



INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial



Presidencia de la Nación

INDUSTRIA



META-ANÁLISIS

Los tratamientos térmicos (TT) para valorizar energéticamente los residuos sólidos urbanos (VERSU) ¿son una alternativa que ofrece ventajas ambientales?

Meta-análisis sobre un relevamiento exploratorio sistemático de estudios de casos que utilizaron el Análisis de Ciclo de Vida de Producto

Septiembre 2010

▲ CONTACTO

ggarrido@inti.gov.ar
Av. Vélez Sarsfield 1561 - Córdoba
(351) 4698304 int. 152

▲ AUTOR

Guillermo Garrido
Área de Ecología Industrial
INTI - Centro Regional Córdoba

Tabla de contenidos

Advertencia	2
Introducción.....	3
Generación.....	4
Clasificación en Origen	6
Recolección y Transporte.....	7
Tratamientos a evaluar.....	8
1º) Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB)	9
2º) Tratamiento Térmico (TT)	13
3º) Tratamiento Físico (TF).....	15
4º) Sin Tratamiento (ST)	16
Disposición Final	17
Análisis de Escenarios	19
Casos analizados	21
Categorías analizadas	22
Factores claves.....	33
Conclusiones.....	36
Glosario.....	41
Estudios revisados	41

Advertencia

Los factores dominantes para la toma de decisiones en el ámbito de los RSU, no parece ser sólo la disponibilidad de tecnología e infraestructura, también son importantes las condiciones geográficas y los factores socio-económicos, el marco legal y los contratos vigentes, hasta los mercados para reciclados influyen¹. La tecnología es sólo una parte, por lo que el INTI necesita crear alianzas estratégicas con otros organismos del Estado, que fortalezcan las iniciativas con miradas sistémicas.

Este informe pretende relevar el estado del arte del desempeño ambiental de los tratamientos térmicos (TT) para Valorizar Energéticamente Residuos Sólidos Urbanos (VERSU). Para esto, a partir de datos tomados de trabajos y documentos existentes, de relevamientos y análisis previos, y de instituciones extranjeras, todos vinculados a la gestión de RSU, se intentó mapear las ventajas y desventajas del desempeño ambiental de los TT respecto a sus alternativas.

Debido a lo extenso de este campo de acción, este informe no pretende ser un dictamen sobre los TT, sino más bien explorar las principales características de los RSU y sus posibilidades de valorización como energía (VERSU). Este informe es solo una introducción y aproximación al tema, mereciendo discutirse los puntos aquí planteados

Debe advertirse que el insumo principal de este trabajo es bibliografía de terceros, por lo que está escrito en base a la experiencia de otros. Además este informe no cuenta con una revisión definitiva de la institución. Cuando el INTI tenga de mayor trabajo de campo, probablemente la mirada que se aporta desde este documento se vea complementada, si no modificada.

Área de Ecología Industrial
Centro Regional Córdoba del INTI
07 de septiembre de 2010.-

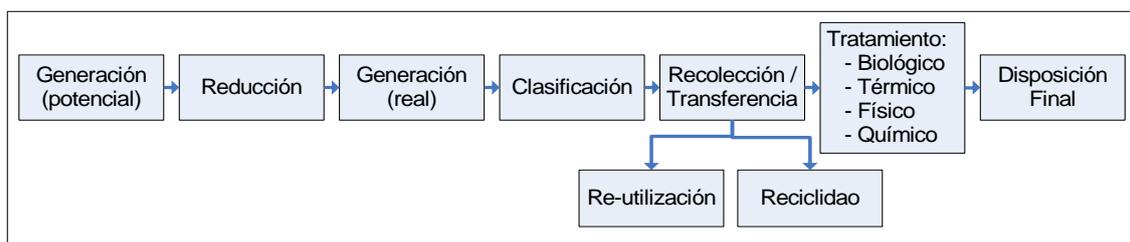
¹ Waste management options and CC (EC 2001)

Introducción

Este informe, a través de una mirada integral y sistémica, pretende revisar las ventajas y desventajas ambientales de los TT frente a sus alternativas. Para dar claridad al lector sobre el enfoque utilizado, a continuación se describen los conceptos que se tomaron para elaborar el informe.

Sistema origen-destino

Las observaciones y comparaciones del informe se hacen siempre dentro del marco de un sistema de origen-destino de RSU de una ciudad (cualquiera). Los elementos centrales que configuran a un sistema de este tipo serían la “Generación y Clasificación”, la “Recolección”, la “Re-utilización” y el “Reciclado”, los “Tratamientos” y la “Disposición final”.



Tecno-organización (ú organización socio-técnica)

Para operar en cada uno de los elementos del sistema, es necesario seleccionar una tecnología y una organización, esto es la tecno-organización.

Responde al uso combinado de un determinado conjunto de tecnologías y con un modo de organización. Un sistema como el que se muestra en la figura anterior, opera con una determinada tecnología y con una determinada manera de articularla y gestionarla.

En este marco, cada comuna o ciudad utiliza determinados criterios tecnológicos que se imponen y difunden como elementos básicos y definitorios en el sistema. En la siguiente sección se explican las características y las alternativas técnicas y organizativas, de cada uno de los elementos que conforma un sistema origen-destino de RSU.

Generación

El abordaje de la problemática de la basura generada en la ciudad, a la que técnicamente denominamos RSU, implica reconocer una realidad: somos seres consumidores y como tales generamos también residuos, resultado de la diferencia entre lo utilizado y lo efectivamente consumido².

Se considera RSU a aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas, se desechan y/o abandonan. En la ciudad, se generan a través de distintas actividades, y su origen puede ser tan diverso como:

- Desechos propios del consumo doméstico.
- Residuos procedentes del barrido de calles y viviendas.
- Descarte de muebles, enseres viejos y artículos similares.
- Restos de poda y jardinería del hogar y de los espacios públicos.
- Escombros de pequeñas obras.
- Residuos de bares, restaurantes, hoteles, residencias, instituciones, mercados y otras actividades similares.
- Residuos de actividades industriales, comerciales y de servicios que puedan asimilarse a la basura domiciliaria.

La generación de residuos tanto a nivel global como en nuestro país, aumenta sostenidamente. La ENGIRSU (2005) al considerar sólo la tendencia del crecimiento poblacional y su relación directa con la producción de RSU, estima que para el 2025 la generación de RSU en nuestro país se incrementaría en un 29%, valor similar al aumento de habitantes. La siguiente tabla sintetiza estas estimaciones.

Concepto	Índice	Unidades	Año 2005	Año 2025
Generación per. Cápita Diaria	GPCD	[kg / hab.día]	0,91	0.91
Generación per. Cápita Anual	GPCA	[kg / hab.año]	328	328
Población - tasa anual del 1,3% -		[miles hab.]	37.669	48.772
Generación Total	GTA	[miles ton / año]	12.325	15.997

Tabla1. Proyección estimada de RSU generados en el país. Fuente: ENGIRSU (2005)

Según esta estimación, el índice GPCD se mantendría constante, no así la cantidad de RSU generada, cuyo incremento se traduciría en mayores riesgos para la salud y el ambiente, además del mayor espacio demandado para su disposición final.

La experiencia mundial muestra que la generación de RSU varía, no sólo con la cantidad de habitantes, sino también con la incidencia de otros factores como el nivel de vida y el poder adquisitivo, los hábitos de consumo, los sistemas productivos, los métodos de embalaje y envasado, y en términos generales con los aspectos relacionados a la actividad económica.

En este marco, se puede suponer que en caso de seguir la tendencia del crecimiento económico en nuestro país cercano al 8% anual, el aumento proyectado del 29% podría ser aún mayor.

² Residuos Orgánicos Domiciliarios. Aportes a una solución posible. Silbert-Garrido (2009)

Pero no sólo varía la cantidad de los RSU, sino también la composición que se generan varía de una región a otra. Para nuestro país, el GIRSU (2005) hace una estimación media en las siguientes categorías.

- Papel y Cartón 17%
- Vidrio 5%
- Metales (ferrosos y no ferrosos) 2%
- Plásticos 14%
- Orgánicos (jardín y restos de alimentos) 50%
- Otros - misceláneos 12%

Dentro de cada categoría, se pueden reconocer muchas componentes. Según el municipio y la zona donde se genere, además de variar la proporción de cada componente, también varía la composición física y química, tales como la densidad, el poder calorífico, el porcentaje de humedad, etc. Todas estas características condicionan la toma de decisiones sobre el destino más adecuado para darle. A continuación se muestran algunas clasificaciones posibles:

a) Según el origen de la generación

- Domiciliario: En las actividades domésticas.
- Industrial: En las actividades de diversas ramas de la industria.
- Rural: En el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias.
- Hospitalario: En los procesos y en las actividades de atención médica.

b) Según los riesgos potenciales

- Peligroso: Los que puedan causar daño directa o indirectamente, a seres vivos, contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general.
 - Explosivo: toda sustancia o desecho que por sí mismo es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.
 - Inflamable: aquellos líquidos que pueden emitir vapores inflamables a temperaturas no mayores a los 60,5° o aquellos sólidos que son fácilmente combustibles.
 - Oxidante: sustancias o desechos que puedan en general, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.
 - Tóxico: desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel de modo agudo o crónico.
 - Infecioso y/o Patogénico: desechos que contienen microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.
 - Eco-tóxico: desechos que si se liberan, tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.
- No peligroso: sin daño aparente.

c) Según la composición química

- Orgánicos: los residuos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad que se originan como producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos o, naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación.

- Inorgánicos: los residuos de origen mineral y las sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, etc.

d) Según su potencial aprovechamiento

- Recuperables y/o Reciclables: son los que pueden aprovecharse y transformarse para utilizarse como materia prima para la fabricación de nuevos productos. Estos son los papeles y cartones, vidrios, metales y plásticos.

- Humificables: son los de origen biológico, como restos de comida, de poda y del jardín, que mediante un proceso de aeróbico o anaeróbico, por la acción de hongos y bacterias, atraviesan procesos de descomposición.

- Restos: son los que no pueden ser ni reciclados ni humificados, tal es el caso de los pañales, cartones y plásticos con restos de comida, restos de alimentos de origen animal como huesos, carnes, lácteos, materiales compuestos, entre otros.

Clasificación en Origen

Los RSU que se generan en el hogar, pueden ser agrupados en origen por el generador (el vecino), de diversas maneras. A continuación se describen tres posibles formas de clasificarse:

1) La más sencilla es la que los divide en Secos y Húmedos. Los primeros, incluyen a los re-utilizables y/o reciclables. En cambio, los segundos refieren a los residuos humificables y a los restos. Este tipo de separación ocurre en muchos municipios de nuestro país; es el caso de la ciudad de Córdoba, que a través de su empresa municipal CRESE empezó en el año 2009 la recolección diferenciada en algunos barrios bajo este criterio.

2) Existen otros modos de agrupar en origen, como es el caso extremo en el que se los clasifica en Papeles, Vidrios, Metales, Plásticos, Orgánicos y Otros. Este tipo de agrupamiento, tan diferenciado desde el origen, muchas veces torna compleja y costosa la gestión aguas abajo del sistema origen-destino de RSU. En nuestro país, parece no haber municipios con tal nivel de diferenciación.

3) Un agrupamiento de complejidad intermedia, en donde la clasificación en origen es más precisa, pero que no complica desmedidamente su gestión, es el del agrupamiento en contenedores (o bolsas) verdes, azules y negras. Este criterio de selección es utilizado en algunos países de Europa³ y en algunas regiones de los Estados Unidos⁴.



³ Ver ejemplo en <http://www.greenwich.gov.uk/Greenwich/YourEnvironment/RubbishRecycling/>

⁴ Ver el caso de la ciudad de Los Ángeles.

En este modelo de clasificación, los residuos orgánicos de origen vegetal se agrupan en el contenedor, o bolsa, de color azul (figura b); en cambio los residuos recuperables y/o reciclables como, papeles, vidrios, metales y plásticos se agrupan en el contenedor de color verde (figura a). Los residuos que no pertenecen a ninguna de las dos categorías previas se agrupan en el contenedor de color negro (figura c).

Recolección y Transporte

En algunas localidades de nuestro país se practica la recolección domiciliar diferenciada, con lo cual el sistema origen-destino de RSU adquiere una notable mejora de rendimiento. A continuación se describen posibles formas de recolectar y transportar los RSU desde que se generan en origen (el hogar)⁵, hasta su procesamiento, o directamente disposición final:

1- RSU mezclados: recolección de los RSU “tal cual”, de manera mezclada, en un vehículo con un solo compartimiento, sin separación alguna.

2- Reciclables mezclados, separados al momento de la recolección: se disponen los reciclables mezclados, los cuales son separados por el recolector en la recolección. El vehículo que los recolecta tiene varios compartimentos.

3- Reciclables pre-diferenciados: los reciclables son previamente separados por el generador en el hogar. Un vehículo con varios compartimentos los recolecta.

4- Reciclables mezclados: los reciclables en un vehículo con dos compartimentos; uno para todos los derivados del papel y el otro para el resto.

5- Co-recolección en un vehículo con un solo compartimiento: los rechazos mezclados en una bolsa y los reciclables por separado en otra. Se transportan en un vehículo con un solo compartimiento.

6- Co-recolección en un vehículo con dos compartimentos: en una bolsa los rechazos mezclados y en otra los reciclables mezclados. Se transportan en un vehículo con dos compartimentos, los reciclables hasta un Centro Verde, y los rechazos hasta una planta de tratamiento que puede ser para VERSU, para Compostaje, para elaborar Combustibles Derivados de Residuos (CDR), o directamente se puede verter en un Enterramiento Sanitario (ES). A veces este modelo de co-recolección se hace con un vehículo de tres compartimentos: uno para los residuos mezclados, otro para los reciclables derivados del papel y el tercero para el resto de los reciclables.

7- Descartes mezclados, después de sacar los reciclables: si los reciclables son recolectados en la opción 2, 3 y 4, los descartes se recolectan en un vehículo de un solo compartimiento, como en la opción 1.

8- Contenedores de reciclables: esta opción permite a los vecinos llevar los materiales reciclables hasta un contenedor común, cerca del hogar, en el que se acopian los materiales a reciclar.

9- Camión recolector de hojas: las hojas de los jardines en un camión con barredora/aspiradora. Esto es en la época de otoño en las zonas residenciales.

10- Recolección de residuos de jardín: en un vehículo con un solo compartimiento. Se especifica a los vecinos la modalidad en la que deben sacarse estos residuos a la calle; por ejemplo si es con una bolsa de un determinado color, o de material degradable. Los residuos de jardín también

⁵ Poner el doc de referencia

pueden ser recolectados como descarte en la opción 1 y 7, al menos que alguna normativa prohíba el compostaje en el hogar

0- Acopio de los residuos orgánicos: es para compostar en el hogar los residuos orgánicos de origen vegetal. El producto resultante, el compost, si no se usa se puede recolectar con un vehículo. Se especifica a los vecinos la modalidad en la que deben sacarse estos residuos a la calle (en bolsa de color o de material degradable). Al menos que alguna normativa prohíba el compostaje en el hogar, los residuos de jardín también pueden ser recolectados como descarte en la opción 1 y 7.

Tratamientos a evaluar

A los RSU generados en la ciudad, es posible darles un tratamiento adecuado mediante acciones que disminuyan, el impacto ambiental, el uso de energías y el uso de suelo para su disposición final. Pero para que las soluciones no sólo sean adecuadas ambientalmente, sino también sostenibles técnica, social y económicamente, es necesario diseñar e implementar, dentro del sistema origen-destino, soluciones tecno-organizativas adecuadas a las condiciones locales.

Las soluciones deben ser combinaciones de distintos tratamientos, ya que no existe tratamiento alguno que dé solución definitiva y única a todos los RSU generados en una ciudad. Si queremos minimizar el impacto ambiental, dentro de un sistema de origen-destino de RSU, los tratamientos deben gestionarse pensando que están relacionados mutuamente.

La combinación de tratamientos que se elija dependerá de la situación local, aunque hay pautas fuertes a saber. La Agenda XXI de Río '92 y Johannesburgo 2002, asignan prioridad a la Prevención de la generación de RSU, lo cual implica establecer prioridades para los tratamientos a que deberán ser sometidos.

Por su lado, la USEPA inicialmente determinó un orden jerárquico constituido por Reducción en origen, Reciclaje, Incineración y Disposición Final, reemplazando luego a la Incineración por el Tratamiento.

En algunos lugares, tal es el caso de la UE, esta jerarquía de prioridades está definida por ley, en formato de principios, pero como obligación. En Alemania, esta ley se conoce como "*Act for Promoting Closed Substance Cycle Waste Management*".

A lo largo del tiempo se han presentado múltiples propuestas sobre la jerarquía de preferencias que debe tener cada alternativa. Sin embargo, la jerarquía no puede ser estática, sino que cada alternativa debe ser considerada como una herramienta eficaz, debiendo adaptarse a las necesidades de cada lugar donde se aplica. En nuestro país, la ENGIRSU (2005) identificó la siguiente jerarquía de preferencias:

1. Reducir
2. Re-utilizar
3. Reciclar
4. Tratar
5. Enterrar

A pesar de este orden de prioridades, la ENGIRSU (2005) también reconoció que el uso rígido de una lista de jerarquías puede originar limitaciones ya que:

- La base científica y técnica de una Jerarquía determinada, mas allá de que debe ser considerada, siempre será relativa.
- Una Jerarquía fija no permite combinar distintas opciones de utilización de los componentes que la integran. No puede predecir, por ejemplo, si el tratamiento biológico combinado con el térmico, es preferible al reciclado o a la disposición final en Enterramiento Sanitario (ES).

Por otro lado, debe aclararse que un listado de jerarquía entre alternativas, no se orienta a priorizar los costos de operación, y por lo tanto no ayuda, e incluso puede no estar en concordancia, con la evaluación y ponderación económica necesaria para la implementación de cualquier sistema de gestión origen-destino de RSU.

Para la toma de decisiones, es necesario realizar una evaluación global de todo el sistema de componentes, que una jerarquización estática impide realizar. Según la ENGIRSU (2005) la Jerarquía fija no puede responder a la amplia gama de situaciones locales, que de hecho diferencian la implementación eficiente de una gestión integral. Entonces, en lugar de una Jerarquía rígida y carente de opciones, es aconsejable un acercamiento holístico a la realidad local que combine distintos tratamientos de RSU⁶.

Las posibles soluciones tecno-organizativas a los RSU, que combine distintos tratamientos, son muchas. A continuación se describen solo los TT utilizados recuperar la energía, y tratamientos que pueden presentarse como una alternativa a estos, en términos ambientales.

1º) Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB)

Para el caso de los RSU “tal cual”, es decir que se han recolectado sin diferenciarse, la estabilización⁷ busca primero separar los materiales reciclables/recuperables, y en segundo lugar descomponer aeróbicamente el resto de los RSU, para que se puedan disponer en un Enterramiento Sanitario (ES) con mínimo impacto ambiental. Esta estabilización de la fracción orgánica de los RSU permite que no se generen ni lixiviados, ni gases contaminantes en el ES.

Para el caso en que la fracción orgánica de los residuos (RSOD) se recolecte de manera diferenciada, se puede utilizar el tratamiento de la bio-gasificación. Este es una descomposición anaeróbica en la que se obtiene por un lado

⁶ En nuestro país se tratan RSU en plantas dedicadas a la industrialización de materiales diferenciados, que puedan ser reciclados o reusados, entre los que se destacan los plásticos, vidrios, textiles, metales, papel, cartón y otros. Estos son los puntos 2 y 3 de las Opciones Jerárquicas. Sobre el punto 1, poco se hace.

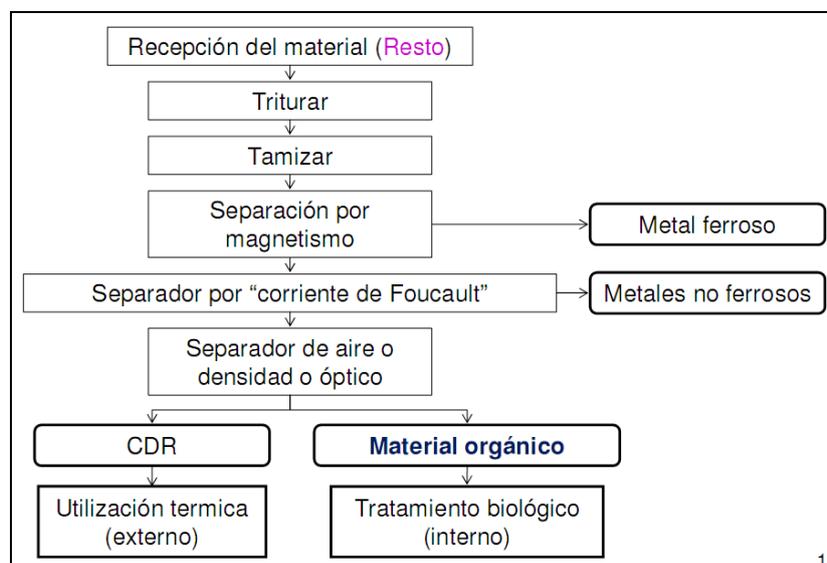
⁷ Lo que en este informe se denomina “Estabilización”, en la jerga técnica se lo conoce como Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB)

metano, y por el otro un sub-producto que puede enterrarse, o usarse como mejorador de suelos. Para esta fracción, también el compostaje es un tratamiento posible, proceso de transformación aeróbica de los RSOD, del que se obtiene un mejorador de suelos conocido como compost. A continuación se describe brevemente cada uno de estos posibles tratamientos.

1º A) Estabilización⁸

La primera etapa es un tratamiento mecánico, para separar los restos de RSU que son una mezcla extremadamente heterogénea de materiales. Esto permite:

- Máximo aprovechamiento de materiales para reciclar/utilizar:
 - metales ferrosos y metales no ferrosos
 - materiales de alto valor calorífico como madera, papel, plásticos, etc. -> Combustibles Derivados de Residuos (CDR)
- Disminuir y limpiar el material para el tratamiento biológico.



La segunda etapa, es un tratamiento biológico, en la que se llevan a cabo:

- Estabilización del material orgánico (intensivo/extensivo):
 - A) aerobio-biológico: con oxígeno y sin generación biogás
 - B) anaerobio-biológico: sin oxígeno y con la generación de biogás
 - C) combinaciones de A y B

Estos son procesos acelerados, bajo condiciones controladas, que permiten la captura y tratamiento de todas las emisiones gaseosas y líquidas. Esto es:

- Se reduce el volumen y la masa del material orgánico.
- Se obtiene un material apto para el Enterramiento Sanitario (ES), que provoca pocas emisiones de "metano" y/o menos contaminación de los lixiviados.

⁸ Administración de RSU en Alemania y Austria: Historia, Soluciones técnicas y la Situación actual. Dr.-Ing. Peter Degener (2000)

1º B) Biogasificación⁹

El biogás se puede generar en un digestor especialmente construido para procesar Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD) diferenciados; este es el caso de digestores instalados para procesar los residuos de algunas agroindustrias o de mercados centrales que generan grandes cantidades de un residuo de características más o menos homogéneas.

Un metro cúbico de biogás se genera a partir de 5-10 Kg de residuos con un 50% de materia orgánica, resultando una mezcla de gases compuesta por un 45-60% de metano, 40-60% de dióxido de carbono, 2-5% de nitrógeno, 1% de oxígeno, pequeñas cantidades de amoníaco, monóxido de carbono, hidrógeno, etc. y cantidades traza de otros constituyentes como mercaptanos, compuestos organosulfurados, etc.

De todo el gas generado, aproximadamente, entre un 50 y un 80% estará disponible para su recolección y, de este, un 60% durante los 10 primeros años, un 35% en los siguientes 10 años y, el resto en un plazo posterior de 20 a 30 años.

Si los caudales extraídos son suficientes, es posible el aprovechamiento energético. Las técnicas empleadas hoy en día en la desgasificación y posterior aprovechamiento energético se encuentran suficientemente desarrolladas. En un ES, un sistema de desgasificación se compone de tres elementos centrales:

- 1) La captación de gases mediante una red de pozos verticales, o zanjas horizontales, distribuidos regularmente por toda la superficie del vertedero, en los que se introducen tuberías ranuradas con el objetivo de que penetre el gas.
- 2) La conducción y control de los gases hasta los colectores principales. Son tuberías, que van desde la cabeza de los pozos hasta los colectores.
- 3) Por último, el transporte de gases hasta la estación de aspiración se realiza mediante colectores de mayor diámetro a los que se conectan los ramales de conducción.

1º C) Compostaje¹⁰

Su práctica formal está más difundida en las ciudades pequeñas, aunque en las tres áreas metropolitanas más grandes del país, Gran Buenos Aires, Gran Córdoba y Gran Rosario existen instalaciones para producir compost.

Los modelos de gestión, tanto para compostaje como vermicompostaje, según el grado de centralidad y de participación de los vecinos, pueden clasificarse principalmente de dos maneras. Sus diferencias radican en la cantidad de residuos a tratar, en los agentes implicados y en los recursos económicos invertidos. Este proceso es posible para la fracción de los RSU conocida como RSOD.

La Gestión centralizada es un modelo con servicios propios del municipio o de algún contratado. Son ejemplos de este modelo el de la Comuna La Pintana,

⁹ Tomado de Revista Ambientum: Energía en vertederos de RSU

¹⁰ Residuos Orgánicos Domiciliarios. Aportes a una solución posible. Garrido G, Silbert V. INTI-Córdoba, 2009.

en Santiago de Chile, que posee una planta de vermicompostaje de 7.500 [m²] para una población de 190.000 [hab.]¹¹. También se puede mencionar el caso de la planta de tratamiento de orgánicos de la ciudad de Christchurch, en Nueva Zelanda, con alto nivel de tecnología para procesar restos de comida, podas y todo lo relacionado al mantenimiento de parques y jardines¹².

En este modelo, cada hogar posee un recipiente (entregado por el municipio, o no) para disponer sus residuos orgánicos¹³. El sistema de recolección de los residuos es diferenciado, por lo que el camión retirará los RSOD y los llevará a la planta de tratamiento, en la que pasarán por un proceso de compostaje y/o vermicompostaje hasta obtener como producto final un abono para suelos.

El abono obtenido puede ser aplicado al suelo para mejorar sus características físicas, químicas y biológicas.¹⁴ Al ser un fertilizante rico en nutrientes y con capacidades restauradoras de suelo, puede ser utilizado por el municipio para las áreas verdes de la ciudad, realizar emprendimientos productivos de tipo frutihortícolas o viveros forestales y/o ornamentales que le permita disponer de material para las áreas verdes del municipio.

Cabe reseñar que dentro del modelo de compostaje centralizado o industrial, cada planta utiliza un sistema de tratamiento de más o menos sofisticación. No todas son iguales, por ejemplo en la fase de descomposición, se puede utilizar un digestor, túneles o pilas, según criterios técnicos.

La Gestión Descentralizada es el otro posible modelo para gestionar los RSOD. El proceso de compostaje es el mismo que en un sistema de Gestión Centralizada, pero en este caso es a pequeña escala. El producto obtenido, si el proceso fue realizado de manera correcta, se obtiene un abono para las plantas del hogar, ya sea como sustrato para macetas o para plantas u hortalizas del jardín¹⁵

Se puede realizar el compostaje en composteras o vermi-compostadores. Estos equipos se pueden adaptar a viviendas con jardín y/o departamentos con balcón. Dentro del modelo de Gestión Descentralizado es posible diferenciar:

- El compostaje colectivo, modelo que persigue el reciclado de los restos orgánicos generados en espacios o jardines comunes de viviendas, espacios públicos, escuelas, etc. Este tipo de compostaje representa una práctica social interesante y educativa, aunque implica una cierta organización de recursos y personas.
- El compostaje doméstico es en cambio una forma individual de gestionar en el hogar los residuos orgánicos propios. Los vecinos mediante sistemas sencillos, reciclan esos restos orgánicos provocando la formación de un compost que sirve de mejorador (abono) de suelos para el jardín o huerta.

¹¹Ver link: http://www.sinia.cl/1292/articles-31679_Estudio_de_casos.pdf

¹² Ver link: <http://www.ccc.govt.nz/homeliving/rubbishrecycling/index.aspx>

¹³ Ver la Opción 10 de "Recolección y Transporte"

¹⁴Ver: "El compostaje y su utilización en agricultura". Manuales FIA, Chile.

<http://bibliotecadigital.innovacionagraria.cl/gsd/collect/publicac/index/assoc/HASH0151.dir/1Compostaje.pdf>

¹⁵ Indicaciones para diferentes usos del compost domiciliario. Ver Página 38 en link: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/compsmuni.pdf>

2º) Tratamiento Térmico (TT)

No existen antecedentes de este tipo de tratamiento en nuestro país con fines de VERSU. Aunque sí existe la incineración de residuos patógenos, pero solo con fines según reglamentan las normas el tratamiento que deben recibir los Residuos Peligrosos.

Los tratamientos térmicos (TT) se utilizan con la finalidad de, reducir el volumen de RSU previo a su disposición final y de valorizarlos energéticamente. Son una herramienta importante dentro del sistema de gestión origen-destino, por lo que es importante que en nuestro país exista solvencia técnica sobre el asunto. Estos tratamientos de RSU, con sus fortalezas/debilidades, deben ser adaptados a las condiciones y requerimientos de cada situación.

A continuación se describen los tratamientos térmicos avanzados (TTA), que incluyen la técnica de la Gasificación y de la Pirólisis. El tratamiento térmico convencional (TTC) refiere a la incineración, técnica históricamente utilizada para los RSU.

2º A) Tratamientos Térmicos Avanzados (TTA)

Refiere a los métodos denominados Pirólisis y Gasificación. Los RSU se calientan a altas temperaturas con una cantidad de oxígeno limitada. El proceso se lleva a cabo en un contenedor sellado a alta presión. Según afirman expertos técnicos, este tipo de tratamiento permite convertir el material en energía de manera más eficiente que la Incineración (TTC). En estos tratamientos, se genera energía que puede recuperarse y usarse.

- Gasificación¹⁶

La pirólisis es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales excepto metales y vidrios causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno¹⁷.

La gasificación es un proceso termoquímico en el que los RSU es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno).

Es la degradación térmica parcial de una sustancia, con la presencia de oxígeno, pero con una cantidad insuficiente como para que el material combustible no se oxide completamente. Las características generales de la gasificación de los RSU son:

- Un gas como aire, oxígeno, o un flujo, es usado como fuente de oxígeno y para actuar como conductor gaseoso que remueva los productos de la reacción del lugar.
- Temperaturas moderadas, por lo general encima de los 750°C.
- Los productos que se obtienen son metano, hidrógeno y monóxido de carbono. Los residuos que se generan son, los materiales que no se pudieron quemar y pequeñas cantidades de Carbono.
- El proceso global no convierte toda la energía química de los RSU en energía térmica, en cambio deja algo de energía química almacenado en el syngas (gas de síntesis) y en los desechos de los RSU.

¹⁶ Fitchner (2004). PYROLYSIS, GASIFICATION and COMBUSTION.

¹⁷ Localmente, en Tampa, existe un antecedente de una planta de gasificación de carbón, para obtener hidrógeno.

- La composición del gas es muy dependiente de las condiciones en las que se realiza la gasificación pero suelen ser ricos en monóxido de carbono y/o hidrógeno, con contenidos menores de dióxido de carbono, metano y otros hidrocarburos. El sustrato carbonoso de origen y el agente gasificante son los parámetros que determinan el mayor o menor contenido en energía (poder calorífico) del gas.
- El típico PCN (poder calorífico neto) del gas que se obtiene de la gasificación es del orden de los 10 a 15 [MJ/Nm³].
- El típico PCN (poder calorífico neto) del gas que se obtiene utilizando aire es del orden de 4 a 10 [MJ/Nm³].

Para que sea comparable, se puede mencionar que el PCN del gas natural es del orden de los 38 [MJ/Nm³]. La gasificación ofrece al menos el potencial teórico de usos innovadores del syngas que se obtiene en el proceso, distinto al típico uso calórico de otros tratamientos. Permite el reemplazo de los combustibles fósiles en grandes plantas o como el insumo para la producción de químicos o combustibles líquidos.

- Pirolisis¹⁸

Es la degradación térmica de una sustancia, en la ausencia de oxígeno adicional. Las características generales de la pirólisis de RSU son:

- Sin presencia de oxígeno (o casi sin oxígeno) además del que pueda estar presente en el combustible (RSU).
- Temperaturas típicamente bajas desde 300 °C hasta 800 °C.
- Se obtiene como producto el syngas (los principales componentes combustibles son el monóxido, el hidrógeno, el metano y algunas cadenas de carbonos largas) y como desechos (los componentes no combustibles y una cantidad significativa de Carbono).
- La falta general de oxígeno, y la falta de adición de gases diluyentes, significa que el PCN del syngas que se obtiene de un proceso de pirólisis es por lo general más alto que el de la gasificación. Valores típicos del syngas producido oscila entre los 10 y 20 [MJ/Nm³].
- El proceso global de pirólisis, generalmente convierte menos energía química en térmica, comparada con la gasificación.

El syngas que se obtiene de la pirólisis, al igual que el de la gasificación, ofrece la posibilidad de usos más innovadores, que el típico uso térmico que ofrece la incineración.

Además la tecnología para este tratamiento de los RSU se lleva a cabo con temperaturas más bajas que la incineración y la gasificación. El resultado es menos volatilización del Carbono y de ciertos otros contaminantes como los metales pesados y los precursores de dioxinas en las emisiones gaseosas. Al final del proceso, los efluentes gaseosos requerirán menos tratamientos para alcanzar los límites que fijan las normas. Todos los contaminantes que no se volatilicen, se retienen en los residuos (cenizas) de la pirólisis y deben recibir un tratamiento y disposición adecuada. Los beneficios en las emisiones debido a las bajas temperaturas son largamente tapados, si después las cenizas se llevan a altas temperaturas como en la gasificación o incineración.

¹⁸ Fitchner (2004). PYROLYSIS, GASIFICATION and COMBUSTION.

Los desechos sólidos del proceso de pirólisis podrían contener hasta 40% de Carbono, representando una proporción significativa de la energía contenida en los RSU. La recuperación de la energía del carbonizado, es importante para la eficiencia energética global.

2º B) Tratamiento Térmico Convencional (TTC)

Denominamos en este informe TTC, al proceso de Incineración. Este es un método de combustión a altas temperaturas, que convierte los RSU en calor, emisiones gaseosas y ceniza residual sólida. A continuación se presenta una breve descripción de este tratamiento térmico.

- Incineración¹⁹

Este proceso de combustión implica la degradación térmica total de una sustancia, con la suficiente cantidad de oxígeno como para quemar completamente el combustible. Las características generales de la combustión de un flujo de RSU son las siguientes:

- Se requiere exceso de aire para asegurar la oxidación completa.
- Se requiere de temperaturas máximas elevadas, por lo general por encima de los 1.000°C.
- El combustible (RSU) es oxidado completamente y convertido en CO₂ y vapor, dejando solo una pequeña cantidad de Carbono en forma de ceniza (menos del 3% en cenizas del total de RSU quemados).
- El proceso global convierte casi toda la energía química almacenada en los RSU en energía térmica, dejando ningún rastro de energía química en el gas de combustión y muy poca cantidad de energía química en las cenizas

3º) Tratamiento Físico (TF)

Esta opción está orientada a transformar, acondicionar, una fracción de los RSU generados en un combustible homogéneo, que se pueda comercializar y utilizar por un tercero en alguna planta generadora de energía eléctrica o de calor. También dentro de este grupo, se incluye la co-combustión que refiere a la combustión de una fracción de RSU en una planta que exista previamente y que además de quemar un combustible tradicional incorpore en el proceso de combustión una fracción de RSU.

- Combustible Derivado de Residuos (CDR)

Las plantas donde se producen Combustibles Derivados de Residuos (CDR) separan los RSU en dos fracción según el poder calorífico (BTU / kg). Además para aprovechar económicamente los CDR, en la industria pesada (industrias del cemento y siderúrgica), o bien en usinas, es necesario alcanzar un granulado de por ejemplo 20 mm.

Para conseguir este tamaño de salida con una exitosa extracción de impropios, es necesario un proceso gradual de trituración, siendo la pre-trituración un factor clave. La extracción de impropios (no deseados) se suele hacer mediante un separador de materiales pesados, lo que permite reducir costos por desgaste, mejorar la calidad del producto, elevar la disponibilidad y todo ello genera una planta rentable.

Las etapas del proceso suelen ser:

¹⁹ Fitchner (2004). PYROLYSIS, GASIFICATION and COMBUSTION.

- Trituración previa de residuos no tratados.
- Separación de metales férricos.
- Separación de materiales pesados.
- Trituración posterior.
- Manejo de materiales.

- Co-combustión

El concepto es bastante sencillo y por lo general aplicable a toda la tipología de sistemas de combustión: plantas de producción de energía eléctrica (combustible pulverizado, lecho fluido o parrilla), plantas de producción de cemento (horno rotatorio), siderurgia (altos hornos) y sistemas de producción de energía térmica bien para industria o bien en el sector doméstico.

Las tecnologías usualmente empleadas en co-combustión suelen diferenciarse entre las que efectúan co-combustión directa y las indirecta. En el primer caso el combustible secundario (biomasa, por ejemplo) se introduce mediante el mismo sistema de combustión (mezclado con el combustible fósil) o de manera separada (quemadores específicos) dentro de la misma caldera u horno, realizándose el proceso de combustión conjuntamente.

En el caso de la co-combustión indirecta, la combustión no se realiza de manera conjunta. Dentro de los sistemas de co-combustión indirecta están aquellos que una vez obtenidos los productos de combustión de ambos combustibles éstos se mezclan y se utilizan conjuntamente para transmitir la energía térmica a un fluido caloportador (centrales térmicas o sistemas de producción de calor) o a un producto (hornos de clinker para cemento y la siderurgia).

Los residuos generados por otras industrias puedan utilizarse como combustibles alternativos, por ejemplo en la industria del cemento²⁰. El coprocesamiento implica la integración de residuos generados por una industria a otro proceso productivo. Por ejemplo, la industria cementera, a través del coprocesamiento, aprovecha la energía contenida en algunos residuos. Este es un proceso físico de trituración y blending. El residuo tratado ingresa luego al proceso de fabricación del clinker (componente principal del cemento).

4º) Sin Tratamiento (ST)

Este es la opción en la que el RSU recolectado no recibe tratamiento alguno antes de recibir su disposición final en algún sitio. Esto significa un enterramiento directo (ESdirecto). Este es el modo en que actualmente la mayoría de los RSU se gestionan en nuestro país. Todos los RSU en estado "tal cual", sin tratamiento alguno, se recolectan a través de los camiones con un solo compartimento, para ser trasladados y depositados en algún lugar especialmente acondicionado, tal es el caso de los ES; o a veces cuando la recolección es informal, como sucede en muchos casos, en los Basurales a Cielo Abierto (BCA).

²⁰ Es el caso local de la empresa Eco-blend, unidad de negocios de Cementos Minetti, perteneciente a la multinacional Holcim. Esta empresa incinera residuos de la industria de las pinturas gráficas, de la celulosa y el papel, de la industria agrícola y agroquímica, de la automotriz, auto-partista y de neumáticos, de las petroleras y químicas, de las usinas eléctricas, de la química y farmacéutica, del acero y la metalurgia, de las alimenticias, de los similares a RSU y efluentes, de la metalmecánica y maquinarias, de la construcción, cerámicos y muebles.

En nuestro país, el ESdirecto es la alternativa más utilizada. La gran mayoría de los RSU que se generan se disponen directamente sin tratamiento alguno. A continuación en la siguiente sección se describe más acabadamente las alternativas de disposición final.

Disposición Final

La disposición es el destino final que se le da a los RSU. Se puede optar por alternativas sencillas y actualmente en uso, otras que requieran inversiones en equipamiento y/o infraestructura, y hasta otras más complejas y que solo existen a nivel experimental.

La disposición final, seguirá existiendo dentro de los sistemas origen-destino que gestionan los RSU²¹. Aún logrando reducciones sustanciales en la generación, reciclando y/o valorizando la mayor cantidad posible de los RSU que se generen, la disposición final seguirá siendo necesaria.

En nuestro país, según afirma el diagnóstico de la SAyDS, utilizado para elaborar la ENGI RSU (2004), en muchos casos se utiliza la disposición final de los residuos en Basurales a Cielo Abierto (BCA)²² con escasos controles ambientales y técnicos, con los consiguientes riesgos derivados para la salud y ambiente.

La otra alternativa es el Enterramiento Sanitario (ES), alternativa superadora al BCA, dentro de la disposición final. Este también se conoce como vertedero controlado. Esta técnica ha evolucionado sustancialmente desde sus prácticas históricas, debido a la preocupación por los impactos ambientales, y la consecuente presión de la población para que se encuentren prácticas más sustentables a la forma de disponer los RSU.

El ES es un agujero en el que se compacta e impermeabiliza tanto el fondo como los laterales. La basura se coloca en capas y se recubre todos los días con una delgada capa de tierra para dificultar la proliferación de ratas y malos olores y disminuir el riesgo de incendios.

Una variante con más ingeniería incorporada son los enterramientos sanitarios con aprovechamiento del biogás (EScB). Esta tecnología de disposición final, además de minimizar y controlar las emisiones, captura los gases que se generan durante la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de RSU y los utiliza como combustibles, ya sea para generar calor o electricidad (Ver en pág. 10 biogasificación).

Las motivaciones para desarrollar nuevos métodos de disposición final, traducido en presiones legales del público en general; en algunos lugares como Canadá, permitió que se desarrollaran sistemas de ES con ingeniería de punta; es el caso del paquete denominado enterramiento biorreactante (EB).

²¹ Tomado de documento Canadiense.

²² Las cuestiones territoriales, contrariamente a lo que debiera hacerse, no se consideran de forma asociada a la gestión de los RSU.

El EB es un enterramiento con alta ingeniería incorporada, que permite catalizar la descomposición pero de manera controlada. La diferencia fundamental de un EB con un sistema de ES de avanzada, es que se incorpora mayor control al proceso de descomposición de los RSU.

Algunos técnicos sugieren que un sistema EB puede estabilizar los RSU depositados en un período de 10 a 15 años, comparado con el sistema convencional de ES que lleva 100 años. Esto también reduce el riesgo y los controles ambientales en el largo plazo.

Los principales beneficios de un EB²³ son:

- Rápida estabilización de los residuos, lo que resulta en un acortamiento del tiempo de descomposición y por ende de los tiempos dedicados a la ingeniería de control del enterramiento.
- Asentamientos rápidos de los sitios donde están los enterramientos, liberando de buscar otros sitios donde seguir enterrando los RSU.
- Tratamiento in-situ de los lixiviados, lo que permite reducir la carga de los contaminantes.
- Mayor potencial de recuperación del biogás, lo que permite su aprovechamiento, y fomentando el desarrollo comercial de este tipo de soluciones.

Los sitios de ES, dependiendo del contexto con el que se gestiona, reciben una gran variedad de residuos no peligrosos. Hay una tendencia a tratar de excluir el enterramiento de ciertos materiales. La disposición de residuos líquidos, no está permitida en muchos ES debido a la posibilidad que perneen hacia las napas. Los residuos peligrosos no van a los ES; estos son manejados con normativas especiales, en sitios de disposición especialmente controlados.

En algunos lugares, cuando el material puede ser aprovechado o tratado de otro modo, entonces directamente se prohíbe su ES. Inclusive en muchos lugares, cuando los materiales tienen la posibilidad de ser reciclados, se prohíbe que se los entierre. Estos mecanismos de limitaciones de lo que se permita que sea enterrado, aseguran que los residuos tengan el tratamiento y destino más conveniente, y que solo vaya al ES lo que no puede darse otro destino.

²³ Solid Waste as a Resource. Guide for Sustainable communities (2004).

Análisis de Escenarios

La composición de los RSU, descrita en la sección “Generación”, puede variar de manera infinita. Además como se detalló en las secciones “Clasificación” y “Recolección”, también hay muchas maneras de hacerlo. Por otro lado, las posibles maneras de “Tratamiento” y “Disposición” de los RSU, también son muchas; algunas de estas fueron descritas en las secciones anteriores.

Al momento de diseñar e implementar, dentro de un sistema origen-destino de RSU, soluciones tecno-organizativas adecuadas a las condiciones locales, es necesario tener en cuenta cada uno de estos elementos. Sin embargo, [para este informe, solo se analiza el “Tratamiento” y la “Disposición”](#); el resto de los eslabones, necesarios de incluir para una valoración ambiental sistémica, quedan excluidos transitoriamente. En la siguiente tabla, se resumen las opciones técnicamente viables para estos dos eslabones, que podría tener un municipio de nuestro país.

	Tratamiento		Logística	Disposición final			
1º	TMB (Mecánico- Biológico)	A	Estabilización	Transporte en camión	I	Basural a cielo abierto (BCA)	
		B	Biogasificación		II	Enterramiento Sanitario (ES)	
		C	Compostaje		III	Ent.Sanitario c/ Biogás (EScB)	
2º	TT (Térmico)	A	TTA (Avanzado)		Gasificación	IV	Enterramiento Biorreactante (EB)
			Pirólisis		V	Caminos y construcciones (CyC)	
3º		B	TTC (Convencional)		Incineración	VI	En suelos deteriorados (SD)
			(ST) Sin Tratamiento				
4º	Tratamiento	A	Combustible Derivado de Residuos				
	Físico (TF)	B	Co-combustión				

Tabla 2. Alternativas de tratamiento y disposición de la fracción no reciclable de RSU.

Por otro lado, si siguiésemos la jerarquía recomendada por la ENGIRSU, el TT solo debería contemplarse como posibilidad para la fracción de los RSU que no se pueden evitar que se generen, que no se pueden reutilizar, y que no se pueden reciclar. Sin embargo [en este informe se analizan todos los RSU que de alguna manera tienen la posibilidad técnica de VERSU a través de algún TT.](#)

[Para este informe, se asume que un municipio \(cualquiera\), al momento de decidir si le conviene utilizar el TT, lo analizaría para algunas de las siguientes fracciones de RSU:](#)

- RSU “tal cual”.
- Plásticos (PE, PP, PS, PET y PVC).
- Celulósicos (papel y cartón).
- Residuos húmedos (de alimentos y del jardín).

Es evidente que, sobre la fracción de RSU no reciclable, antes de la disposición final siempre hay otra opción frente al TT. Sin embargo es sabido que no todas las alternativas de tratamiento tienen el mismo grado de desarrollo comercial; y menos en nuestro país, donde muchas de las tecnologías que se mencionan en este informe, no tienen ni siquiera experiencia alguna. A pesar de la disparidad evidente en el grado de desarrollo, [para este informe se asume que todos los escenarios tecno-organizativos están en igualdad de condiciones, tanto técnica como económicamente.](#)

En base a los elementos de la tabla 2, en la siguiente tabla se combinan estos elementos elaborando algunos “**escenarios tecno-organizativos**”²⁴ que un municipio podría llevar adelante. Un municipio debería tratar de articular estas posibilidades de tratamiento y disposición, al buscar la optimización del desempeño ambiental durante la gestión. Nótese que los escenarios están armados en función de los elementos disponibles de la tabla anterior.

TMB		TT		TF	ST
1º A II	1º B II	2º A III	2º B III	3º A III	4º - I
1ºA 2º B II	1º C III	2º A V	2º B VI	3º B III	4º - II
	1º C VII	2º A VI	2º B VII		4º - III
					4º - IV

Tabla 3. Posibles escenarios tecno-organizativos para la fracción de RSU no reciclable.

Para el primer grupo de posibles tratamientos, las opciones están orientadas a minimizar o controlar las reacciones no deseadas durante la descomposición de los residuos; además se intenta obtener como sub-producto, energía y/o un mejorador de suelos.

El segundo grupo de posibles tratamientos tiene la finalidad de aprovechar el contenido energético de los RSU (VERSU), y además pretende minimizar la cantidad de espacio utilizado en su disposición final.

Dentro de los escenarios, un tercer grupo, abarca las soluciones que se orientan a VERSU en plantas industriales pre-existentes. Una posibilidad es que los RSU se transformen en CDR (pre-tratamiento) para luego aprovecharse energéticamente. La otra es mezclarlos con otros combustibles y quemarlos directamente (co-combustión), como lo hace la industria cementera.

El cuarto grupo, corresponde a la alternativa que se aplica de manera mayoritaria, en nuestro país, por estos días. Esto es la disposición final de los RSU sin tratamiento (ST) alguno. Por supuesto que aunque no hay pre-tratamiento de los RSU, no todas las opciones son iguales, ni implican el mismo grado de esfuerzo durante su operación. Es así que los RSU pueden disponerse en un BCA, en un ES, en un EScB, o hasta en un EB, moderno método desarrollado por canadienses.

Son muchos los escenarios que podrían compararse y ser analizados. [En este informe solo se toman algunos de los escenarios mencionados en la tabla 3.](#) Además debe aclararse que los escenarios tecno-organizativos que se rescatan para analizar, corresponden a realidades distintas a las nuestras, ya que son estudios para otros países. A pesar que los escenarios que se analizan no corresponden a nuestra realidad, hay muchos elementos que deberían ser comunes a nuestros municipios. Los escenarios planteados de estos estudios, con algunas adaptaciones, deberían tener la probabilidad de implementarse en nuestro país.

²⁴ Escenarios: Son situaciones hipotéticas que podrían darse como variantes a los modelos o destinos existentes. Describen circunstancias, condiciones o acontecimientos que podrían darse en el futuro o si se decidiera introducir algún cambio. En este estudio, los escenarios serán modelos tecno-organizativos hipotéticos que un municipio podría seleccionar, tanto en materia de nuevos destinos, tecnologías o maneras de organizar los procesos.

Casos analizados

Los tratamientos que se desarrollan a continuación, se analizan como parte de escenarios tecno-organizativos. Se comparan escenarios, que bajo determinadas condiciones locales y con determinados tratamientos, dan respuesta a un sistema integral origen-destino de RSU. [En este informe, las alternativas que se comparan, fueron analizadas con la herramienta de análisis de ciclo de vida \(LCA\)](#), que permite comparar el desempeño ambiental de distintas alternativas²⁵. Los estudios de casos que se seleccionaron son 28 (veintiocho), y se encuentran referenciados al final de este informe.

Primero, para poner en perspectiva el desempeño ambiental de distintos escenarios que incluyen tecnologías de tratamientos, se mencionan estudios que analizan cuales deberían ser las prioridades. Comparan escenarios de: Reciclado vs. TMB vs. VE vs. ESdirecto. En segundo lugar, se muestran estudios que contrastan TT (para VE) vs. Reciclado. En tercer lugar, se muestran comparaciones de TT (para VE) vs. TMB.

tratamiento	fracción de RSU	Nº estudio analizado ²⁶				
1) Jerarquía entre opciones: Reciclado vs. TB vs. TT vs. ES directo ²⁷		5				
2) TT vs. Reciclado	Fracción húmeda	26	6	4	25	
	Papel&Cartón	28	24			
	Metales&Plásticos	21	25			
3) TT vs. TMB	Orgánicos	17	19			
4) TT vs. ESdirecto (ST)	RSU "tal cual"	27	18	19	14	20
	Papel&Cartón	25				
	Plásticos	22	23			
	Fracción húmeda	12				
5) VE: TT (Incineración, Gasificación & Pirolisis) vs. DA (Biogás) vs. TF (Co-combustión directa & CDR+combustión)		2	7	15	16	
6) TT: Gasificación (TTA) vs. Pirolisis (TTA) v. Incineración (TTC)		8	9	10	11	12
7) Disposición final: BCA vs. ES vs. EScB vs. EB		5				

Tabla 4. Estudios analizados, para distintos tipos de RSU y tratamientos posibles.

En cuarto lugar, se muestran comparaciones de TT (para VE) vs. ESdirecto. En quinto lugar, se muestran estudios que comparan alternativas de VE, esto es: TT (Incineración, Gasificación & Pirolisis) vs. DA (Biogás) vs. TF (Co-combustión directa & CDR+combustión). Como sexto paso, se muestran estudios que comparan el desempeño ambiental de alternativas de TT: Gasificación (TTA) vs. Pirolisis (TTA) vs. Incineración (TTC). En la séptima y última comparación, se muestra que no da lo mismo, en términos ambientales cualquier tipo de disposición final, y que inclusive una adecuada disposición final, puede ser superadora en términos ambientales a algunas opciones de TT. Se muestran algunos estudios que comparan: BCA vs. ES vs. EScB vs. EB.

²⁵ es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un proceso a lo largo de todo su ciclo de vida, mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando.

²⁶ Ver al final de este informe, en la sección "Estudios analizados", los datos de referencia de cada estudio.

²⁷ ES+ST = Enterramiento sanitario directo de los RSU, sin tratamiento alguno.

Categorías analizadas

Existen categorías de impacto ambiental a escala local y también a escala global. La relevancia de cada categoría está en función de lo que se decida priorizar²⁸. Por ejemplo un estudio de la consultora Profu (2004), que comparó la incineración de los RSU con otros tratamientos posibles, para distintos países de la UE, consideró solo las categorías de:

a) Calentamiento Global: refiere a la contribución del fenómeno del aumento de la temperatura media global de la atmósfera terrestre y de los océanos.

b) Acidificación: refiere al proceso mediante el cual el pH del suelo disminuye. Aunque hay suelos naturalmente ácidos y seres vivos capaces de sobrevivir en condiciones ácidas, un suelo con un pH bajo o en disminución presenta problemas de desarrollo porque el crecimiento de plantas y microorganismos se inhiben.

c) Eutrofización: refiere al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Un ecosistema eutrofizado está caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.

d) Esmog fotoquímico: (o foto-oxidación) es la contaminación del aire, por ozono originado por reacciones fotoquímicas, y otros compuestos. El ozono puede provocar problemas respiratorios en el ser humano. Se suele generar en ciudades con mucho tráfico (emisión de NOx y COVs), cálidas y soleadas, y con poco movimiento de masas de aire.

e) Toxicidad: usada para medir el grado tóxico o venenoso de algunos elementos. Puede referirse al efecto de una sustancia sobre un organismo completo, como es el del ser humano (toxicidad humana), o puede referirse a la contaminación del ambiente (eco-toxicidad).

Pero también hay algunas categorías de impacto de carácter más local, que también tienen relevancia y deben ser consideradas. Es el caso del a) Uso de energía y de materiales (recursos abióticos), b) Generación de ruidos, c) generación de olor/polvo, d) Seguridad&higiene en el trabajo, e) Atracción de insectos/roedores/aves, y f) Congestión del tránsito.

Los criterios que se utilizan para incluir impactos son de lo más variados; por ejemplo un estudio británico del año 2004 menciona que, al comparar entre alternativas de tratamiento de RSU, se deben considerar los impactos del a) costo de capital, b) costos operativos, c) uso de suelo, d) emisiones, e) balance energético, f) balance de materiales, y g) eficiencia energética.

Los impactos sociales también deberían tenerse en cuenta al momento de decidir entre una alternativa y otra. Aunque fuera del alcance de este informe, son importantes de considerar²⁹.

Es importante mencionar, que al considerar más o menos categorías de impactos en un análisis, podría dar mayor precisión de los puntos donde mejorar, pero difícilmente cambie los resultados globales de un estudio.

²⁸ estas son las categorías tomadas por el doc sueco.

²⁹ The Viability of Advanced Thermal Treatment of MSW in the UK - FICHTNER

1º Los tratamientos térmicos dentro de las Jerarquías: Reciclado vs. TMB vs. VE vs. ESdirecto (ST)

Las jerarquías definidas globalmente, y en términos generales acordada por la ENGIRSU, son 1º) Reducir; 2º) Re-utilizar; 3º) Reciclar; 4º) Valorizar energéticamente; y finalmente, si ninguna de las anteriores fue posible 5º) Enterrar. Hay países que no sólo lo entienden así, sino que lo practican. Son los casos por ejemplo de Alemania y Suecia, que han logrado desviar del enterramiento directo el 80% de los RSU que se generan, y tienen metas establecidas de llegar al 2020 con “enterramiento cero”³⁰.

A pesar que hay jerarquías claras entre las alternativas, en cada caso las opciones deben evaluarse y contrastarse con otras, en base a las condiciones locales. El estudio 5) realizado en Alemania (2009), hace un aporte importante en sus conclusiones al afirmar que los beneficios ambientales de cualquier alternativa de tratamiento, se puede conseguir en función de la constelación que se considere para el sistema de RSU origen-destino. Esto significa que el desempeño ambiental de una solución, no depende tanto de la tecnología en particular seleccionada para una planta, sino más bien de la relación planta/sistema, esto es como se estructura la tecnología dentro del sistema. El Reciclado practicado de manera aislada, el TT en soledad, o el TMB solo, no son soluciones globales. Las soluciones deben ser articuladas.

Resumen

- En términos generales las prioridades en la gestión origen-destino de RSU, está en el siguiente orden: Reducir, Re-utilizar, Reciclar, Tratar, y Enterrar.
- Los beneficios ambientales de cualquier tratamiento, se pueden conseguir con una constelación adecuada del sistema origen-destino de RSU.

2º Los tratamientos térmicos como alternativa al reciclado TT vs. Reciclado

El estudio 26) realizado en USA (1996), relevó antecedentes que comparaban, con la metodología LCA, alternativas de Reciclado, Incineración y ESdirecto. Después de analizar los parámetros más importantes del sistema origen-destino, se concluyó que el Reciclado de materiales ofrece ventajas ambientales sobre la Incineración. El Reciclado tiene ventajas en las categorías de uso de energía y emisiones al suelo y al agua. Por supuesto que estas conclusiones no pueden ser generalizadas, solo pueden ser asignadas al contexto, y al tipo y antigüedad de tecnologías que se asumieron para dichas comparaciones.

En esta misma línea el estudio 6) realizado en USA (1996), se pregunta si conviene Reciclar o Incinerar. Para esto compara el escenario tecno-organizativo 1) Reciclado+ Producción con material reciclado, con la opción 2) Incineración (+ES)+ Producción con material virgen. Los resultados muestran que la primera opción, cuando es analizada sistémicamente, es ampliamente superadora en términos ambientales respecto a la segunda opción. Si sólo se contemplaran las actividades de reciclado de manera aislada, sin contar los beneficios del sistema (externalidades positivas del reciclado), la opción de

³⁰ Dr.-Ing. Peter Degener - ARGE Biopuster

“Incinerar, no reciclar y utilizar material virgen en productos nuevos” podría ser superadora.

Pero tampoco es conveniente Reciclar todos los RSU reciclables, hay puntos de equilibrio. Este análisis lo aborda el estudio 4), realizado en Italia (2008), en el que compara en términos ambientales la alternativa del Reciclado (valorización material) frente a la del VERSU (valorización energética). Sus resultados muestran que, cuando todos los materiales se reciclan con alta eficiencia, el nivel óptimo de recolección diferenciada (destinado al reciclado) es alrededor del 60%. Pero disminuye al 50%, cuando el % de recolección diferenciada para reciclado se alcanza como resultado de una reducción considerable en la calidad de los materiales que se recolectan. El estudio concluye para este caso, que el nivel de Reciclado debería manejarse en el rango de 50-60% de los RSU, acompañado de una planta de incineración, que genere energía (calor y electricidad) con la fracción no reciclable.

Los resultados del estudio 25), hecho en Suecia (2002), afirman que la conocida pirámide de las jerarquías tiene que usarse como la “regla de cajón”³¹. El Reciclado, tanto de papeles como de plásticos, permite disminuir el uso de energía y la generación de Gases Efecto Invernadero (GEI)³². El caso de los **metales** no es abordado por este estudio, pero hay sobradas evidencias que el Reciclado genera un ahorro sustancial en el uso de energía y en la generación de emisiones, siendo ampliamente superador a sus alternativas.

Para el caso del **papel usado**, las conclusiones a las que llega un estudio también pueden ser diferentes. Es el caso del estudio 28), realizado en EU (2007), en el que se repasan nueve casos que analizan el mejor destino del papel pos-consumo. Estos nueve casos, seleccionados sobre la base de ciertos criterios, se analizaron críticamente. Las conclusiones señalan que en todos los casos, el Reciclado del papel usado genera menor impacto ambiental que la alternativa del ES ó la Incineración.

Hay que reconocer que también hay antecedentes de estudios, vinculados al papel usado, en los que se llega a conclusiones diferentes. Un caso bastante particular es el estudio 24), realizado en Italia (2003). Este compara posibles tratamientos para el papel usado, y concluye que para todas las categorías de impacto ambiental relevantes, la opción de VERSU con TT es preferible frente al Reciclado. Según este estudio, los beneficios del aprovechamiento energético son muchos, porque el fabricante primario de papel (en este caso no se fabrica donde se consume) lo hace con energía limpia, lo que genera pocos GEI. En cambio en el país donde se utiliza el papel (Italia), para reciclarlo se utilizaría energía sucia, generando mayores GEI.

Sin embargo la posición del estudio italiano es débil; estudios recientes reafirman que el Reciclado del papel es la mejor opción. Sus ventajas están relacionadas con el ahorro de madera y de la energía que se utiliza para

³¹ Regla de cajón: “Rule of thumb” es una expresión inglesa que designa un principio de amplia aplicación que no necesariamente es estrictamente preciso ni confiable en cada situación.

³² Se denominan GEI, a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Los más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria.

producirla. Las diferencias entre las conclusiones de un estudio a otro, se deben a los criterios utilizados para definir los límites del sistema modelado. Los límites asumidos al modelar, condicionan los resultados, particularmente al modelar la madera que se usa para producir el papel virgen y al modelar los suelos necesarios para producirla.

Para el caso de los **plásticos**, cuando se compara al Reciclado con el TT, el estudio 21) realizado en Austria (2000), muestra que el Reciclado tiene mejor desempeño si se miran los GEI, aunque no hay que olvidar los mayores costos operativos de esta alternativa.

Resumen

- De los RSU generados, el Reciclaje es lo mejor destino posible.
- Los plásticos, papeles y metales son los más convenientes de Reciclar.
- El Reciclado es bueno hasta cierto punto. Cuando el esfuerzo para diferenciar es muy grande, conviene acudir a tratamientos de menor jerarquía. En algunos casos, se habla de 50-60% de reciclado.
- La combinación de Reciclado + Incineración parece ser una buena alternativa.

3º Los tratamientos térmicos como alternativa a los biológicos y químicos TT vs. TB vs. TQ

El estudio 19) realizado en Suecia (2002) afirma que el TT debe darse en el marco de Reciclado+Incineración, y que esta combinación es mejor en términos ambientales que la de TB+Incineración.

Para la **fracción orgánica** de los RSU³³, algunos estudios afirman que el mejor desempeño ambiental lo ofrecen los tratamientos biológicos (TB). Tanto la Estabilización, el Compostaje, como la Digestión Anaeróbica (DA) son una buena alternativa, sobre todo en los dos últimos casos, cuando el sub-producto se puede utilizar como mejorador de suelos. Algunos resultados que comparan emisiones, sugieren que la VERSU a través de la DA, sería más segura que la del TT. Además mencionan que los TB tienen la capacidad de degradar muchos componentes tóxicos presentes en los RSU, tales como dioxinas e hidrocarburos policíclicos aromáticos. Esta importante propiedad podría ser optimizada, para que el sub-producto pueda usarse de manera segura en suelos agrícolas. A pesar de las certezas que arrojan los estudios, también recomiendan hacer más análisis comparativos entre las alternativas del TB con la del TT para VERSU.

La elección entre Incineración, Estabilización, Compostaje y DA no es tan obvia. El Compostaje y la DA son buenas opciones cuando hay interés en aplicar los sub-productos sobre los suelos agrícolas. Este destino de los sub-productos permite recircular los nutrientes en los suelos, además de ahorrar en fertilizantes sintéticos. Además reciben créditos ambientales por el aprovechamiento del fósforo, nitrógeno y potasio en sus sub-productos y por el ahorro de emisiones al evitar que se produzcan los fertilizantes sintéticos.

Por otra parte, el estudio 17) realizado para la ciudad de Los Ángeles en USA (2010), compara el desempeño ambiental de alternativas de TTA de RSU (Gasificación y Pirolisis) con tratamientos químicos y biológicos novedosos.

³³ Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD)

Compara los TTA, con la DA, el Compostaje, el Syngas+Etanol, el Biodiesel, la Depolimerización Térmica, y el Catalytic Cracking. Este estudio analiza centralmente el impacto “uso de suelo”, y llega a la conclusión que las opciones de TTA son superadoras. El motivo principal argumentado es la reducción del volumen y por ende la menor cantidad de suelo utilizado para la disposición final de los restos. Además el estudio dice que los TTA generan mayor cantidad de electricidad, que tiene un mercado garantizado, y menor volumen de sub-productos. Además el estudio concluye que los TTA permiten eficiencias térmicas más altas, frente a las alternativas comparadas, porque convierten en energía todos los RSU orgánicos, no solo los biodegradables.

Resumen

- El Compostaje y la DA son buenas alternativas de tratamientos para los RSOD, si están bien diferenciados y si el sub-producto que se obtiene puede utilizarse como mejorador de suelos.
- Los TT para producir energía, Gasificación y Pirólisis, parecen ser mejor alternativa frente a las alternativas como el Syngas+Etanol, el Biodiesel, la Depolimerización Térmica, y el Catalytic Cracking.

4º Los tratamientos térmicos como alternativa al enterramiento TT vs. ESdirecto

La combustión de los RSU, que ocurre en todos los TT, inclusive en la que se quema biogás, produce componentes tóxicos como los NOx, CO, partículas finas y ultra-finas, componentes orgánicos volátiles y semi-volátiles; en los residuos sólidos de la combustión, también produce metales tóxicos y contaminantes orgánicos persistentes (POP), tanto en las cenizas que se acumulan abajo como en las que se volatilizan (Valerio, 2008)³⁴.

En cambio en el ESdirecto (ST) de los RSU, muchos de esos componentes tóxicos están ausentes o en menores concentraciones. Las emisiones gaseosas que se generan, tienen contaminantes de relativa baja toxicidad, tales como el amonio, el metano (Amlinger et al., 2008) y los terpenos (Pierucci et al., 2005). Los POPs (Brändli et al., 2005) y contaminantes inorgánicos (metales y nitratos) pueden contaminar tanto los sólidos que se obtienen (como el compost o el sub-producto del biogás), como las emisiones líquidas (Greenway and Song, 2002).

El estudio 27), analiza diversos casos en EU (2004), y concluye que en casi todos los escenarios, el ESdirecto es la peor opción en términos ambientales. Además advierte que para las fracciones de RSU bien diferenciadas y limpias, el Reciclado permite tratarlos con menor impacto que la Incineración. Sin embargo el estudio aclara que, estos resultados de LCA son sensibles a los valores asumidos para cada escenario. En función del tipo de electricidad que se asume que la Incineración reemplaza, puede dar resultados que sean mejor o peor que la opción de Reciclar. Por ejemplo, cuando se asume que la electricidad que se genera, reemplaza electricidad generada con fuentes sucias como el carbón, entonces la alternativa de Incineración de RSU toma fuerza.

³⁴ Environmental impacts of post-consumer material managements: Recycling, biological treatments, incineration. F. Valerio. Italy

Según la Pirámide de Jerarquías, reafirmada por la ENGIRSU (2005), los TT que valorizan energéticamente los RSU, tienen prioridad sobre el ESdirecto. Sin embargo las ventajas de una alternativa (TT) sobre otra (ES directo), muchas veces no son evidentes; por lo que cada caso en particular debe ser analizado. A continuación se repasan resultados de una serie de estudios, que comparan TT con ESdirecto, para distintas composiciones de RSU.

4.a) Para los **RSU en estado “tal cual”**³⁵, que se recolectan sin diferenciar, y se envían a una planta de TT para VERSU, las categorías de impacto como calentamiento global, eutrofización, foto-oxidación y toxicidad, son mejores para el TT, si se lo compara con la alternativa del ESdirecto.

El estudio 18), realizado en Italia (2003), llegó a la conclusión de que para los RSU “tal cual”, el ESdirecto tiene una performance ambiental pobre; y que la Incineración tiene mejor desempeño para las categorías “uso de energía” y “emisiones de GEI”; pero mayor impacto en las categorías: “consumo de agua”, “generación de polvo” y “emisiones de efluentes”. En la misma línea, el estudio 19), realizado en Suecia (2002), concluye que el ESdirecto debería evitarse.

Por otra parte, el estudio 14), realizado en China (2002), compara el desempeño ambiental de la alternativa del ESdirecto con la Incineración. Este estudio no pudo llegar a una conclusión firme, argumentando que hay un montón de variables (de las que deben asumirse valores para modelar) que afectan los resultados finales. Aunque aporta un dato interesante al afirmar que el factor de mayor relevancia, que determina el resultado es el tipo de energía que se asume como sustituida. Esto es, la Incineración de RSU reemplaza energía que se produciría con otra fuente. Si se incluyen los beneficios ambientales de dicha sustitución, los resultados de la comparación entre alternativas se modifican sustancialmente. También aclara que los métodos para aminorar los impactos, a través del control de contaminantes, son más efectivos en la Incineración que en el ESdirecto.

El estudio 20) realizado en Suiza (2003), que analiza los flujos de metales pesados; entre las alternativas de procesamiento, muestra que el aprovechamiento energético con TT tiene mejor performance ambiental, debido a que se pueden recuperar los metales pesados y además tiene una eficiencia energética razonable. Para este tipo de RSU, la opción analizada de TB+ES, tiene una performance ambiental más baja que la opción de VERSU con TT. Además, este estudio también concluye que la peor opción ambiental es el ESdirecto, y que la clave es la VERSU de la manera más eficiente posible.

4.b) Por otro lado, los estudios que analizaron la fracción de RSU referida a los **plásticos**³⁶, **(PE, PP, PS, PET y PVC)**³⁷ no pudieron arribar con certeza plena sobre la opción más conveniente cuando se pretende minimizar los GEI. Los estudios de casos que compararon el desempeño ambiental de la opción de TT vs. ESdirecto, encontraron que esta segunda alternativa era una opción

³⁵ Profu (2004) tabla 3.9.

³⁶ Profu (2004) tablas 3.10a y 3.10b

³⁷ Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Policloruro de Vinilo (PVC), Polietileno Tereftalato (PET).

superadora. Probablemente se deba al horizonte de tiempo utilizado al modelar el ESdirecto³⁸, además tampoco se analizó la categoría “uso de energía”.

Cuando se modela para el corto plazo, las emisiones de GEI son menores para la alternativa del ESdirecto, ya que solo una pequeña parte de los plásticos se degradan. Solo en pocas categorías de impacto, el TT es mejor que el ESdirecto. En el resto de las categorías de impacto, tal como acidificación, eutrofización, foto-oxidación, y toxicidad³⁹, el ESdirecto parece ser mejor. Es importante advertir que ninguno de estos estudios analizó la categoría de impacto: uso de energía.

Los resultados del estudio 22) realizado en Alemania (2002), indican que la Incineración de los plásticos genera mayor emisión de GEI comparado al ESdirecto, y que la mejor opción es el Reciclado ya que permite ahorrar energía y emitir menos GEI. Por otro lado, el estudio 23), realizado en Alemania (2001), que compara el Reciclado con el ESdirecto, muestra que la segunda alternativa no tiene ningún tipo de ventaja ambiental sobre para ningún tipo de plástico. El estudio concluye que el Reciclado es una alternativa superadora para la mayoría de los envases plásticos.

4.c) Los estudios que comparan las alternativas para la fracción de **papel & cartón**⁴⁰ de RSU, del TT frente a la del ESdirecto, encontraron que en la categoría de calentamiento global, el ESdirecto era mejor. Pero estos resultados están fuertemente condicionados por la cantidad de años que se incluyen en la modelación. En el corto plazo, el ESdirecto se podría considerar una forma de secuestrar Carbono, ya que solo una fracción del papel (constituido por hemi-celulosa, celulosa y lignina) se degrada. En el corto plazo, para la fracción que no se degrada, el ESdirecto no genera GEI y por lo tanto es mejor que el TT en el cual todo el papel es oxidado y convertido a CO₂ cuando se produce la combustión. En cambio para las otras categorías de impacto como acidificación, eutrofización, foto-oxidación y toxicidad, la opción del TT parece ser superadora a la del ESdirecto inclusive tomando una escala de tiempo corta.

Los resultados del estudio 25), hecho en Suecia (2002), afirman que la conocida pirámide de las jerarquías tiene que usarse como la “regla de cajón”⁴¹. El Reciclado, tanto de papeles como de materiales plásticos, permite disminuir el uso de energía y la generación de GEI. Pero advierte que si al aprovechamiento energético con TT del papel se lo compara con ESdirecto, debido a puede reemplazar petróleo o carbón, se presenta como una alternativa superadora. Solo en este marco, una política activa que promueva la Incineración de papeles usados podría colaborar en la reducción de GEI. La Incineración es una buena opción si su alternativa es el ESdirecto, en las categorías de uso total de energía, emisiones de gases y calentamiento global.

³⁸ Enterramiento Sanitario (ES) directo = Enterramiento Sin Tratamiento (ST)

³⁹ Profu (2004) tabla 3.10b

⁴⁰ Profu (2004) tables 3.11a and 3.11b

⁴¹ Regla de cajón: “Rule of thumb” es una expresión inglesa que designa un principio de amplia aplicación que no necesariamente es estrictamente preciso ni confiable en cada situación.

4.d) Respecto a la fracción orgánica de RSU correspondiente a los **restos de alimentos**⁴² también denominada RSOD, la VERSU con TT parece ser mejor que el ESdirecto. Esto es en las categorías de calentamiento global, acidificación, eutrofización y foto-oxidación, aunque no en toxicidad. Aquí también debe mencionarse que el método utilizado para modelar el sistema, condiciona los resultados, además no se compara la categoría de impacto “uso de energía”, donde la VERSU es mejor. A pesar de estas carencias en la comparación, en ningún caso el ESdirecto supera a la VERSU a través de TT.

El estudio 12), realizado en Suecia (2010), compara las alternativas de TT (TTC y TTA) con el ESdirecto con aprovechamiento de biogás (EScB). Concluye que los TT son una alternativa superadora para las categorías “uso de energía y materiales” (recursos no renovables) y “destrucción capa de ozono”. La alternativa del EScB tiene menor impacto ambiental que los TT cuando, si se aprovecha el metano (biogás) y se controlan las emisiones a la atmósfera de los gases contaminantes. Sin embargo la opción del EScB directo tiene impacto significativo en las categorías de foto-oxidación, calentamiento global y acidificación.

Para los restos de alimentos este estudio afirma que el EScB es mejor en términos ambientales que los TT. Sin embargo debido a la gran extensión de suelo que requiere, las dificultades para controlar sus emisiones, y el tiempo durante el cual es necesario prolongar su control (un enterramiento necesita 100 años para estabilizarse), en muchos países organizados industrialmente el ES tiene cada vez menos cabida.

Resumen

- En casi todos los escenarios, el ESdirecto es la peor opción en términos ambientales.
- Según la Pirámide de Jerarquías, los VERSU tienen prioridad frente al ESdirecto. Sin embargo las ventajas, muchas veces no son evidentes.
- Para los RSU “tal cual”, el ESdirecto tiene una performance ambiental pobre en comparación a la Incineración.
- Para los plásticos, la Incineración genera mayor emisiones que el ESdirecto. La mejor opción es el Reciclado ya que permite ahorrar energía y genera menos emisiones.
- Para los papeles, el Reciclado es la mejor alternativa. Pero la VERSU a través de TT puede reemplazar petróleo, por lo que también puede ser una alternativa superadora frente al ESdirecto.
- Para los restos de alimentos, los TB (Estabilización, Compostaje o Digestión Anaeróbica) parecen ser la mejor alternativa. Pero la VERSU con TT parece ser mejor que el ESdirecto. En cambio el EScB sería mejor en términos ambientales que los TT.

⁴² Profu (2004) tables 3.12a and 3.12b

5º Los tratamientos térmicos dentro de las VERSU

TT vs. DA vs. TF

A continuación se muestran comparaciones entre alternativas tecnológicas que existen para VERSU. El estudio 3), realizado en Tailandia (2003), compara las opciones de VERSU de la DA con la de Incineración. Los impactos potenciales como “calentamiento global”, “acidificación”, “destrucción de capa de ozono” y “foto-oxidación”, son menores con la DA ya que se genera electricidad y también como sub-producto un mejorador de suelos. Según este estudio, la DA permite mayor aprovechamiento energético que la Incineración.

Por otro lado, el estudio 7) realizado en Italia (2007) compara las distintas combinaciones de tratamientos con el propósito de VERSU. Compara las alternativas de 1) Incineración, 2) Estabilización + Incineración, 3) producción de CDR + Gasificación + Co-combustión. Según este estudio, desde el punto de vista energético, la mejor estrategia es la tercera, aunque para desde el punto de vista ambiental es al revés, la tercera opción es la menos conveniente. Según la perspectiva de este estudio, lo más conveniente es instalar plantas de energía exclusivas, en particular cuando los RSU no se recolectan de manera diferenciada; aunque advierte que desde un punto de vista económico, la tercera opción generaría mejores ingresos al vender la energía.

El estudio 2) realizado en Singapore (2009), comparó una gran gama de posibilidades de VERSU, algunas de ellas con elevado nivel tecnológico. El estudio encontró que los que peor desempeño ambiental ofrecían eran la Gasificación de los RSU granulados con “thermal cracking” y la Gasificación de los CDR, mientras que los que mejor desempeño ofrecían eran la Gasificación y Pirólisis de los RSU

Por otra parte, el estudio 15), realizado en Suecia (2009), compara cuatro alternativas de valorización energética. El ES con aprov. de biogás (EScB), la digestión anaeróbica (DA), la Incineración, la Gasificación y la Pirólisis. Los resultados muestran que para el impacto “calentamiento global”, las opciones de EScB e Incineración son las que mejor performance ambiental ofrecen. Por otro lado los TT (TTA y TTC) tienen los impactos más significativos en las categorías de “respiración de inorgánicos” y “acidificación”. En términos globales, la DA y las TTA son las opciones de VERSU que se identificaron como menos contaminantes. Este estudio afirma que estas dos opciones son las más convenientes si se busca valorizar los residuos energéticamente.

El estudio 16), realizado en Italia (2008), compara 1) el ESdirecto, 2) la DA, 3) CDR+Incineración, y 4) la Incineración directa. En estas últimas tres alternativas el producto principal sería electricidad. Los resultados indican que el ESdirecto tiene los peores índices de eficiencia, efectividad e impacto ambiental a escala global. Las alternativas de Reciclado+VERSU ofrecen, entre otros, importantes reducciones de GEI; aunque por otro lado generan impactos locales adversos.

Resumen

- En términos generales, la DA y los TTA son las opciones de VERSU que se identificaron como menos contaminantes.
- La DA permitiría mejor aprovechamiento energético que la Incineración (TTC).
- Cada constelación de TT que se considere para el sistema origen-destino de RSU, tiene sus ventajas y desventajas.
- Los TTA modernas, como el “thermal cracking”, además de complejas, no parecen ofrecer ventajas ambientales respecto a la Gasificación y Pirólisis.

6º Las alternativas de tratamientos térmicos

TT: Gasificación (TTA) vs. Pirólisis (TTA) vs. Incineración (TTC)

El estudio 8) realizado en Italia (2003), compara la performance ambiental entre opciones tecnológicas de TT. Al comparar la Incineración, Gasificación y Pirólisis concluye que desde el punto de vista energético la Pirólisis, con el sistema de arco de plasma, en una planta de ciclo combinado (CHP), es la alternativa más conveniente. Mientras que el uso de usinas de vapor tiene más ventajas cuando se aplica a la Incineración. Por otra parte, desde el punto de vista tecnológico el estudio afirma que los TTA, comparado al TTC, pueden funcionar a menor escala. Además las emisiones de la Gasificación, excepto para los NOx y el mercurio, son menores que la del TTC.

Por otro lado, el estudio 9) realizado en USA (2002) comparó, dos tecnologías de Gasificación, una de Incineración y una de CDR+Incineración. El estudio concluyó que la Gasificación tiene mejor eficiencia energética para pasar de RSU a electricidad, aunque tiene costos totales (decapital+operativos) más altos.

El estudio 10), realizado en USA (2004), que contrasta el desempeño ambiental del TTC con el TTA para generar electricidad, concluye que si no se usa la energía térmica, el TTA es más apropiado que el TTC. De hecho el TTA produce mayor cantidad de electricidad, implica menores costos operativos y genera menos GEI por KWh. El estudio afirma que para poder comparar estas opciones, es necesario que el TTC coloque la energía térmica generada para que pueda diluir los costos y las emisiones de GEI por KWh.

Por otro lado, el estudio 11) realizado en USA (1995), concluye que los TTA tendrían costos similares, emisiones ambientales más bajas y perspectivas de mayores eficiencia energética, en comparación a los TTC. Sin embargo aclara que estos aspectos nunca han sido probados a nivel comercial, y hasta que la tecnología de los TTA llegue a su madurez, seguirá siendo más cara que la del TTC.

Por otro lado, el estudio 12), realizado en Suecia (2010), concluye que los TTA (Gasificación y Pirólisis) son más favorable en términos ambientales que la Incineración para las categorías de impacto “calentamiento global”, “acidificación”, “eutrofización” y “eco-toxicidad”. El estudio también señala que cuanto más eficiente es la recuperación energética, mejor es el desempeño ambiental de cualquier alternativa.

Resumen

- Los TTA tendrían emisiones ambientales más bajas y perspectivas de mayor eficiencia energética comparados al TTC.
- Los TTA podrían funcionar a menor escala que el TTC.
- Los TTA tendrían mejor eficiencia energética que las alternativas de fabricación de CDR+TTC.
- El aprovechamiento del excedente térmico, cuando se genera electricidad, es central para que los TT sean viables en términos ambientales.
- Cuanto más eficiente es la recuperación energética en cualquier TT, mejor es el desempeño ambiental,

7º Las alternativas de disposición final BCA vs. ES vs. EScB vs. EB

Según el ENGIRSU (2004) en los basurales a cielo abierto (BCA) se producen contaminaciones sobre el suelo, en las aguas subterráneas y superficiales circundantes, por humos nocivos derivados de la combustión incompleta de los residuos quemados clandestinamente, o emisiones de gases metánicos que se generan, por la acción de vectores -biológicos, hídricos, eólicos o tróficos- potenciales transmisores de enfermedades, el deterioro del paisaje, formas de vida humana no sostenibles para quienes habitan en las inmediaciones o manipulan los residuos, además de otras variadas causas. A las condiciones mencionadas se le agregan otros problemas originados por la saturación o la finalización de la vida útil de los BCA.

En cambio los enterramientos sanitarios (ES) intentan minimizar los impactos ambientales, controlando y/o disminuyendo las emisiones. Para esto se instalan sistemas de drenaje para las aguas y los gases (metano). En la mayoría de estos sitios se realiza la desgasificación pasiva de los módulos, mediante chimeneas de venteo, un sistema que permite descomprimirlos y evitar fisuras en la cobertura superficial y pérdidas de lixiviados pero que, a la vez, libera más rápidamente los GEI⁴³. Los ES están vigilados y se hacen análisis para conocer las emisiones que se están produciendo y corregir los problemas de funcionamiento^{44 y 45}.

Es importante gestionar adecuadamente los RSU que se generan, para minimizar los impactos ambientales. Sin embargo los esfuerzos deben estar bien administrados. A veces se hacen esfuerzos importantes por reducir emisiones durante la gestión de los RSU, pero hay BCA y ES que se han generado antes y que siguen existiendo, que generan mucho mayor contaminación. En este sentido el estudio 5) realizado en Alemania (2009), que

⁴³ Desde hace un tiempo, han surgido en el país iniciativas para utilizar sistemas activos de desgasificación y quema, incentivadas por el MDL previsto en el Protocolo de Kyoto, que permite certificar la cantidad de gases tratados y emitir los bonos correspondientes.

⁴⁴ Los ES que existen en el país se han habilitado con un marco regulatorio mucho menos rigurosos que lo que dictan las actuales normas de muchos países organizados. Inclusive las actuales normas que regulan las condiciones ambientales que debe cumplir un ES varía de una provincia a otra. Estas van desde exigir el cumplimiento de la performance básica de protección ambiental, hasta regulaciones rigurosas que definen estándares mínimos para cada elemento técnico. En algunos países ya existen normativas que regulan cómo debería ser el proceso.

⁴⁵ Es necesario aclarar que no todos los sitios de disposición final están diseñados para lo mismo. Algunos como los ES pueden recibir RSU no peligrosos sin tratar (ST); otros en cambio pueden recibir restos de los RSU incinerados, y otros en cambio solo los residuos estabilizados por TMB. Ver: Landfill modelling in LCA - a contribution based on empirical data

compara alternativas de destino para los RSU, afirma que hoy en día los tratamientos bien establecidos técnica y comercialmente, son buenas maneras de reducir emisiones de GEI, sin embargo aclara que para el caso de Alemania, si se lo compara con las emisiones que se están generando desde los viejos ES, los ahorros conseguidos con cualquier tratamiento son de segunda importancia.

Si bien esta sección no presenta suficientes estudios de LCA que comparen el desempeño ambiental entre opciones de disposición final, está claro que mientras más ingeniería y control exista en un sistema de disposición final, más controlados estarán los potenciales impactos que puedan generar los RSU.

Resumen

- Si se busca reducir emisiones de GEI por los RSU generados, es más importante controlar las emisiones de los ES existentes que esforzarse con tratamientos caros para los nuevos RSU.
- La peor gestión es la que no se hace. Los BCA parecen ser la peor opción en términos ambientales, por lo que deberían evitarse.
- Aparentemente el EScB es una buena alternativa en términos ambientales.
- Aparentemente el EB también es una buena alternativa en términos ambientales.

Factores claves

Por un lado debemos tener en cuenta que los resultados de los estudios citados en la sub-sección anterior se basan en realidades tecno-organizativas diversas, que a su vez tienen RSU de composiciones diversas. No es lo mismo la realidad de una ciudad de China con una de Europa, tampoco es lo mismo la composición de los RSU que se generan en uno y otro lugar.

Por otro lado, existe gran cantidad de factores, cuyos valores se deciden en base a ciertos criterios, al momento de modelizar un sistema que se plantea como solución al problema de los RSU generados. Evidentemente, la manera en que se construyan estos escenarios condicionará los resultados.

Hay factores que aún variando, no modifican sustancialmente el resultado global del desempeño ambiental del sistema; sin embargo hay otros que al modificarse provocan que los resultados globales sean totalmente distintos. Según la CEWEP (2004)⁴⁶ los factores claves que tienden a influir en los resultados de desempeño ambiental de una u otra alternativa, dentro de cualquier sistema tecno-organizativo, son:

Factor clave	Relevancia
Horizonte temporal	La cantidad de años que se incluya en la modelación, afecta a todos los datos de los sistemas, como así también a los alrededores de los sistemas y en la manera de modelar los sistemas.
Desarrollo Tecnológico	Se realizan suposiciones basadas por ejemplo en performance de plantas piloto de laboratorio. Esta suposición puede mejorar sustancialmente, pero de manera arbitraria, la eficiencia de las tecnologías, en relación a las emisiones y a la calidad y cantidad de producto que se obtenga. No se pueden comparar tecnologías comerciales en operación con las de

⁴⁶ Evaluation of Waste Incineration as a treatment and energy recovery method from an environmentally point of view (2004)

	laboratorio.
Condiciones locales	Por ejemplo, en el caso del TT, en el que se genera excedente de calor como sub-producto, si en esa ciudad (o comuna) existe un sistema de calefacción en red (district heating), será posible entonces un mayor aprovechamiento de la energía térmica que se genere. El aprovechamiento de un sub-producto puede afectar de manera sustancial el desempeño ambiental de cualquier opción de tratamiento de RSU.
Generación alternativa de electricidad y calor	El tipo de fuente de energía que se asume se está reemplazando, es decisivo para las emisiones que se evitan generar debido. Las suposiciones en los distintos estudios de desempeño ambiental, van desde el uso de combustibles fósiles (por lo general, carbón y gas natural) hasta energías renovables (biomasa o eólica).
Abastecimiento de energía renovable	Es importante por los supuestos que se asumen en la generación de electricidad y calor de fuentes alternativas, especialmente por los resultados de GEI.
Transporte en el auto de los RSU.	Es relevante cuando una fracción importante de los residuos se transporta en automóviles particulares, para uno de los tratamientos y no para los otros. Por ejemplo, llevamos hasta el Centro Verde en nuestro auto los diarios viejos para que sean reciclados, la alternativa en cambio es cargarlos en el camión recolector convencional que los lleva hasta el Enterramiento Sanitario.

Tabla 1. Factores que influyen para rankear ambientalmente los métodos de tratamientos.

Factor clave	Relevancia
Nivel de emisiones	Depende sobre todo de la composición del RSU que se vaya a tratar, de la tecnología de TT que se elija y del control que se adopte para los gases generados. Mientras más bajas las emisiones, es mejor la performance del TT.
Recuperación de energía	Mientras mayor sea, mayor cantidad de emisiones se evitarán generar para las alternativas de VERSU.
Horizonte temporal y el destino de los residuos	No hay consenso general en la perspectiva de tiempo (horizonte) que debería usarse al modelar el enterramiento de los restos sólidos de RSU tratados térmicamente. El método de estabilización de las cenizas y el horizonte temporal son claves para la modelación del desempeño ambiental del ES de los residuos del TT.

Tabla 2. Factores que influyen para rankear ambientalmente los métodos de TT.

Factor clave	Relevancia
Mercado/demanda de materiales para reciclar	Es importante para los beneficios ambientales del reciclado de materiales. Idealmente, el material reciclado debería reemplazar el material virgen para el mismo producto.
Factor de sustitución	Es importante para los beneficios ambientales del reciclado de materiales. Si alguno de los materiales reciclados no puede ser utilizado debido a la calidad, esto hará que el % de sustitución sea menor. Así es, se deberá usar más material reciclable para reemplazar un determinado monto de material virgen.
Consumo de energía y emisiones en la producción de materiales, vírgenes, y reciclados	A mayor reducción de energía utilizada y emisiones generadas, a través del reciclado, mejor será la performance ambiental del Reciclado comparado con el TT.
Destino de la biomasa en el bosque (reciclado de papel y cartón)	El destino de la biomasa que se ahorra debido a la menor producción de material virgen, puede ser diferente: El árbol puede ser mantenido "tal cual" en el bosque, puede ser cortado y utilizado para producir otra cosa (rebound effect), o puede utilizarse para energía, lo que reemplazaría electricidad y/o calor de origen alternativo. Dependiendo de la opción elegida, la performance del Reciclado en comparación con el TT es claramente afectada.

Tabla 3. Factores que influyen para rankear ambientalmente el Reciclado comparado con TT.

Factor clave	Relevancia
Nivel de emisiones	Es importante en los procesos de tratamiento, pero también en la refinación/distribución del biogás (DA) y en el destino de los residuos de la Estabilización y el Compostaje.
Mercado/ demanda para los sub-productos de la digestión/ compostaje	Solo cuando hay una demanda del compost y de los residuos de biogás como humus, es posible cerrar el circuito (to close the cloop) para el reciclado de los nutrientes, lo que permite reemplazar la producción de otros fertilizantes. Cuando no hay demanda, el compost y los residuos de biogás se tienen que utilizar para otra cosa, como por ejemplo para nivelación de terrenos o para tapar ES, en cuyo caso los beneficios ambientales son mucho menores.
Valor del compost y de los residuos de biogás como humus (topsoil)	En las regiones o zonas donde el humus del suelo productivo está deteriorado, puede ser que los beneficios ambiental por tratar los RSU biológicamente sean mayores.

Tabla 4. Factores que influyen para rankear ambientalmente el TB (Estabilización, Compostaje, Biogás) comparado con TT.

Factor clave	Relevancia
Nivel de emisiones al quemar el CDR	Depende sobre todo del tipo de RSU que se queme, la tecnología de combustión que se utilice y el tratamiento que se haga de los gases.
Combustible alternativo utilizado in la planta de cemento o de energía	Por lo general el impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles es reducido cuando se sustituye parcialmente con los CDR.

Tabla 5. Factores que influyen para rankear ambientalmente de la co-combustión (combustión de CDR en plantas de cemento/ generadoras de energía) comparado con TT.

Factor clave	Relevancia
Modelación del enterramiento (horizonte temporal)	La modelación del ES, por lo general, es más difícil e incierta comparado con la modelación de otras alternativas de tratamiento. Además, por lo general no hay acuerdo en el horizonte temporal (cantidad de años) que debería modelarse el ES. Mientras más largo sea el horizonte, más largas las emisiones al ambiente.
Pre-tratamiento (MBT) Estabilización	La Estabilización (cada vez más usada en Alemania) claramente reduce las posibles emisiones futuras de un ES. Por ejemplo las emisiones de metano son reducidas significativamente.
Secuestro de Carbono	Toma relevancia cuando se utiliza en el modelado un horizonte de tiempo corto y cuando se incluyen los materiales renovables (como el papel y la madera). La celulosa, la hemi-celulosa y la lignina son degradadas solamente en parte; el resto del Carbono es "almacenado" en el ES. En comparación con los TT de los RSU, donde el Carbono es directamente oxidado y convertido a CO ₂ , lo que significa que las emisiones de CO ₂ son evitadas por un período corto de tiempo. Si se analiza solo la categoría de impacto ambiental "Calentamiento Global", es probable que el ES sea superador al TT.

Tabla 6. Factores que influyen para rankear ambientalmente el ES comparado TT.

Conclusiones

1) Es importante definir un plan de largo plazo de gestión de RSU, incorporando la desviación paulatina pero sistemática del ESdirecto, hacia alternativas que ofrezcan mejor desempeño ambiental.

2) Es conveniente disponer de un portafolio de tratamientos de RSU que estén debidamente probados, y que ofrezcan soluciones costo-efectivas. Aceptar que no hay una única forma de optimizar la producción, ni el consumo, ni el pos-consumo (gestión de los RSU). Es necesario aumentar el número de alternativas de tratamiento que un municipio disponga. Eso ayudará a fortalecer la posibilidad de optar por la alternativa más apropiada según cada situación.

3) La disposición final de los RSU en un ESdirecto (ST), definitivamente parece ser la peor opción en términos ambientales. Cualquier alternativa al ES directo parece ser superadora en términos ambientales.

4) Los TT para VERSU, si bien no deberían ser priorizados sobre las alternativas de prevención, re-utilización y reciclado; si se plantean de manera integrada y coordinada con otros tratamientos, pueden cumplir una función importante para absorber los excedentes de RSU no tratados.

6) La VERSU parece no estar por definición en contradicción, u oposición, con el Reciclado u otros métodos de mayor jerarquía. Sin embargo para que sea así, el sistema de origen-destino de los RSU debe gestionarse de manera tal que, los destinos de mayor prioridad siempre sean maximizados antes de pasar a la valorización energética.

Fuente: [Waste Incineration and Waste Prevention: not a contradiction In terms](#)

7) Es posible al mismo tiempo, alentar la VERSU con TT y fomentar la disminución de los RSU que se generan. Expertos alemanes dicen que debería poder manejarse esta tensión. Para reducir la generación de RSU hay que implementar mecanismos como leyes ambientales regulatorias, eco-etiquetados, regulaciones para compras, comunicación e información, e incentivos de mercado.

Fuente: [Waste incineration and waste prevention- not a contradiction in terms](#)

8) Se sabe que se ahorra mucha energía Reciclando los RSU. Desde hace tiempo, expertos ambientales afirman que el ahorro energético que se consigue con el Reciclado es mucho mayor que con la Incineración. Modelaciones que datan de varios años atrás ya mostraban que el Reciclado es un ahorrador neto de GEI, mientras que la Incineración es un generador neto de GEI.

Fuente: [Recycling versus incineration: an energy conservation analysis. Morris, 2001](#)

9) La mejor configuración de un sistema origen-destino de RSU incluiría, por un lado la combinación de los tratamientos de Mecánicos para la separación de los reciclables, y por el otro la DA de los orgánicos. Esta combinación parece efectiva, ya que recupera los materiales de los reciclables y la energía de los humificables (no reciclables).

Fuente: [Greenhouse Gas Balances of Waste Management Scenarios. Eonomia Research & Consulting and EnviroCentre, 2008.](#)

10) La VERSU a través de los TT son una opción importante que deberían alentarse, junto al Reciclado y el TB, apuntando a la reducción de los ES

directos. Después de la prevención y la re-utilización de los RSU, está claro que una estrategia que combine Reciclado, TT y MT que reemplacen al ES directo, sería un modo efectivo para mejorar el desempeño ambiental de la gestión de los RSU.

11) Las proporciones de RSU que deben destinarse al Reciclado, a los TT y a los TB, variarían en cada caso. No es conveniente dictar un valor común para todos. En función de las particularidades y diferencias de cada lugar se podrán definir proporciones óptimas de participación de cada tipo de tratamiento.

Fuente: Profu para CEWEP, 2004

12) No hay mucha información sobre la Estabilización (TB), pero hay algunos elementos que permiten avizorar que esta alternativa TB+ES será cada vez más competitiva frente a la Incineración (TTC). Más competitiva será frente a la opción del ESdirecto, si se contabilizan los ahorros en el uso del suelo y los controles sobre los gases y los lixiviados que se evitan.

Fuente: Waste management options and CC (EC 2001) (ver desde el punto 19)

Sobre el Efecto Invernadero

13) En término de emisiones de GEI, cuando se recolectan los RSU “tal cual”, el TMB, que incluye en primer lugar la separación de Reciclables y en segundo la Estabilización de los orgánicos, previo al ES, es una buena alternativa. Esto es así siempre que se considere el secuestro de Carbono al enterrar el material orgánico.

Fuente: Waste management options and CC (EC 2001) (ver desde el punto 7)

14) Para la fracción orgánica, la separación en origen, seguido de la DA y el Compostaje, parecen ser la mejor opción para la categoría “calentamiento global” generado por los GEI.

Fuente: Waste management options and CC (EC 2001) (ver desde el punto 20)

15) Para la fracción orgánica, cuando el secuestro de Carbono es tenido en cuenta, la Estabilización (TB+ES), tiene mejor desempeño ambiental que la VERSU.

Fuente: Waste Management Options and Climate Change: Final Report for DG Environment. AEAT 2001,

16) La medida más importante para combatir las emisiones de GEI de los RSU, es evitar sus disposición final sin tratamiento alguno (ESdirecto).

Fuente: A comparison of MBT & WtE

17) Las potencialidades que ofrecen cada tratamiento de RSU para minimizar el impacto ambiental pueden sintetizarse de la siguiente manera:

Fuente: Waste & Climate Conference Conclusions 3-4 December 2009

Enterramientos

- Para la fracción orgánica de los RSU, la disposición de RSU en EScB ofrece importantes ahorros ambientales por del secuestro del Carbono.
- Los impactos en los EScB parecen ser sitio-específicos, por lo que asumir valores promedios no parece ser los más conveniente.

Tratamientos térmicos

- Para la fracción de los RSU que no derivan de los fósiles, los TT pueden contribuir como fuentes de energías renovables.
- Es necesario reducir la incertidumbre que existe sobre la proporción de RSU que derivan de los combustibles fósiles. Cuanta más certeza del tipo de RSU, es más sencillo decidir el tratamiento adecuado que minimice las emisiones de GEI.
- La distancia que deben transportarse los RSU, parece ser crucial para la eficiencia energética del sistema origen-destino. Esto es la distancia entre las plantas de TT y el lugar donde se generan los RSU.

Tratamientos mecánicos-biológicos

- La DA podría contribuir de manera importante como fuente de energía renovable, y al mismo tiempo como fuente para fertilizantes.
- El Compostaje podría mitigar de manera sustancial las emisiones de metano de los ES y también podría evitar las emisiones que se generarían para fabricar los fertilizantes que se sustituyen.
- Parece crucial configurar el sistema y seleccionar el tipo de tratamiento en función de las condiciones locales.
- El compost es una manera efectiva de secuestrar Carbono.
- El fósforo es un recurso escaso y se acabaría en los próximos 100 años. El aprovechamiento del fósforo de la fracción de orgánica de los RSU, podría ser más importante que el secuestro de Carbono.

Reciclado

- Está demostrado que existe un ahorro sustancial en el uso de energía y en la generación de emisiones cuando se Reciclan los metales.
- Cada iniciativa de Reciclado se deberían revisar con la herramienta de LCA, pero en general se puede decir que es el tratamiento más efectivo.
- Hay que buscar alguna manera de que los beneficios ambientales de ciertos tratamientos, como la reducción, reutilización, reciclado y valorización energética, sean percibidos por quienes gestionan los RSU y ponen su esfuerzo para que no se envíen al ESdirecto. Los subsidios a ciertas actividades de gestión de RSU, parecen ser necesarios.

Sobre los tratamientos térmicos

18) El tipo de energía que reemplaza la VERSU, influye fuertemente en su desempeño ambiental, sobre todo para la categoría “calentamiento global”. No es lo mismo asumir que la VERSU reemplaza energía eléctrica generada con carbón mineral, que asumir que reemplaza energía de un parque eólico. Las emisiones de CO₂ que se evitan son importantes.

Fuente: [Waste management options and CC \(EC 2001\)](#) (ver desde el punto 11)

19) Al compararse las emisiones de GEI entre las alternativas de TT (Incineración, Gasificación y Pirólisis), no parece haber diferencias sustanciales. Por otro lado, la Incineración directa parece generar menos GEI que la alternativa de CDR+Incineración. Esto es esperable, ya que para producir los CDR es necesario un pre-procesamiento (acondicionamiento) adicional que usa energía.

Fuente: [Waste management options and CC \(EC 2001\)](#) (ver desde el punto 15)

20) Para que la VERSU no compita directamente con el Reciclaje en materiales con alto poder calorífico tales como los derivados de la celulosa (papeles) y del

petróleo (plásticos), tiene que haber pautas y metas de Reciclado claramente establecidas.

Tendencias de los tratamientos térmicos

21) Un documento de Profu, hecho por encargo de la Cewep, planteó dos escenarios posibles en relación a la importancia que se le podría dar en un futuro a la categoría de impacto “Calentamiento Global”.

En el primer escenario se asume que en un futuro, esta categoría de impacto tendría menos presión que la actual (para el contexto europeo); mientras que en el segundo escenario la importancia sería mayor a la actual.

Para ambas situaciones (hipotéticas), el TT para la VERSU tendería a aumentar en relación a la línea de base (año 2004), no sólo en cantidad sino también en eficiencia. Según Profu (2004) la VERSU a través de los TT son una opción importante que deberían alentarse para que se expanda, junto al Reciclado y al TB, apuntando a la reducción del ES directo.

Sobre la disposición final

22) El ESdirecto sigue siendo el sistema más económico, comparado con la mayoría de las opciones, si se lo mide sobre la base de los costos de corto plazo. Sin embargo, los costos del ES cada vez son más caros, debido a la escasez de suelos aptos en cercanía a las metrópolis. Además cada vez hay mayor consenso de los pasivos de largo plazo y de sus potenciales costos para remediar.

23) Las regulaciones sobre la localización, el diseño, la construcción, la operación, el monitoreo, y la gestión del cierre de un ES, son todos medios efectivos para controlar el impacto ambiental. Sin embargo, las prácticas pobres en organización, la baja aceptación del público, el alto tráfico que generan estos sitios, el impacto estético, la desvalorización de los terrenos en las cercanías, entre otras cosas, hace que los ES tengan baja popularidad.

24) Los costos de un ES a pequeña escala, parecen excesivos cuando se les quiere implementar toda la ingeniería de control. Tal vez, y como lo indican algunos intentos regionales, la vía puede ser la gestión coordinada a través de un grupo de municipios con un ES controlado. Según un informe Canadiense, la tendencia global es la gestión centralizada y de mayor escala de los ES.

25) Los impactos ambientales hay que controlarlos mediante el monitoreo de los lixiviados y de las emisiones de gases (metano), reportando la performance alcanzada vs. los estándares. Revisar y actualizar permanente cuando sea viable, el diseño y las prácticas, también es importante.

26) No todos los modos de disposición final tienen el mismo desempeño ambiental; entre uno y otro puede haber grandes diferencias. Pero en términos generales, parece no haber dudas que ambientalmente el ESdirecto está en desventaja frente a alternativas de valorización/aprovechamiento. Como prueba de ello en numerosos países tienen metas de desvío de los RSU del ESdirecto.

[Ejemplo: Directive 1999/31/EC Landfill of Waste](#)

Sobre la mirada sistémica

27) Una mirada sistémica de la gestión de los RSU, asegura que los cambios de algún elemento no interfieren negativamente en otra parte del sistema.

28) Hay que mirar a la gestión de los residuos con la herramienta “ciclo de vida”.

29) En los análisis, es importante considerar la perspectiva de tiempo. Lo que hoy puede ser óptimo, mañana puede no serlo. Además hay que asegurarse que los impactos aguas arriba y abajo sean tenidos en cuenta.

30) Nunca hay que olvidar la perspectiva global, cuando se decida, hay que pensar globalmente para decidir localmente.

31) Todas las opciones de tratamiento ofrecen ventajas para mitigar los impactos ambientales que generan los RSU; sin embargo ninguna es la ganadora absoluta. Todas las opciones ofrecen algo bueno, por lo que deberían integrarse en un sistema de gestión integral origen-destino de los RSU. La clave no es un tratamiento en particular, sino la gestión integrada.

Glosario

BCA	Basural a Cielo Abierto
EB	Enterramiento Biorreactante
ES	Enterramiento Sanitario
EScB	Enterramiento Sanitario con aprov. Del Biogás
TT	Tratamiento Térmico
TTA	Tratamiento Térmico Avanzado (Gasificación y Pirólisis)
TTC	Tratamiento Térmico Convencional (Incineración)
RSU	Residuo Sólido Urbano
RSOD	Residuo Sólido Orgánico Domiciliario
VERSU	Valorización Energética de los RSU
TMB	Tratamiento Mecánico-Biológico
ST	Sin Tratamiento
TF	Tratamiento Físico
TQ	Tratamiento Químico
DA	Digestión Anaerobica
LCA	Análisis de Ciclo de Vida
GEI	Gases Efecto Invernadero
WtE	Waste-to-Energy

Estudios revisados

- 1) LCA of integrated MSW management systems: Case study of the Bologna District. Buttol, Masoni, Bonoli, Goldoni, Belladonna and Cavazzuti. Italia, 2007
- 2) Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies. Hsien H. Khoo. Singapore, 2009.
- 3) Life cycle assessment of MSW-to-energy schemes in Thailand. Chaya, Shabbir and Gheewala. Tailandia, 2006.
- 4) Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems. Rigamonti, Grosso and Giugliano. Italia, 2008.
- 5) LCA - A comparison between Waste to Energy and Mechanical-Biological Treatment. GmbH. Alemania, 2009.
- 6) ENVIRONMENTAL LIFE-CYCLE COMPARISONS OF RECYCLING, LANDFILLING, AND INCINERATION: A Review of Recent Studies. Richard Denison. USA, 1996.
- 7) Energy recovery from municipal waste: A case study for a middle-sized Italian district. Giugliano, Grosso and Rigamonti. Italia, 2007.
- 8) Energetic analysis of advanced thermal conversion technologie. Baggio, Fedrizzi, Grigliante and Ragazzi. Italia, 2003
- 9) Gasification and pyrolysis for waste management: what is the current situation. Klein, Whiting, Archer and Schwager USA, 2004.
- 10) Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. Murphy and McKeogh. USA, 2004.
- 11) Advanced Thermal Conversion Technologies for Energy from Solid Waste. IEA&CADET. USA, 1998.

- 12) Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method. A. U. Zaman. Suecia, 2010.
- 13) Paper waste – Recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments. Villanueva and Wenzel. Dinamarca, 2007.
- 14) Life cycle analysis of sanitary landfill and incineration of municipal solid waste. NI J in2ren, WEI Hong2lian, L IU Yang2sheng, ZHAO Zhi2jie. China, 2002.
- 15) Life Cycle Environmental Assessment of Municipal Solid Waste to Energy Technologies. Atiq Uz Zama. Suecia, 2009.
- 16) Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy. Cherubini, Bargigli and Sergio. Italia, 2008.
- 17) Evaluation of Alternative Solid Waste Processing Technologies. Prepared for: City of Los Angeles. USA, 2005.
- 18) The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. Arena, Mastellone and Perugini. Italia, 2003.
- 19) How should the household waste be treated? Evaluation of various treatment methods (en sueco). Sundqvist, Baky, Carlsson, Eriksson and Granath. Suecia, 2002.
- 20) Ecology: Which Technologies Perform Best? Hellweg, Doka, Finnveden and Hungerbuhler. Suiza, 2003
- 21) Verwertung von Nichtverpackungs-kunststoffabfällen. Kosten-Nutzen-Analyse von Maßnahmen auf dem Weg zur Realisierung einer umfassenden Stoffbewirtschaftung von Kunststoffabfällen. Hutterer, Pilz, Angst and Musial-Mencik. Austria, 2000
- 22) Comparison of plastic packaging waste management options – Feedstock recycling versus energy recovery in Germany. Wollny, Dehoust, Fritsche and Weinem. Alemania, 2002.
- 23) Bases for an ecologically and economically reasonable recycling of sales packaging. Christiani, Griepentrog, Weber, Giegrich, Detzel and Breuer. Alemania, 2001.
- 24) Life cycle assessment of a plastic packaging recycling system, Arena, Mastellone and Perugini. Italia, 2003.
- 25) Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste – Part 1: General Methodology and Results. Finnveden, Johansson Lind and Moberg. Suecia, 2004.
- 26) Environmental life-cycle comparisons of recycling, landfilling and incineration: a review of recent studies. Denison, R.A. USA, 1996.
- 27) Evaluating Waste Incineration as Treatment and Energy Recovery Method from an Environmental Point of View. PROFU. EU, 2004.
- 28) Paper waste – recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments. Villanueva. Dinamarca, 2007.