a reducir radicalmente el volumen de residuos mientras generan energía. Sería conveniente que los inversionistas que puedan estar interesados en apoyar estas prácticas, sobre todo en países en vías de desarrollo, investigaran los proyectos previos y el impacto de los resultados en los sistemas de gestión de los residuos a nivel local.

Este documento analiza las afirmaciones de los proponentes respecto de las tecnologías, los problemas registrados en las instalaciones operativas, y también ofrece una guía para los inversionistas y reguladores potenciales.

## ¿Qué son las tecnologías de gasificación y pirólisis?

La gasificación y la pirólisis son procedimientos de alto consumo energético que intentan reducir el volumen de residuos convirtiéndolos en gas o combustibles de síntesis a través de la combustión. La gasificación de residuos está clasificada como una forma de incineración por la Unión Europea y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (según los artículos de ley EU Directive 2010/75EU Art 3.40; USA 40 CFR §60.51a, respectivamente) ya que incluye el tratamiento termal de los residuos y en la mayoría de los casos conduce a la combustión de los gases resultantes (ya sea in situ o como combustible distribuido).

La **gasificación** somete los residuos sólidos a altas temperaturas (generalmente sobre los 600°C) en un ambiente casi sin oxígeno. Los niveles de oxígeno se mantienen bajos para prevenir una combustión inmediata; en lugar de eso, la parte a base de carbono de los residuos sólidos se descompone en gas de síntesis (syngas) y un remanente sólido conocido como escoria, ceniza o residuo de carbón. Cabe señalar que las operaciones en condiciones casi sin oxígeno o sin oxígeno (publicitadas por muchos proveedores) son difíciles de llevar a cabo durante las operaciones a escala comercial. El syngas se compone principalmente de monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de carbono, con contaminantes<sup>[1]</sup>; además, tiene el valor calorífico suficiente para ser quemado y transformado en energía, pero requiere sistemas avanzados de control de la contaminación (APC por sus siglas en inglés)<sup>[2]</sup>. A menudo, las instalaciones operativas no logran producir la energía suficiente para ser económicamente rentables<sup>[3]</sup>. Los bioproductos derivados a partir de estos procedimientos comprenden emisiones atmosféricas, escorias (una forma de residuo sólido), cenizas volantes del equipo de control de contaminación del aire (que requiere manejo especial debido a su toxicidad) y residuos líquidos y/o aguas residuales.

La **pirólisis** es una propuesta similar, la cual aplica calor sin añadir oxígeno con el fin de generar combustibles y/o syngas (al igual que productos sólidos residuales) y requiere un flujo de residuos más homogéneo. Algunos proveedores ofrecen instalaciones más pequeñas para la generación de combustible, comparado con los proveedores de gasificación corriente (consulte "Propuesta residuos para combustible").

El **arco de plasma** aplica una temperatura más alta en los procedimientos de gasificación, y ocasionalmente en los de pirólisis. Este es un procedimiento de mayor energía que la gasificación y la pirólisis, además de que incrementa la barrera de los costos.

Las diferencias entre cada uno de estos procedimientos no siempre son claras<sup>[5]</sup>, existen variaciones dentro de cada propuesta general y, a menudo, los proveedores afirman que sus procedimientos tienen características únicas.

La mayoría de las tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos municipales mixtos intentan tratar grandes cantidades de residuos en flujos mixtos heterogéneos. Esto puede ser atractivo para los gobiernos que no quieren separar los residuos desde su origen y buscan una sola solución tecnológica. Sin embargo, la propuesta de buscar una tecnología fija para el tratamiento de residuos mixtos presenta desafíos únicos y no es tan rentable como las estrategias de separación de residuos más exhaustivas. Las tecnologías de gasificación, pirólisis y arco de plasma se aplican principalmente para flujos de residuos homogéneos. La naturaleza heterogénea de los residuos municipales no se ajusta bien a este tipo de tecnologías.

## La propuesta de “residuos para combustible”

Algunas compañías proponen el uso de la pirólisis y la gasificación para transformar los residuos en combustibles que podrían quemarse en otras instalaciones, un procedimiento que no ha sido aplicado exitosamente a gran escala. Esto requeriría etapas adicionales para limpiar los gases con el fin de que el combustible funcione, y estas etapas son de gran consumo energético, lo que reduce la eficiencia general <sup>[4]</sup>. Una propuesta de este tipo plantea preocupaciones adicionales acerca de las emisiones y la supervisión de éstas dado el uso intrínsecamente distribuido de tales combustibles. Asimismo, las instalaciones de combustión más pequeñas no están equipadas generalmente con equipos de control o supervisión de la contaminación atmosférica que se requieren en las grandes instalaciones centralizadas. Esto puede generar emisiones excesivas de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) tales como dioxinas y policlorobifenilos (PCBs); plomo, arsénico, mercurio y metales pesados; hidrocarburos aromáticos policíclicos, como los que se producen por la combustión de retardantes de llama y otros contaminantes sujetos a control reglamentario. Cuando tales combustibles son distribuidos para diferentes usos en vehículos o calderas, por ejemplo, las emisiones fuera de las instalaciones pueden ser casi imposibles de monitorear.

## Biogás

La digestión anaeróbica y otros procesos biológicos similares son descritos a veces como “residuos para energía” porque estas tecnologías generan biogás a partir de materiales orgánicos como restos de comida o plantas. Al ser procesos biológicos, a diferencia de los procesos termales, se encuentran fuera del alcance de este documento.

Un estudio de 2008 realizado en EE.UU. <sup>[6]</sup> para una agencia de gobierno examinó una gran variedad de tecnologías de gasificación y arco de plasma y descubrió que estos procedimientos no están probados a escala comercial para el tratamiento de Residuos Sólidos Municipales (RSM) en EE.UU. También se encontró que los residuos sólidos y líquidos pueden ser peligrosos y, además, esas tecnologías requieren un pre-tratamiento de residuos y son más costosos que la incineración convencional o el relleno sanitario.

La gasificación tiene un largo historial de más de tres décadas de afirmaciones de los proveedores acerca de la conveniencia de la tecnología para el tratamiento de residuos <sup>[7]</sup>. Desafortunadamente, las plantas de gasificación tienen muy poca información operacional disponible <sup>[8], [9], [10], [11]</sup>. Los proponentes de proyectos utilizan habitualmente datos proyectados o de referencia, pero la breve historia operacional de la mayoría de las instalaciones y la falta de monitoreo constante hacen que sea imposible llevar una verificación posterior de esas referencias o incluso los cálculos básicos de masa y balance energético <sup>[12]</sup>.

En comparación con los procedimientos de gasificación, pocas instalaciones han intentado usar los procedimientos de pirólisis y arco plasma a una escala similar <sup>[13]</sup>. Al igual que con la gasificación, existe poca información disponible. La información acerca de algunas instalaciones se incluye en los casos dentro de este documento.

La información existente muestra que docenas de proyectos han fracasado, debido a diferentes razones técnicas o financieras, como las que se discuten más adelante. Estos fracasos resaltan una incapacidad generalizada para cumplir con la generación de energía estimada, la generación de ingresos y los objetivos de emisiones, o simplemente una operación continua y constante. Los aprendizajes primordiales que cabe destacar son que los beneficios de la gasificación de residuos son menores y más inciertos, y los riesgos son mucho mayores de lo que sus partidarios afirman.

## Inversiones públicas en gasificación y pirólisis en el Reino Unido

El Reino Unido presenta un caso de estudio interesante de las inversiones públicas en estos procedimientos debido a una serie de incentivos ya expirados que apoyaban el financiamiento de nuevas plantas de gasificación, pirólisis y arco de plasma. En 2006, el Departamento de Medio ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA por sus siglas en inglés) comenzó el Programa de Demostración de Nuevas Tecnologías (NTDP por sus siglas en inglés) con el fin de “superar el riesgo percibido de implementar nuevas tecnologías en Inglaterra y entregar información técnica, medioambiental y económica precisa e imparcial” <sup>[14]</sup>. El NTDP tenía la intención de gastar 32 millones de libras <sup>[15]</sup> en 10 proyectos <sup>[16]</sup>. Los proyectos resultantes eran posteriormente evaluados y se determinó que eran ampliamente infructuosos: <sup>[17]</sup> de los cuatro proyectos de gasificación y pirólisis, dos no llegaron al estado operacional durante el programa, el tercero fue incapaz de funcionar lo suficiente como para estudiar los procedimientos y se cerró <sup>[18]</sup>, y el cuarto proyecto tenía varios problemas y permanece en etapa de reconstrucción <sup>[19], [20]</sup>.

Las tentativas de implementar la gasificación en el Reino Unido dependen de altas tarifas para depositar basura y subvenciones públicas para financiar las operaciones. Sin embargo, las opciones de subvención pública a futuro parecen limitadas; además, estas tecnologías están excluidas del programa de tarifa regulada del Reino Unido. El sistema de certificados de utilización de energía renovable ofrece una segunda oportunidad de financiamiento, pero este programa no aceptará nuevas capacidades de generación eléctrica después de marzo de 2017. Un nuevo programa nacional de gobierno conocido como Contrato por Diferencia todavía está aceptando postulaciones para proyectos que proponen gasificación a corto plazo, pero aún tiene que tomar la decisión de incluir la gasificación en los próximos años.

# Riesgos y desafíos

## Riesgos tecnológicos y desafíos operacionales

Décadas de intentar emplear la gasificación, la pirólisis y el arco de plasma en el tratamiento de residuos municipales han expuesto las complicaciones que subyacen a estas estas propuestas, que se evidencian en la alta tasa de fracaso de estas plantas.

De las instalaciones a escala comercial que se han establecido en Europa, Reino Unido, Canadá y EE.UU., muchas han tenido problemas para mantener un funcionamiento regular y producir la energía suficiente para permanecer en el negocio <sup>[21]</sup>.

Las operaciones han sido afectadas por razones técnicas que incluyen:

- La incapacidad de cumplir con los límites de control de contaminación (descritos en la sección “Riesgos medioambientales”),
- El daño corrosivo al equipamiento (como el colapso del techo y la chimenea de acero de una planta de gasificación en Hamm-Uentrop, Alemania. Consulte la sección “Riesgos medioambientales”),
- Los problemas para mantener temperaturas de reacción adecuadas, y
- La ineficiencia energética.

La gasificación se utiliza más ampliamente con combustibles homogéneos como el carbón o las astillas de madera, pero incluso éstos enfrentan serias dificultades técnicas <sup>[22]</sup>, <sup>[23]</sup>. Un informe realizado en 2010 por la Corporación Internacional Alemana GTZ (hoy GIZ) sobre la gasificación de biomasa concluyó que aunque es “teóricamente una opción interesante para el desarrollo rural”, existen serios desafíos que no están resueltos, específicamente: “no existe tecnología fiable fácilmente disponible. Los altos costos para el desarrollo técnico, las reparaciones y los mantenimientos la hacen poco rentable. Existen amenazas peligrosas para el medioambiente y la salud debido a residuos cancerígenos” <sup>[24]</sup>.

En cambio, los flujos modernos sin separación de RSM son extremadamente heterogéneos, por lo tanto son técnicamente más complejos de tratar y manejar que las astillas de madera. Los flujos de RSM incluyen comúnmente gran parte de residuos alimentarios, residuos de jardín, plásticos, metales, papel, artículos electrónicos, muebles, residuos domésticos peligrosos, etc. Estos residuos también pueden variar según la temporada: por ejemplo, manifestando la fuerte estacionalidad en el contenido de humedad en climas tropicales <sup>[25]</sup>. Puesto que la gasificación trabaja sobre el punto de ebullición del agua, el alto contenido de humedad reduce radicalmente la eficiencia energética de los procedimientos. La variación en la composición y el contenido de humedad de los residuos presenta problemas para mantener operaciones estables, principalmente las temperaturas del recipiente de reacción que son cruciales para la producción de syngas.

La Guía de residuos para energía del Gobierno del Reino Unido describe que el syngas necesita limpiarse antes de quemarse en una turbina a gas o en un motor, y esta limpieza es un procedimiento de alto consumo energético. Este procedimiento general puede ser menos eficiente que la incineración convencional <sup>[26]</sup>.

---

Consulte la lista de casos importantes en la implementación de gasificación, pirólisis y arco de plasma al final de este documento para información acerca de las plantas alrededor del mundo.

La producción de energía fiable es un problema recurrente en las plantas de gasificación. Mientras algunos proveedores de tecnología afirman que el syngas se puede vender como insumo químico, en la práctica, generalmente está demasiado contaminado y diluido para venderse como producto comercial <sup>[27]</sup>. Por el contrario, la mayoría de los proveedores intenta quemar el syngas *in situ* para producir energía; incluso así, muchas empresas consideran que la energía producida es solo un poco más de la necesaria para operar el sistema de alto consumo energético <sup>[28]</sup>. Este problema se ve agravado en los países en vías de desarrollo, donde el flujo de residuos es relativamente mayor en residuos orgánicos (alimentarios o biomasas). Esto se traduce en un syngas con un valor calorífico tan bajo que ni siquiera puede producir energía, lo que demuestra lo inadecuadas que son estas tecnologías para tratar RSM a gran escala en países en vías de desarrollo <sup>[29]</sup>. Incluso en los países desarrollados, con flujos de residuo de alto valor calorífico, las plantas de gasificación enfrentan el desafío de cumplir con los objetivos de producción energética previstos (consulte la sección “Casos importantes” de este documento, que incluyen los casos de Scotgen, Thermosteel y Plasco).

Una propuesta para abordar estos problemas es incinerar los residuos junto con combustibles fósiles. Estos combustibles se añaden a los residuos para la gasificación en al menos algunas plantas en Japón (Hitachi Metals <sup>[30]</sup> & JFE Steel <sup>[31]</sup> agregan coque). Otra propuesta es añadir cantidades relativamente pequeñas de syngas (hasta un máximo de 10%) para quemarlo junto con carbón. No existe información disponible acerca del balance de energía exacto para este tipo de prácticas. Cabe señalar que esta propuesta aumenta la tendencia al uso continuo de combustibles fósiles, lo que aumenta el riesgo regulatorio (descrito más adelante) y debería excluir a estas tecnologías de recibir subvenciones destinadas a energías renovables.

Otra propuesta es el tratamiento previo de los residuos, removiendo material orgánico húmedo e inerte mientras se mantienen los plásticos altamente energéticos en el flujo de residuos. Sin embargo, esto elimina el principal atractivo de la gasificación que es funcionar como tratamiento para todos los residuos <sup>[32]</sup>. Las altas concentraciones de plástico, que también son combustibles fósiles, incrementan la contaminación con alquitrán <sup>[33]</sup>. En este caso, nuevamente se debería eliminar la posibilidad de subvención destinada a energías renovable.

Importantes proponentes de “residuos para energía” reconocen estas deficiencias para implementar los procedimientos de gasificación a los residuos. Tal como escribe Hakan Rylander, ex-presidente de la Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA por sus siglas en inglés) y Gerente General de la Compañía de Residuos en South Scania (Suecia), una compañía de incineración de residuos convencional: “los residuos no son un combustible homogéneo. Hasta ahora resultan ser demasiado heterogéneos para ser tratados con procedimientos de gasificación o pirólisis, independiente de cómo se tratan los residuos previamente. Es absolutamente inaplicable para RSM mixtos con la tecnología de hoy en día. Otro factor negativo es que el balance energético a menudo resulta ser negativo <sup>[34]</sup>”.

No siempre es posible distinguir entre falla técnica o fracaso financiero: muchas plantas dejan de funcionar antes de alcanzar operaciones estables, ya que los costos se vuelven excesivos (consulte “Riesgos financieros”).

## Incineración convencional de “residuos para energía”

La gasificación de residuos, la pirólisis o el arco de plasma tienen desventajas similares a la combustión en incineradores convencionales de “residuos para energía”. El costo es un factor importante ya que se ha expuesto que estas instalaciones son la opción más costosa para el tratamiento de residuos <sup>[35]</sup>. Las consecuencias también incluyen:

- 20% - 30% del peso de los residuos se convierte en ceniza <sup>[36]</sup>. En lugar de evitar el relleno sanitario, la incineración es simplemente un paso previo al enterramiento de los residuos en rellenos sanitarios de residuos que se vuelven más peligrosos a través de la combustión.
- Emisiones intensas de carbono, emisiones de compuestos orgánicos persistentes (dioxinas, furanos, mercurio), metales pesados, material en suspensión, nanopartículas y otros contaminantes <sup>[37]</sup>.
- Un informe realizado en China en 2015 sobre los 160 incineradores de RSM, existentes y en funcionamiento en el país, señala que el 40% de ellos tiene información incompleta de las emisiones atmosféricas y sólo el 8% tiene información disponible para el público respecto de las dioxinas. Dentro de los que tienen información incompleta, el 69% tiene registros de violar las nuevas normas medioambientales <sup>[38]</sup>.

## Riesgos financieros

Muchos proyectos de gasificación han fracasado a causa de la inviabilidad financiera. Los ejemplos incluyen:

- La cancelación en 2016 de dos proyectos de gasificación en Tees Valley, Reino Unido, con los cuales la compañía estadounidense Air Products perdió entre 900 y mil millones de dólares.
- La planta de gasificación Thermoselect en Karlsruhe, Alemania, perdió más de 500 millones en 5 años de operaciones.
- En el Reino Unido, Interserve dejó el campo de “residuos para energía” después de perder 70 millones de libras en proyectos de gasificación, y otras compañías se fueron a bancarrota tratando de crear procedimientos de gasificación o similares, incluyendo Ergos, BCB Environmental, Waste2Energy, Biossence, Compact Power y New Earth Solution Group <sup>[40], [41]</sup>.

Un diario comercial industrial estadounidense publicado en 2013 estimó los siguientes fondos capitales para instalaciones de 15 MW de producción:

Costos estimados (en dólares estadounidenses) <sup>[42]</sup>		
Rango de los costos de capital para cada una de las tecnologías térmicas	Rango bajo	Rango alto
La combustión directa (Combustión en masa y Combustible Derivado de Residuos CDR) oscila entre \$7.000 y \$10.000 dólares por kW	105.000.000	150.000.000
La pirólisis oscila entre \$8.000 y \$11.500 dólares por kW	120.000.000	172.500.000
La gasificación convencional oscila entre \$7.500 y \$11.000 dólares por kW	112.500.000	165.000.000
El arco de plasma oscila entre \$8.000 y \$11.500 dólares por kW	120.000.000	172.500.000

En general, los costos son más altos e inestables de lo que prevén los proponentes de proyectos, y los ingresos son más bajos e inestables. Investigaciones en plantas de Europa concluyen que muchas instalaciones han fracasado debido a problemas económicos, aludiendo a ingresos insuficientes y altos costos en la preparación de los insumos <sup>[43]</sup>. Además, cuando las instalaciones no funcionan como deben o tienen que cerrarse por reparaciones, las compañías con contrato para el tratamiento de residuos deben cubrir gastos para mandar los residuos a otro lugar.

Los altos costos de capital y el alto consumo energético hacen que la gasificación sea poco atractiva financieramente, comparada con otras estrategias de tratamiento de residuos, incluyendo el reciclaje, el compostaje y el relleno sanitario. Con el objetivo de amortizar estos costos, los modelos financieros dependen a menudo del cobro de tarifas para depositar basura (llamadas gate fees en inglés, son costos de eliminación cobrados a generadores de residuos, como las municipalidades). Estos proyectos también necesitan obtener ingresos del syngas. Algunos proveedores de tecnología también afirman que la escoria se puede vender como material de construcción, una práctica que eleva el riesgo y la responsabilidad potencial por impactos en la salud de los habitantes y los trabajadores.

Un problema financiero adicional es el costo de tratar los residuos previamente, ya que cuando se llevan a las plantas de gasificación, suelen ser inapropiados para los procedimientos: contienen mucha humedad, muy poco valor calorífico, o contienen cantidades muy grandes de material inerte. Algunas instalaciones han revelado el uso adicional de combustibles fósiles convencionales, o han agregado un proceso de separación de residuos para crear un insumo apropiado <sup>[44]</sup>, pero esto puede ser un importante costo adicional para las operaciones.

Recientemente, se ha propuesto ofrecer financiamientos públicos adicionales en más países a través de subvenciones e incentivos para energías renovables, como la tarifa regulada (Feed-in-Tariff - consulte “Riesgo regulatorio” en este documento).

# Riesgo regulatorio

Al tratarse de una tecnología que aún sigue en etapa de desarrollo, la gasificación está expuesta a un potencial marco normativo muy riguroso, lo que incluye un monitoreo en tiempo real de las emisiones medioambientales para garantizar la seguridad y el cumplimiento operacional. Actualmente son pocos los gobiernos que tienen la capacidad, el conocimiento técnico, o el marco regulatorio adecuado para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones de gasificación, pero debido a los riesgos medioambientales y de salud inherentes a estas tecnologías, los inversionistas deberían prever un marco normativo mucho más estricto y en evolución.

Por otra parte, los desafíos financieros de la industria han llevado a solicitar subvenciones públicas, por ejemplo, a través de una Tarifa regulada (FIT por sus siglas en inglés)<sup>[45]</sup>. El FIT es un fondo para la producción de electricidad que ha tenido éxito en fomentar la amplia implementación de energías renovables, en particular la solar fotovoltaica en Europa. A diferencia de las FIT diseñadas para otorgar numerosas subvenciones a los propietarios por abrirse al uso de paneles solares, un FIT de gasificación beneficiaría solo a un puñado de operadores comerciales, y no llegaría a gozar de la popularidad que tiene un FIT solar fotovoltaico. Defensores de los programas de energía renovable se han unido a otros en un llamado a las políticas de energías renovables como las tarifas reguladas para eliminar las propuestas de “residuos para energía” como la gasificación. Esto dejaría las hojas de balance de los operadores en una posición extremadamente vulnerable frente a cualquier cambio en las políticas.

---

“Muchos operadores creen que la energía producida es un poco menos que la requerida para operar el sistema de energía intensiva”.

Incluso más problemático es que mientras los proveedores describen el syngas como una fuente de energía “verde” o “renovable”, el syngas generado principalmente con plásticos derivados de combustibles y otras fuentes no renovables es esencialmente combustible fósil. Por ejemplo, un incinerador de gasificación que funcione únicamente con plásticos generaría syngas y electricidad totalmente derivada de combustibles fósiles. Estos no son combustibles renovables desde un punto de vista científico y, de hecho, incluso el syngas que se genera de la porción de biomasa de los desechos no es necesariamente amigable con el medioambiente.

Los pobres resultados en cuanto a las emisiones de carbono de la gasificación de residuos actúan directamente en contra de los esfuerzos de descarbonizar la red eléctrica, lo que provocaría una inclusión a largo plazo de la gasificación en los esquemas de energías renovables, esquemas particularmente vulnerables a correcciones regulatorias. Un ejemplo es la reciente decisión de la Unión Europea de discontinuar los fondos de energías renovables para la incineración de residuos y exigir la separación obligatoria de los residuos orgánicos<sup>[46]</sup>.

También existe un riesgo adicional en aquellos países donde los proveedores han creado una confusión regulatoria al catalogar las tecnologías como no-combustión. Por lo general, la intención es quemar el syngas generado durante la fase inicial a alta temperatura del tratamiento de gasificación, ya sea para ser usado en la misma planta o para ser vendido como combustible, lo que aleja estos procesos de cualquier definición regulatoria que incluya la “no-combustión”.

Es más, la mayoría de los países son miembros de la Convención de Estocolmo<sup>[47]</sup>, y por ende están obligados a reducir y eliminar desechos de Compuestos Orgánicos Persistentes producidos de manera accidental, como aquellos creados mediante incineración convencional de residuos, gasificación de residuos, pirólisis y arco de plasma.

## Riesgo medioambiental

A pesar de que en los estudios académicos y en los documentos de los sus promotores la gasificación está catalogada como una forma más limpia de combustión que la incineración de “residuos para energía” convencional, los datos no apoyan esta teoría. Si bien las instalaciones que se encuentran en funcionamiento rara vez divulgan datos exhaustivos de sus emisiones, las agencias regulatorias y los reportes de los medios han revelado graves y constantes violaciones a la ley de emisiones en numerosas plantas (consulte la sección “Casos importantes” en el documento).

Mientras la gasificación sea usada en un flujo de residuos mixto o flujo de residuos plásticos, lo que incluye materiales tratados con cloro y metales pesados, los resultados son emisiones similares a aquellas de la incineración convencional. Las emisiones pueden incluir NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, hidrocarburos, monóxido de carbono, material en suspensión, metales pesados, gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>, dioxinas y furanos <sup>[48]</sup>.

Los plásticos mixtos contienen sustancias químicas que provocan emisiones peligrosas en estos sistemas. El policloruro de vinilo, comúnmente conocido como PVC, es un plástico común que contiene cloro, que genera dioxinas una vez que se calienta o se quema. Los productores agregan aditivos entre los cuales destacan el plomo, el arsénico, el cromo y los ftalatos, para mejorar la ductilidad, la rigidez y la fuerza del PVC. Estos aditivos, y los productos derivados de la combustión, representan un desafío en las emisiones para los procesos como la gasificación o cualquier otro tratamiento termal de plásticos mixtos.

La combustión del syngas requiere medidas significativas de control de la contaminación atmosférica, en especial por estar contaminada con partículas, alquitrán, metales alcalinos, cloruros y sulfuros <sup>[49]</sup>. Algunos de estos elementos deben ser filtrados antes de quemar el syngas con el fin de evitar daños al motor de combustión <sup>[50]</sup>. Otros se deben filtrar una vez realizada la combustión. Esto requiere dos etapas de control de la contaminación, que generan dos productos de desecho: aguas residuales peligrosas y cenizas volantes. Incluso las tecnologías modernas de control de la contaminación siguen sin poder evitar totalmente los serios daños que las emisiones provocan en los equipos, lo que se demostró de forma muy dramática con el colapso del techo y la chimenea de acero de una planta de gasificación de residuos en Hamm-Uentrop en Alemania, lo que provocó la destrucción de la planta. El colapso fue atribuido a la corrosión generada por la acidez de los gases de escape <sup>[51]</sup>.

La comercialización de los productos restantes también ha sido centro de polémicas. La ceniza volante, las aguas residuales y las escorias metálicas tienen algún grado de contaminación con una variedad de agentes tóxicos, entre los cuales se incluyen dioxinas, mercurio y metales pesados. Además, el consumo y la contaminación del agua fue un problema significativo durante la corta vida del gran complejo Thermoselect en Alemania <sup>[52]</sup>.

## Riesgo reputacional

Para ser una tecnología con un registro intermitente de funcionamiento, la gasificación ha conseguido una reputación negativa en la mente colectiva, a lo que se suma la potencial oposición local hacia las compañías, lo que incluye demandas legales, protestas, y campañas ampliamente difundidas, las cuales son comunes en sitios sugeridos para instalaciones de “residuos para energía”. Esto se debe en parte a los intentos anteriores de sobrevender la tecnología, como lo muestra un informe de 1997 de la firma consultora Juniper, que proyectaba que la gasificación cubriría 20% del mercado europeo para el año 2007, o proveedores inescrupulosos que prometían instalaciones libres de chimeneas o “cero emisiones”.

En cierta medida, el riesgo reputacional a causa de la gasificación se debe al fracaso de las pocas instalaciones comerciales. Plantas obsoletas como las del gran proyecto de gasificación “Air Products” en Tees Valley, en el Reino Unido, las operaciones de gasificación a base de plasma de “Plasco” en Ottawa, Canadá, o “Scotgen” en Dargavel, Escocia, han recibido cobertura mediática regional e internacional.

Adicionalmente, las instalaciones de “residuos para energía” por lo general enfrentan resistencia debido a la pérdida de trabajo en las ciudades y las comunidades donde se construyen. Las plantas de “residuos para energía” normalmente sustituyen a los trabajadores del reciclaje, y crean una cantidad significativamente menor de trabajos que los programas que dependen de la separación, el reciclaje y el compostaje intensivos. Esto puede bajar la popularidad local de la gasificación y otros proyectos similares, además de crear otros desafíos para su construcción.

Esta reputación negativa representa un duro contraste frente a la recuperación de materiales y los sistemas de economía circular (lo que incluye el reciclaje, que generalmente es muy bien visto por el público) <sup>[53], [54]</sup>.

# Alternativas

Los enfoques tradicionales para manejar flujos de residuos mixtos, ya sea en forma de rellenos sanitarios o incineración, han caído en desgracia y no ha surgido ninguna técnica nueva para remplazarlos. En cambio, varias ciudades están mostrando buenos resultados con la separación de residuos seguida de un reciclaje y compostaje intensivos, y otras formas innovadoras de reducir el exceso de plásticos y otros materiales problemáticos, además de crear las condiciones para el rediseño. Este enfoque se conoce como “basura cero”.

Estudios de caso sobre programas de “basura cero” han mostrado éxito tanto técnico como financiero, lo que incluye el desvío de cerca del 90% de los residuos de incineradores y rellenos sanitarios, que se traduce en un ahorro de dinero para las municipalidades, y un aumento de la tasa de empleo local <sup>[55], [56], [57]</sup>. Las oportunidades de “basura cero” no solo existen para la participación filantrópica, sino que también para el establecimiento de fondos rotatorios o mecanismos financieros para apoyar estos cambios en la ciudad dirigidos hacia estos programas autosustentables.

## Conclusión

Hechos los análisis sobre los intentos por comercializar estas tecnologías para el manejo de los residuos municipales, pareciera que los beneficios de la gasificación de residuos son mínimos e inciertos, en comparación con los riesgos, que son mucho más altos de lo que afirman los defensores de esta tecnología.

Incluso a medida que las compañías intentan incrementar la funcionalidad tecnológica de la gasificación, ésta y otras tecnologías de “residuos para energía” compiten con los programas de reciclaje y compostaje municipal, los cuales se vuelven cada vez más populares. Más y más ciudades están adoptando los sistemas “basura cero”, los cuales dejarán obsoletas las tecnologías de “residuos para energía”.

Contrariamente a la creencia que los “residuos para energía” son dañinos para la salud y el ambiente, los sistemas “basura cero” disfrutan de un amplio apoyo de parte de los gobiernos locales y la sociedad. Estos programas también ganan apoyo debido a los bajos costos para la ciudad y a la creación de puestos de trabajo en el reciclaje, compostaje y operaciones de reutilización, además de crear oportunidades de inversiones.

# Casos importantes en la implementación de gasificación, pirólisis y plasma para el tratamiento de residuos sólidos municipales

## Air Products, Teeside, Tees Valley, Reino Unido

En el año 2014, Air Products, compañía que figura en la lista “Fortune 500”, firmó un contrato con el gobierno del Reino Unido para proveerlos de energía mediante la gasificación de residuos y propuso la construcción de la planta de Tees Valley en dicho país. Dos años después, la compañía abandonó esta tecnología debido a “problemas operacionales y de diseño”. Un artículo de la prensa especializada en la industria de los residuos afirmó que “Tees Valley podría ser recordada como uno de los errores más caros de los últimos años” <sup>[58]</sup>. Poco antes de que la compañía cancelara el proyecto, el Gerente General de Air Products aseguró que: “la tecnología está demostrando ser mucho más compleja de lo que la gente creía en un principio y tengo que decir que no hemos tenido un progreso significativo desde la última vez que hablamos” <sup>[59]</sup>. Según Air Products, el gasto total de activos asociados a este negocio de “residuos para energía” se encuentra en el rango de los 900 a 1000 millones de dólares <sup>[60]</sup>.

## Scotgen (subsidiario de Ascot Environmental), Dargavel, Escocia, Reino Unido

Entre 2009 y 2012, Scotgen operó una planta de gasificación de residuos sólidos municipales, lo que dejó en evidencia cada los riesgos que se describen en este documento. En 2012, la Agencia Escocesa de Protección Ambiental revocó el permiso de funcionamiento de la instalación, lo que significó su cierre definitivo.

La agencia entregó una serie de razones por las cuales revocó el permiso a la planta:

- Incumplimiento constante de los requerimientos del permiso,
- Incumplimiento con los requisitos de una orden de ejecución,
- Incapacidad de mantener suministros financieros y recursos para cumplir con los requerimientos del permiso, e
- Incapacidad de recuperar energía de forma más eficiente <sup>[61]</sup>.

Estas medidas fueron posteriores a los excesos de emisiones e incendios que se generaron en la planta, los cuales recibieron amplia cobertura mediática local e internacional <sup>[62]</sup>.

## Plasco, Ottawa, Canadá

Desde 2008 a 2011, Plasco llevó a cabo un proyecto de demostración de gasificación con plasma cerca de Ottawa, en Canadá, con fondos de empresas como Soros Fund Management <sup>[63]</sup>, entre otras. Durante estos años, la planta entregó una cantidad de información inusual sobre sus operaciones, que incluía emisiones, toneladas recibidas y toneladas procesadas. Algunos de los problemas de emisiones que fueron desclasificados incluían altos niveles de dióxido de sulfuro y otros tipos de emisiones excesivas <sup>[64]</sup>, <sup>[65]</sup>. En el transcurso de estos tres años, los problemas en el funcionamiento se volvieron tan comunes que la instalación solo procesó residuos el 25% de los días y en aquellos días procesó un promedio de 23 toneladas diarias <sup>[66]</sup>. Esto es aproximadamente un 7% de lo que Plasco estimaba que podría procesar (85 toneladas al día). Alrededor de 390 millones de dólares de capital social se destinaron a Plasco entre 2005 y 2015 <sup>[67]</sup>.

En California, Plasco intentó construir un incinerador de gasificación de plasma en Gonzales, una comunidad predominantemente latina. El proyecto no logró obtener los permisos necesarios debido a la fuerte oposición de la comunidad, y la propuesta se estancó luego de no poder asegurar fondos estatales para energías renovables.

En 2012, Plasco firmó un contrato de 180 millones de dólares por 20 años con la ciudad de Ottawa para financiar un nuevo proyecto de gasificación de plasma que prometía procesar 300 toneladas de residuos municipales al día <sup>[68]</sup>, <sup>[69]</sup>. Durante dos años, en reiteradas ocasiones la compañía no respetó los plazos de financiamiento <sup>[70]</sup>. En 2015, la ciudad puso fin al contrato y Plasco presentó un recurso de protección crediticia <sup>[71]</sup>, <sup>[72]</sup>.

## Oneida Seven Generations Corporation, Green Bay, Wisconsin, Estados Unidos

En 2011, el Concejo municipal de Green Bay, en Wisconsin, otorgó un permiso para el funcionamiento dentro de la ciudad de la planta de gasificación de residuos Oneida Seven Generations Corporation (OSGC) <sup>[73]</sup>. Posteriormente, diversos grupos activistas revisaron los archivos regulatorios del estado y descubrieron que al Concejo se le ocultó evidencia clave sobre el posible daño ambiental y sobre las chimeneas de 18 metros que sobrepasaban el límite de 10 metros impuesto en la ciudad. El Concejo finalmente revocó el permiso <sup>[74]</sup> debido a la incapacidad de la compañía para desclasificar esta información tanto de forma verbal como en los documentos que omitieron dichos planes. OSGC litigó la revocación del permiso, y la Suprema Corte de Wisconsin anuló el juicio sumario del tribunal de primera instancia y falló en favor de la ciudad. El asunto fue llevado nuevamente al tribunal para continuar con el alegato original, pero OSGC no logró continuar con la demanda, lo que hizo que el asunto se le aplicara una ley estatal de Wisconsin que desestima demandas obsoletas y que falla a favor de la defensa <sup>[75]</sup>.

## New Earth Solutions, Reino Unido

New Earth Solutions está asociada a otros seis proyectos de gasificación fallidos o abandonados en el Reino Unido <sup>[76]</sup>. En julio de 2015, la compañía les comunicó a sus accionistas que “el desempeño de la empresa no ha logrado alcanzar los niveles proyectados. El plan de trabajo comunicado en marzo, habiéndose ya iniciado, no ha demostrado ser exitoso. Los costos en operaciones, mano de obra, mantención y reparación han demostrado ser más altos de lo que se había planeado”. En 2016, la compañía afirmó que sería incapaz de pagar los 9 millones de libras a los acreedores. Los gobiernos locales también sufrieron el impacto financiero: el fracaso de uno de los proyectos de New Earth Solutions le significó una pérdida de al menos 2,4 millones de libras al Concejo de Scottish Borders <sup>[77]</sup>.

## Yorwaste Scarborough Power, GEM Flash Pyrolysis, Seamer Carr, Reino Unido

Yorwaste intentó asegurar el financiamiento de parte del Programa de Demostración de Nuevas Tecnologías del Reino Unido para la planta Yorwaste Scarborough Power, GEM Flash Pyrolysis. En el informe de evaluación oficial del proyecto, la Universidad de Leeds descubrió que las instalaciones “sufrían continuos problemas en el funcionamiento y no tuvieron ningún periodo completamente operativo para diseñar las especificaciones sobre las cuales podrían iniciar un estudio significativo”. El informe además recalcó que “durante pruebas cortas de funcionamiento, eran inexistentes los periodos operacionales consistentes y constantes necesarios para recopilar información para una evaluación confiable” <sup>[78]</sup>.

## Caithness Heat and Power, Highland Council, Escocia, Reino Unido

En 2004, Caithness Heat and Power comenzó un nuevo proyecto de gasificación de biomasa en Wick, Escocia, con planes para calefaccionar 200 hogares. Los trabajos comenzaron en 2008, pero fueron cancelados en 2009 luego de problemas tecnológicos y financieros, lo que resultó en una pérdida de 11,5 millones de libras para la autoridad local del concejo de Highland <sup>[79]</sup>. Un informe realizado por expertos concluyó que el proyecto no sería exitoso, y una auditoría gubernamental lo denominó como una “cara lección” y que “la compañía adquirió una tecnología de gasificación experimental y de alto riesgo que no pudo ser usada de forma exitosa...” <sup>[80], [81]</sup>.

## Compact Power, Reino Unido

Compact Power recibió una gran cobertura mediática de sus planes para construir instalaciones de gasificación y otras similares, para luego pasar a ser privada, lo que significó la pérdida de 20 millones de libras para los inversionistas <sup>[82]</sup>. Compact Power se enfrentó a desafíos operacionales y de combustible: un informe en terreno del 2005 reveló que los costos operacionales eran demasiado altos y que el valor calorífico era demasiado bajo para que la planta fuese viable como un generador de energía <sup>[83]</sup>.

## Thermoselect, Karlsruhe, Alemania

La incierta naturaleza de la tecnología de gasificación quedó demostrada con la clausura, después de un historial de operaciones problemático, de la gasificadora emblema de Europa, la planta de Thermoselect en Karlsruhe, Alemania. Los problemas operacionales incluían una baja o nula producción de electricidad en algunos años, corrosión, contaminación del agua, consumo de agua y un exceso en la emisión permitida de dioxinas <sup>[84]</sup>, NOx, partículas en suspensión y HCl <sup>[85]</sup>. El gobierno regional descubrió que las paredes de la cámara estaban en tan malas condiciones

que algunos pedazos se habían caído y pudieron haber causado una explosión <sup>[86]</sup>. Las instalaciones se encontraban frecuentemente cerradas debido a estos problemas y durante cinco años de funcionamiento, procesó la quinta parte de los residuos acordados. Esto resultó en costos adicionales en el cumplimiento de los contratos para el tratamiento de residuos municipales con los gobiernos locales. La generación de energía constituyó un reto: en 2002, la planta utilizó 17 millones de metros cúbicos de gas natural para calentar los residuos, y no entregó nada de electricidad o calor a la red <sup>[87]</sup>. Finalmente, la dueña de las instalaciones de Energie Baden-Württemberg en Karlsruhe las cerró luego de perder 400 millones de euros (aproximadamente 500 millones de dólares en 2004) <sup>[88], [89], [90]</sup>.

## Brightstar, Solid Waste and Energy Recycling Facility, Wollongong, Australia

En 2001, las compañías Brightstar Environmental y Energy Development Ltda establecieron en Wollongong, Nueva Gales del Sur, la única gasificadora para tratar residuos municipales en Australia. La planta SWERF (por sus siglas en inglés) se vio rodeada de problemas operacionales y fugas de emisiones durante los tres años que duró el “periodo de prueba”. Las fugas de emisiones <sup>[91]</sup> incluyeron grandes excesos en las emisiones de arsénico y SOx, monóxido de carbono más de 13 veces superior al límite alemán (50 mg/Nm<sup>3</sup>). La gasificadora también produjo una significativa emisión de dioxinas, cloruro de hidrogeno, fluoruro de hidrogeno, hidrocarburos poliaromáticos, hexaclorobenceno y metales pesados. En 2004, la planta de SWERF fue cerrada de forma abrupta por su compañía asociada EDL <sup>[92]</sup>, luego del retiro de los fondos para el proyecto de mediados de 2003. Brightstar Environmental también negoció contratos para establecer gasificadoras de residuos en India, el Reino Unido, Estados Unidos y otras ciudades australianas. Estos contratos fueron cancelados luego del fracaso de la planta de SWERF en Wollongong, y el cierre de Brightstar Environmental. Para el momento que Energy Developments decidió cerrar la planta, ya habían perdido al menos 17 millones de dólares australianos (134 millones de dólares americanos) en la planta SWERF <sup>[93]</sup>.

# Referencias

- [1] Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625-639.
- [2] Arena, U. (2012). ídem.
- [3] Consulte sección de casos importantes en este documento.
- [4] DEFRA (2014). Energy from Waste Guide. [www.gov.uk/defra](http://www.gov.uk/defra)
- [5] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis - Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volumen 3 (Vivis), 403-410.
- [6] Foth Infrastructure& Environment, LLC (2008) Updated Research Study Gasification, Plasma Ethanol and Anaerobic Digestion Waste Processing Technologies. Prepared for Ramsey/Washington County Resource Recovery Project. p. viii
- [7] Algunas listas de dichas instalaciones pueden dar la impresión que hay más instalaciones operativas que las que existen en realidad. Las listas no hacen la distinción entre plantas que reciben residuos municipales, otros flujos de residuos como neumáticos y materiales de deshuesaderos, plantas que combinan varios combustibles fósiles con diferentes flujos de residuos, o instalaciones de vitrificación de cenizas ni complejos que han sido clausurados.
- [8] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653-666.
- [9] Dimpl, E. (2010). Small-scale Electricity Generation from Biomass: Experience with Small-scale Technologies for Basic Energy Supply. GTZ-HERA.
- [10] UKWIN (2016). Gasification Failures in the UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [11] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis - Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volumen 3 (Vivis), 403-410.
- [12] Gleis, ídem.
- [13] Gleis, ídem.
- [14] LetsRecycle.com, el DEFRA realiza el segundo llamado para el fondo de 30 millones para las nuevas tecnologías, 1 de septiembre de 2004. [www.letsrecycle.com/news/latest-news/defra-openssecond-round-of-30m-new-technologies-fund/](http://www.letsrecycle.com/news/latest-news/defra-openssecond-round-of-30m-new-technologies-fund/)
- [15] LetsRecycle.com, ídem.
- [16] W Powrie(2010), The New Technologies Demonstrator Programme: Summary and Key Findings, <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140305123955/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/documents/TACSummary.pdf> (enlace roto)
- [17] Los documentos gubernamentales sobre este proyecto se encuentran archivados en <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140305123955/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/factsheets.htm>
- [18] Consulte el ejemplo sobre el caso de las instalaciones de Yorwaste.
- [19] Consulte el ejemplo sobre el caso de las instalaciones de Energos en este documento.
- [20] W Powrie (2010), The New Technologies Demonstrator Programme: Summary and Key Findings (DEFRA). <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140305123955/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/documents/TACSummary.pdf> (enlace roto)
- [21] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis - Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volumen 3 (Vivis), 403-410.
- [22] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653-666.
- [23] Peake, Libby. (2016). Advanced Conversion Technologies: A Heated Debate. Resource. <http://resource.co/article/advanced-conversiontechnologies-heated-debate-11503> (enlace roto)
- [24] GTZ, Small-scale Electricity Generation from Biomass: Part I: Biomass Gasification, 2010.
- [25] Contacto personal con la corporación municipal de tratamiento de residuos de Pune (India)
- [26] DEFRA, Energy from Waste Guide, febrero de 2014, [www.gov.uk/defra](http://www.gov.uk/defra)
- [27] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653-666.
- [28] Consulte sección de casos importantes en este documento.
- [29] Dalai, A. K., Batta, N., Eswaramoorthi, I., & Schoenau, G. J. (2009). Gasification of refuse derived fuel in a fixed bed reactor for syngas production. *Waste Management*, 29(1), 252-258.
- [30] Greenaction for Health and Environmental Justice, "Toxic Scandal and Toxic Threat: The Plasma-Arc Garbage Incinerator in Disguise Proposed for Sacramento," Agosto de 2008. [greenaction.org](http://greenaction.org)
- [31] JFE website, <http://www.jfe-eng.co.jp/en/products/link/t06.html>
- [32] Consonni, S., Giugliano, M., & Grosso, M. (2005). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste: Part B: Emission and cost estimates. *Waste Management*, 25(2), 137-148.
- [33] Kamińska -Pietrzak, N, Smoliński, A (2013). Selected Environmental Aspects of Gasification and Co-Gasification of Various Types of Waste. *Journal of Sustainable Mining*, 12 (4), 6-13.
- [34] <http://mavropoulos.blogspot.com.au/2012/04/lets-speak-about-waste-to-energy.html>
- [35] Administración de Información Energética de Estados Unidos (2013). Actualización de costos capitales estimados para plantas generadoras de electricidad a escala comercial.
- [36] Zero Waste Europe (2015). Zero Waste to Landfill and/or Landfill Bans: False Paths to a Circular Economy.
- [37] Thompson, J, Anthony, H (2008). The Health Effects of Waste Incinerators: 4th Report of the British Society for Ecological Medicine.
- [38] Hong'e, Mo (28 de mayo de 2015). "121 waste incinerators refuse to disclose data on fly ash." Ecns.com.
- [39] Messenger, Ben (April 5, 2016). Air Products to Ditch Plasma Gasification Waste to Energy Plants in Teesside, *Waste Management World*.
- [40] Perchard, Edward (July 13, 2016). Another Setback for Gasification Sector as Incineration Specialist Enters Administration. Resource.co.

- [41] UKWIN (2016). Gasification Failures in the UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [42] String fellow, Thomas (1/13/2014). An Independent Engineering Evaluation of Waste-to-Energy Technologies, Renewable Energy World.
- [43] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis? Reliable Options for Waste Treatment? Waste Management, Volume3 (Vivis), 403-410.
- [44] Gleis, M. (2012). ídem.
- [45] [worldwastetoenergy.com/wp-content/uploads/2016/05/Lukas-Hutagalung.pdf](http://worldwastetoenergy.com/wp-content/uploads/2016/05/Lukas-Hutagalung.pdf); [enterprise.press/stories/2016/07/17/governmentto-look-for-international-funding-for-waste-to-energy-feed-intariff-projects/](http://enterprise.press/stories/2016/07/17/governmentto-look-for-international-funding-for-waste-to-energy-feed-intariff-projects/) (enlace roto)
- [46] [ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf)
- [47] <http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatories/tabid/4500/Default.aspx>
- [48] Kamińska -Pietrzak, N, Smoliński, A (2013). Selected Environmental Aspects of Gasification and Co-Gasification of Various Types of Waste. Journal of Sustainable Mining, 12 (4), 6-13.
- Foth Infrastructure & Environment, LLC (2008) Updated Research Study Gasification, Plasma Ethanol and Anaerobic Digestion Waste Processing Technologies. Prepared for Ramsey/Washington County Resource Recovery Project. p. viii
- [49] Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. Waste Management, 32(4), 625-639.
- [50] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. Waste Management, 32(4), 653-666.
- [51] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis - Reliable Options for Waste Treatment? Waste Management, Volumen 3 (Vivis), 403-410.
- [52] Consulte caso de Thermoselect en la sección de Casos importantes en este documento.
- [53] Anderson, M. (2016). For Earth Day, here's how Americans view environmental issues. Pew Research Center.
- [54] Recycling Today. (2015). ISRI, Earth911 poll reveals support for separating recyclables from trash.
- [55] GAIA (2012). Zero Waste Case Studies. Revisado el 3 de febrero de 2017 en <http://www.no-burn.org/zero-waste/>.
- [56] Mother Earth Foundation. MEF@15: On the Road to Zero Waste. Revisado el 3 de febrero de 2017 en <http://www.motherearthphil.org/p/mefat15.html>
- [57] Zero Waste Europe (2017). Zero Waste Case Studies. Revisado el 3 de febrero de 2017 en <https://www.zerowasteurope.eu/zw-library/case-studies/>
- [58] Goulding, Tom. (2016). Air Products- what happens now? LetsRecycle.com
- [59] Air Products and Chemicals, Inc. (2016). Transcripción de la teleconferencia del gerente general de Air Products and Chemicals sobre los resultados de la Q1 2016. Seeking Alpha.
- [60] Air Products and Chemicals, Inc. (2016). Air Products Will Exit Energy-from-Waste Business.
- [61] Blake, A. (2013). Scotgen permit revoked after series of breaches. Resource.
- [62] Zero Waste Europe (2015). "Air Pollution from Waste Disposal: Not for Public Breath," 22-23. <https://www.zerowasteurope.eu/zw-library/reports/>
- [63] Business Wire (2011). "Plasco Completes C\$140 Million Equity Financing Led by Funds Managed by Soros Fund Management."
- [64] Plasco (Marzo de 2009). Monthly Engineer's Report, Plasco Trail Road, Gasification Process Demonstration Project. Decommissioning Consulting Services Limited.
- [65] Chianello, Joanne and Matthew Pearson (10 de febrero de 2015). Ottawa severs ties with Plasco as company files for creditor protection. Ottawa Citizen.
- [66] Plasco project documents downloaded 2012 from Plasco corporate website [www.zerowasteottawa.com](http://www.zerowasteottawa.com) (sitio web fuera de servicio, los documentos se pueden revisar en <https://archive.org/web/>)
- [67] Susan Sherring (10 de febrero de 2015). Deal with waste to energy pioneer Plasco was risky business. Ottawa Sun.
- [68] CBC News. (11 de febrero de 2015). Plasco obtains credit or protection, 80 jobs terminated.
- [69] CBC News. (5 de enero de 2015). Ottawa searches for new waste company after Plasco misses deadline.
- [70] Chianello, Joanne and Matthew Pearson (February 10, 2015). Ottawa severs ties with Plasco as company files for credit or protection. Ottawa Citizen.
- [71] ídem.
- [72] CBC News. (11 de febrero de 2015). Plasco obtains credit or protection, 80 jobs terminated.
- [73] Supreme Court of Wisconsin. (29 de mayo de 2015). Review of a Decision of the Court of Appeals.
- [74] Supreme Court of Wisconsin. ídem.
- [75] Contacto personal con John Filcher, residente de Green Bay y defensor de la salud pública (Febrero de 2017).
- [76] UKWIN (2016). GASIFICATION FAILURES IN THE UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [77] UKWIN (2016). ídem.
- [78] Williams, PT and JR Barton. (2010). New Technologies Demonstrator Programme - Research, Monitoring and Evaluation Project Report. Universidad de Leeds.
- [79] BBC. (9 de enero de 2014) Caithness Heat and Power "an expensive lesson." <http://www.bbc.com/news/uk-scotland-highlands-islands-25650461>
- [80] Garder, C. (2010). A Report by the Controller of Audit to the Accounts Commission Under Section 102(1) of the Local Government (Scotland) Act 1973. Highland Council.
- [81] Audit Scotland. (2014). The Highland Council: Caithness Heat and Power. Accounts Commission.
- [82] Insider Media Limited. (2011). Compact Power Holdings enters liquidation.
- [83] IDeA Knowledge (2005). Materials Research Management Contract.
- [84] District Administration of Karlsruhe (Regierungspräsidium Karlsruhe) (5 de noviembre de 1999). Press release.

- [85] Baldas, Bernhard (28 de agosto de 2001). "Magic Gone from Miracle Garbage Weapon [Entzauberte Müllwunderwaffe]," Die Tageszeitung [Germany].
- [86] Fränkische Landeszeitung (29 de enero de 2003). "Natural Gas Use Should Be Halved This Year [Erdgas-Verbrauch soll dieses Jahr halbiert werden]."
- [87] Fränkische Landeszeitung. ídem.
- [88] 7 Süddeutsche Zeitung [Munich, Alemania] (5 Mar. 2004). "The End for Thermoselect [Aus für Thermoselect]."
- [89] Frankfurter Allgemeine Zeitung [Frankfurt, Germany] (3 Mar. 2004). "No Future for Thermoselect [Keine Zukunft für Thermoselect]."
- [90] Para mayor información: GAIA & Greenaction for Health and Environmental Justice (2006). Incineradores disfrazados: Estudios de caso sobre el funcionamiento de las tecnologías de gasificación, pirólisis y plasma en Europa, Asia y Estados Unidos.
- [91] Brightstar Environmental. "Emissions Data from Solid Waste and Energy Recycling Facility (SWERF)", 1-2 marzo de 2001.
- [92] Energy Developments Limited (21 July 2003). "ENE to cease SWERF development expenditure and focus on traditional energy business." (Comunicado de prensa).
- [93] Rod Myer (23 de Julio de 2003). DL Prepared to Give Up on Recycling Project. The Age [Australia].