

Gasificación de residuos en la gestión integral de residuos municipales: contribuciones a la sustentabilidad urbana

DIRECTOR/TITULAR: JOAQUÍN PIECHOCKI

INTEGRANTES: VICENTE NADAL MORA, PEZZOTTI, SANTIAGO; NATALIA REALE, ROMINA; RODRIGUEZ, MATÍAS; FERNÁNDEZ PLASTINO, ALEJANDRO; OTONDO, ELENA; KNOBLAUCH, MARCOS.

ÍNDICE

1	Resumen del proyecto	4
2	Introducción	5
3	Residuos en el partido de La Plata – Caso de estudio	14
4	Legislación	19
5	Planificación	20
6	Análisis de la gestión de residuos	22
6.1	Valoración de topologías de procesamiento de RSU	23
6.1.1	Parámetros económicos.....	23
6.1.2	Análisis ambiental	25
6.1.3	Valoración del sistema en la dimensión social.....	27
7	Procesos de la GIRSU.....	28
7.1	Producción de RSU	30
7.2	Recogida	33
7.3	Plantas de tratamiento locales.....	37
7.4	Compostaje	39
7.5	Procesamiento por gasificación por Plasma	41
7.5.1	Descripción general.....	42
7.5.2	Aspectos de calidad.....	45
7.5.3	Ingreso – Egreso	45
7.5.4	Costo de construcción.....	46
7.5.5	Costo de operación y mantenimiento.....	46
7.5.6	Espacio-Tamaño	46
7.5.7	Escenarios económicos financieros.....	46
7.5.8	Aspectos ambientales	47
7.5.9	Complementariedades.....	48
8	Interrelaciones	50
8.1	Los aspectos urbanísticos en el municipio	50
8.2	La exposición a los residuos sólidos y la salubridad.....	51
8.3	La GIRSU y la economía local	52
9	Indicadores.....	52
9.1	Indicadores de desempeño ambiental.....	53
9.2	Indicadores de desempeño económico	57
9.3	Indicadores de desempeño social.....	57

10	Modelo de gestión GRSU incorporando la gasificación por plasma	58
11	Evaluación de desempeño	61
11.1	Desempeño Económico.....	61
11.2	Desempeño Ambiental.....	64
11.3	El desempeño social de la GRSU	67
12	Conclusiones.....	68
13	Bibliografía	70

1 Resumen del proyecto

Existe un marcado interés en el desarrollo de técnicas para el tratamiento de residuos sólidos, RSU, que permitan mejorar las condiciones de sustentabilidad de la actividad humana, en particular en las grandes urbes, en donde crecen exponencialmente. En Argentina persiste el desafío de obtener mejoras en el tratamiento de los residuos urbanos e industriales para reducir los costos asociados sociales y ambientales asociados (urbanísticos, de infraestructura, etc.).

La gasificación por plasma es una técnica que puede ser introducida en el sistema de gestión integral de residuos, GIRSU. Esta técnica podría impactar muy significativamente, directa o indirectamente, propiciando la generación de sinergias entre los actores involucrados. Por otro lado, resulta una demanda de primer orden la utilización de métodos de segunda generación para la producción de energía que contribuyan a la disminución de la dependencia hidrocarburífera, reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero y viabilicen sectores productivos. La gasificación de fracciones residuales permite producir energía eléctrica por medio de un generador de ciclo combinado y cogeneración, o combustibles, y material inorgánico inerte valorizable. El objetivo principal del proyecto es desarrollar un modelo de implementación de la gasificación de residuos sólidos urbanos como medio para reducir el impacto ambiental y social de la gestión integral de residuos sólidos urbanos, incluyendo indicadores que permitan estimar distintas dimensiones de su introducción. Más específicamente, el proyecto busca establecer lineamientos de diseño de políticas de gestión y técnicas de proceso que incorporen, en la GIRSU, la valorización energética de las fracciones residuales, en la búsqueda de relaciones concurrentes que permitan establecer la existencia de saltos cualitativos y cuantitativos de envergadura al respecto del estado de situación actual en el AMBA. Los resultados esperados se pueden sintetizar en dos producciones principales incluyen el diagnóstico general de condicionantes e impacto de la GIRSU basado en el desarrollo de indicadores a medida, la generación de lineamientos instrumentales de configuración, gestión técnica y política tendientes a reducir el impacto ambiental y social, que permitan la incorporación de procesos alternativos o adicionales a los existentes en el marco de los procesos asociados a los RS, sobre la base de las condiciones locales de implementación y la experiencia internacional.

2 Introducción

El presente trabajo intenta abordar el desafío que impone el Desarrollo social de las urbes en argentina y en Latinoamérica desde la perspectiva del desarrollo sustentable que propone que el desarrollo presente comprometa las posibilidades futuras de desarrollo. Las implicancias de esta consigna tienen múltiples dimensiones cuando se piensan en torno al ordenamiento de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

En 1978, Catton y Dunlap publican el trabajo “Environmental Sociology: a New Paradigm”. En él muestran que en la visión occidental domina el Paradigma del Excepcionalismo Humano. En este trabajo se cuestiona esta perspectiva que considera que la naturaleza puede absorber la actividad humana ilimitadamente, asistida por las soluciones devenidas de un progreso técnico continuo y también ilimitado. El aporte singular que producen los autores se basa en el análisis de las manifestaciones sociales del impacto ambiental. Se observa que, por un lado, el crecimiento económico y demográfico se hace inviable en los términos planteados en su contexto histórico, por las restricciones que imponen las existencias de recursos naturales, y por los límites que presenta la absorción y procesamiento de contaminantes por parte del entorno natural que tiene un importantísimo impacto social.

La tesis de los límites físicos al crecimiento sostenido de la economía mundial había sido planteada previamente por Malthus y Ricardo. Pero es el informe encargado por el Club de Roma al MIT y publicado en 1972, llamado justamente “Los límites del crecimiento”, el que mayor difusión y repercusión le da a esta perspectiva a nivel mundial. La propuesta central planteada por el informe era la de un estancamiento en el crecimiento como vía para resolver la evidente contradicción entre la sociedad y la naturaleza, producto de la presión poblacional sobre los recursos naturales finitos (Boulding, 1966; Ehrlich, 1968; Goldsmith, 1972; Meadows, 1972). La crítica común a esta idea se centró en su visión ecocentrista de la crisis ambiental. Una de las primeras propuestas, acorde con el panorama catastrofista inicial que describía que la disponibilidad de recursos no podía tolerar el consumo proyectado, fue la del “Crecimiento Cero” a nivel económico y poblacional.

El enfoque del ambientalismo moderado se puede representar en la Declaración de la Conferencia sobre el Medio Humano de la Organización de Naciones Unidas (ONU) de Estocolmo, de 1972, que además constituye el primer antecedente de la formulación del objetivo de desarrollo sustentable consolidado en el Informe Brundtland de 1987. En ella se intentó, por primera vez, conciliar los objetivos de desarrollo y de protección del medio natural.

Las corrientes más radicales que se presentan en la actualidad proponen un cambio de las formas económicas, ideológicas y culturales de intervención para evitar la crisis ecosistémica, enfocada al reemplazo de la idea de crecimiento económico por una de austeridad de medios a nivel general en las sociedades retomando la visión de límites del crecimiento. Este planteo propone una transformación radical en el funcionamiento de las economías del mundo y de sus sociedades.

Por otro lado, existen visiones que plantean reformas según las cuales se propone proceder al análisis detallado de los costos y beneficios de las tecnologías en uso, procurando que el

mercado pueda ser el motor de un desarrollo económico, social y ambiental sostenible, que priorice la implantación de tecnologías respetuosas del entorno natural, en detrimento de la tecnología productora de desequilibrios ambientales–humanos irremediables.

Una tendencia aún más moderada propone abordar la problemática medioambiental a partir de operaciones diplomáticas y burocráticas que consideren en su análisis los costos-beneficios de las políticas gubernamentales con el fin de mejorarlas.

Aranda Sánchez (2004) realizó aportes teóricos en su trabajo “Ecología Humana Crítica”. En esta obra introduce el concepto de “dilema social”, en cuanto a la concepción del mundo como sistema: se trata de una oposición que surge en la frontera entre los sistemas natural y social, donde ambas lógicas se contradicen mutuamente, de la misma manera que sucede con el interés individual y colectivo. Las cuatro categorías sobre las que se desplegaría este dilema estarían dadas por: la producción de residuos, el consumo de energía, la valoración de los recursos usados en las producciones, y la magnitud creciente de la economía humana.

Los enfoques contemporáneos reconocen de una u otra manera la relación dialéctica entre sociedad y medioambiente. Sin embargo, difieren en el planteo sobre la dirección que debe adoptar la intervención en la relación entre el medioambiente y la sociedad. En la actualidad las diferentes corrientes ambientalistas se expresan como diferentes concepciones sobre el desarrollo sustentable, disputando las orientaciones concretas de su instrumentación.

Para abordar los sistemas de gestión integral de residuos sólidos urbanos es necesario ubicar a esta gestión pública intrínsecamente ligada con la economía. El argumento que permite sostener esta relación parte de la significación social del residuo, la cual se realiza a partir de valorización económica relativa de un bien o de un producto, la cual se produce a partir de usos sociales. Entonces también esta gestión estará intrínsecamente asociada a la dimensión social, implicando responsabilidades y compromisos en todo el conjunto de interrelaciones que la definen.

Sobre estas dos primeras relaciones necesitan de una localización histórica, de un régimen de capitalismo globalizado, en donde el imaginario del fenómeno de la propiedad suele ir desde el momento de la adquisición hasta el fin de su programación de uso, bajo consideración de su propietario. El acto de descarte permite observar dos categorías: el producto es vendido nuevamente al precio de su valor residual, o el producto es descartado sin obtención de retribución generando un costo localmente socializado de disposición. La gestión de residuos implica un posicionamiento al respecto de las relaciones de producción, propiedad y responsabilidad.

El posible observar que la modernidad, en su despliegue histórico, necesitó instalar hábitos de consumo en las sociedades, crecientes y desiguales, los cuales tuvieron como correlato el alejamiento de la identificación de los consumidores con el producto de su actividad de consumo, con distintas consecuencias. Este alejamiento tuvo y sigue teniendo el efecto de socializar y, de desplazar espacialmente y temporalmente, el impacto ambiental del avance tecno-productivo de este proceso social global. Este mecanismo desencadena consecuencias sociales profundamente regresivas. El impacto ambiental se reparte de manera igualitaria a

productores esencialmente desiguales, tanto en términos de la escala global hasta la local en las comunidades. El desplazamiento temporal implica que generaciones venideras asuman el pasivo ambiental que las precede. El desplazamiento espacial hace que una región con menos poder de negociación pública adquiera un pasivo ambiental que no generó y cuyos efectos ambientales y sanitarios son difusos. Ejemplos que grafican estos efectos regresivos son la producción de gases de efecto invernadero durante la revolución industrial, que se distribuyó igualitariamente en el globo, que afectaron el medio natural irremediablemente haciendo que la diversidad ecológica disminuya ostensiblemente en distintas regiones, cuyo derrotero es mostrado por Pascal Picq (2016), y cuyas consecuencias ambientales tienen efectos sobre múltiples sistemas a través del tiempo y el territorio global.

En el caso de la deslocalización espacial en el transcurso de vida de un producto es posible observar que la extracción de las materias primas, la producción del bien, su consumo o servicio, y su disposición final, en general, no se realiza en la misma localización. Por tanto, el servicio del bien, cuyo impacto ambiental es fundamentalmente observado en el lugar donde se presta a su uso, generó impactos asociados en otras localizaciones. En términos de deslocalización temporal puede observarse el mismo funcionamiento. Este hecho implica una apropiación de activos ambientales públicos, que evidentemente acoplados con la estructura de desigualdad social, la acentúan. La principal causa de este acoplamiento es la debilidad relativa de negociación en las estructuras productivas, en donde se las condiciones de debilidad. Por lo tanto la estructura de servicio indicada contempla un mecanismo de fomento de la desigualdad social, en general ejercida por quienes más han contaminado en sus procesos sociales y productivos históricos, que los llevaron a la condición de desarrollo. En los contratos de asociados a los distintos procesos de consumo hay un trato desigual en los pasivos ambientales, en general ocultos.

El presente trabajo adopta como marco conceptual la tensión de esta relación dialéctica, la cual, si bien no es objeto de las elaboraciones que tiene por objeto, necesita ser abordada como guía en las decisiones de gestión. En particular, el objeto de estudio del presente trabajo es el sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, GIRSU, de un municipio como el de La Plata. El abordaje se encuentra limitado a las herramientas técnicas disponibles en el marco de la legislación vigente en la actualidad, pero plantean criterios generales de análisis que pueden escalarse, extrapolarse o explorarse en otros contextos.

La UN aconseja una mirada del crecimiento de las áreas urbanas desde la perspectiva del desarrollo sostenible, en tres dimensiones: económica, social y ambiental. La presente elaboración tiene como objeto el análisis de configuraciones de una GIRSU dedicada a La Plata, potencialmente aplicable a otras regiones del AMBA, desde un enfoque compatible con la perspectiva del desarrollo sostenible.

El contexto actual indica que persiste un patrón social de aumento de la producción de residuos mayor que la de la capacidad de incorporación económica integral por parte de las actividades que los generan, y de los ecosistemas, trasladándose el costo a la sociedad de manera regresiva (las comunidades con mejor disponibilidad de medios, que produce desechos de menor impacto, es afectado en mayor medida).

Como propuestas a la formulación del presente trabajo se plantea que la ética de la GIRSU responda a una centrada en la equidad social, basada en las siguientes consignas:

Dimensión ambiental

1. Minimización del impacto ambiental de la actividad de consumo humano a través el análisis de los ciclos de consumo y de los ciclos de vida de los procesos de la GIRSU,
2. Minimización del uso de materias primas vírgenes en la producción
3. Minimización de los riesgos ambientales en ocasión de accidentes o comportamientos anómalos del sistema

Dimensión económica

1. Progresividad en la carga económica que implica la GIRSU para la población a la que sirve
2. Integración de los residuos a las cadenas de producción de valor, buscando la mayor valorización posible de los RSU y la mayor utilidad neta
3. Búsqueda continua de reducción de costos de GIRSU sin comprometer el desempeño

Dimensión social

4. Limitación a la deslocalización temporal de los tratamientos producidos sobre los residuos y de su disposición
5. Limitación de la deslocalización geográfica de los tratamientos producidos sobre los residuos y de su disposición
6. Identificación de los individuos y comunidades con los residuos que generan
7. Participación e integración de la población en la GIRSU, tanto en los procesos técnicos como en los de toma de decisiones

Acurio et al., 1997, presenta una serie de lineamientos al respecto de la problemática de la GIRSU en su despliegue técnico y organizacional. Destaca la influencia del aspecto legal e institucional, donde es necesaria la búsqueda permanente de eficiencia administrativa por parte del estado como ente normativo y fiscalizador, la asignación a largo plazo de planes operativos, financieros y ambientales a nivel local, y la existencia de sistemas de información y seguimiento. En este sentido destaca que pocos países en nuestra región generan programas a corto, mediano y largo plazo, y los que los han generado no son continuados en su etapa de implementación, principalmente por la falta de continuidad en el seguimiento técnico, y en la sostenibilidad económica y financiera. La tendencia que se encuentra establecida es la externalización de la GIRSU hacia el sector privado, derivada de las limitaciones que impone no contar con los instrumentos mencionados, en busca de la minimización de riesgos de gestión. Esta tendencia puede contraponerse a los objetivos de funcionales de la GIRSU. En este mismo sentido es necesario identificar que existen tres niveles de intervención claramente marcados: uno estratégico que planifica, uno de gobierno que dicta reglas, y otro de herramientas económicas que incentiva, multa, y financia.

Podría ordenarse lo antes dicho, de manera de destacar la necesidad de un sistema de información de la GIRSU, que es un insumo básico para cualquier toma de decisiones. Es

necesario contar con información de todo el proceso de manera de poder caracterizar su desempeño en la dimensión ambiental, económico y social. Esta información permite monitorear, operar, controlar y planificar el funcionamiento de la GIRSU. Los sistemas de información generan, además saberes específicos en su despliegue, los cuales tienen la capacidad de distribuirse y establecer complementariedades. Incluso permite la comparación del desempeño de alternativas en distintas regiones o municipios, en los tres niveles mencionados. Por otro lado, desde un punto de vista formal, la información es un requisito para el acceso a incentivos, como por ejemplo la emisión de bonos CER. Estos sistemas de información no necesariamente tienen que ser computacionalmente complejos o bastos en su cantidad, pero si sostenidos en el tiempo a partir de datos de buena calidad.

En las tres dimensiones identificadas, el sistema de información y de gestión del conocimiento permite transferir saberes entre distintas experiencias, de manera de que su circulación y migración fortalezcan las mejoras continuas.

Los tres principales objetivos del desarrollo sustentable son la protección del medioambiente (del hombre y su entorno), la compatibilidad económica y la compatibilidad social. Estos tres objetivos son interdependientes y a priori no muestran una relevancia relativa destacable, y puede ser entendida como los objetivos de un desarrollo que procura minimizar el compromiso a las siguientes generaciones. La planificación de la GIRSU necesita plantear escenarios de concreción de distintos hitos en el sentido del cumplimiento de estos objetivos, que permitan la incorporación de la mejora continua y la gestión del conocimiento. Estos escenarios deben incorporar aquellos de funcionamiento anómalo. Para esto es necesario contar con una coordinación centralizada, que articule su funcionamiento con otras áreas de gestión local, provincial y nacional. Estas articulaciones necesitan incluir herramientas fiscales, políticas productivas y comerciales, gestión de la información y de la participación, y apoyo del aparato de investigación nacional.

Como conclusión parcial es posible observar la necesidad de concebir soluciones flexibles de GIRSU, que permita la incorporación futura de procesos y modificaciones de escenarios, y que promueva una base de orientación de la gestión de residuos en donde el desarrollo económico sea equilibrado con el cuidado del medio natural y no acrecienten las brechas de desigualdad propias de los sistemas económicos. Esta necesidad de gestión tiene un aspecto centralmente institucional, en el sentido de necesitar de un ordenamiento, dotación de recursos y de articulaciones, que direccionen su desempeño en el sentido buscado. Este aspecto institucional no puede limitarse a la centralización de las decisiones, sino que incluir el involucramiento, contención y participación de los actores sociales comprendidos, desde una proximidad ellos que permita el diálogo entre estado, sociedad, y procesos técnicos. Dentro de este ordenamiento, la justicia distributiva juega un papel también central, puesto que incentiva la segregación socio-ambiental hacia las periferias urbanas en un movimiento de regresivo: las externalidades negativas son mayores mientras más periférico sea el territorio, realimentándose el ciclo.

Dimensión ambiental

La búsqueda principal al respecto de la dimensión ambiental es no dañar al medio natural, tanto en el caso del funcionamiento normal de los sistemas como en el caso de funcionamientos anómalos o excepcionales.

La dimensión ambiental define su centralidad a partir de que la actividad humana se basa en la extracción de materias primas, y de energía tomadas del medio natural, y la disposición de efluentes asociados al consumo, sostenidos la posibilidad de ser absorbidas por el medio natural. Este medio natural que se cita se transforma en este proceso de extracción e inyección de materia. La magnitud de esa transformación es dependiente de la magnitud del proceso, los materiales involucrados, la concentración local de esa actividad. En general para poder cumplir con la búsqueda de minimizar el daño ambiental, se puede decir a priori que los flujos de materiales antropogénicos deben ser menores que los geogénicos (naturales) o que se inscriban en el rango de las oscilaciones propias de los flujos naturales.

Frente a un imaginario social de un sistema económico globalizado de producción creciente ilimitada, se presenta al medio natural como límite. Este medio natural incluye al ser humano. Esto quiere decir que el sistema económico-social general de nuestro planeta tiene un límite que no es intrínseco a su imaginario de funcionamiento, sino que se impone desde una exterioridad conceptual, a partir de las restricciones que genera al desarrollo de la vida en sus distintas formas, que incluye a la humanidad.

La dimensión ambiental incluye como objetivo la reducción del impacto ambiental de la actividad de consumo humana a través el análisis de los ciclos de consumo y de los ciclos de vida de los procesos de la GIRSU. También minimizar el uso de materias no renovables y hacer un consumo sustentable de fuentes renovables. Esto implica considerar los procesos globales que relacionan los procesos sociales y tecno-productivos con el medio natural y su equilibrio ecológico, en términos de las modificaciones que producen. El objetivo buscado es minimizar la producción de modificaciones negativas en este sentido.

Dimensión económica

La dimensión económica incluye una búsqueda de la mejora continua de la relación entre prestaciones y costo de la GIRSU, que implica por un lado la reducción de costos de proceso y por otro la generación de ingresos a partir de la valoración de subproductos. Adicionalmente, se busca que la distribución del costo de la GIRSU sea progresiva. Por lo tanto, el objetivo sobre esta dimensión es hacer que la importancia presupuestaria a los municipios de la GIRSU sea la menor posible, que cumpla con los estándares sociales y ambientales que se estipulen.

Los objetivos que deben cumplirse a este fin es el cómputo de costos que cubran todo el proceso, lo cual implica la internalización de costos externos por daños ambientales y a la salud humana, de los riesgos de accidentes personales y ambientales en el ciclo de vida completo de la disposición.

En particular, la generación de ingresos de un sistema GIRSU, depende de la integración de los residuos a las cadenas de producción de valor, buscando la mayor valorización posible de los RSU y la mayor utilidad neta. Esto implica la integración los materiales de la GIRSU en las cadenas de abastecimiento locales, y su inversa, la integración de los denominados sectores informales,

el fortalecimiento de las cadenas de valor implícitas en la GIRSU, la búsqueda de complementariedades con el sector público y privado.

Por otro lado, es necesario para la minimización de los costos presente y futuros de la GIRSU, establecer un Plan Maestro, que fije una línea de base estableciendo hitos de evolución a futuro del sistema. La promoción del uso eficiente de recursos para el sostenimiento de los sistemas GIRSU supone anclar la financiación de proyectos a la obtención de resultados sobre la base de un sistema de información y conocimiento del sistema.

El origen de la financiación del capital necesario para dotar a los territorios de los medios para la implementación de una configuración determinada de GIRSU gobiernos locales depende de la solidez metodológica de los datos que respalden las iniciativas de modificación de la situación actual. Estos pueden ser otorgados por organismos de fomento internacionales, por el estado provincial o nacional, por entes privados. Parte de la información necesaria para la obtención de estas fuentes de financiación es la sustitución de procesos actuales por otros, y su efecto económico en el tiempo, que se puede expresar como un VAN en el plazo esperado de operación, o como TIR del flujo de fondos de reemplazo. En este trabajo se darán ejemplos de tal evaluación.

Dimensión Social

La búsqueda principal asociada a esta dimensión es no dañar a los individuos ni a las comunidades que forman, ni en el caso del funcionamiento normal del sistema si en el caso de un funcionamiento anómalo. Del mismo modo se busca que la responsabilidad sobre los costos del sostenimiento del sistema GIRSU sean socialmente progresivos y equitativos.

Este objetivo puede dividirse en la responsabilidad regional y la temporal. Esto implica que el riesgo que deriva de la gestión de los residuos no se deslocalice en el tiempo (dejar para el futuro) o en el espacio (externalizar del territorio). En el caso territorial debe haber una compensación de intereses en un rol activo y socialmente supervisado, bajo el supuesto que los caminos de disposición estén bajo control.

El requerimiento mínimo que se le requiere a la gestión de residuos debe cumplir es la remoción de los residuos sólidos de la vecindad de los asentamientos de los ciudadanos. De esta manera los residuos desaparecen de la esfera del funcionamiento social, y dejan de ser un problema. Ha posibilitado de esta manera que los ciclos de consumo y descarte puedan continuar, y aleja la percepción sobre las consecuencias del consumo. Esta característica es compartida con los sistemas productivos, que también se les requiere socialmente que desaparezcan de la consideración sus procesos de producción previos al consumo. Esto deja a los productos dotados únicamente de las características que se advierten al momento de su adquisición, como precio, desempeño publicitado, entre otras.

Esta desvinculación, cuyo principal período de aceleración parece haber sido después de la segunda guerra mundial, coincide tanto con la acentuación de la división del trabajo en la actividad productivo y con la caída de los precios relativos de las materias primas y de la energía. Se puede observar entonces un proceso de realimentación, el cual pareciera no tener límites en su lógica interna.

Estos hechos indican que la percepción de un buen desempeño de la gestión de residuos puede estar sostenida por la sensación de no interferir en el proceso de consumo sostenido por cada casa y barrio, con las menores implicancias en el desarrollo de la actividad social diaria.

Es posible entender los métodos de gestión actual desde esta óptica. Los procesos se encuentran mayormente centralizados y son enviados a una planta procesadora central, alejada de los centros de consumo relevantes donde la percepción negativa de su instalación no produce problemas de aceptación pública.

Buclet y Godard (2013) presentan tres mitos en los que se apoyan gran parte de las estrategias de gestión de residuos alrededor del globo. Estos mitos, sobre todo considerados de forma aislada también resulta un impedimento al respecto de desempeños que generen beneficios globales en las tres dimensiones mencionadas. Estos son:

- el mito de la sociedad desmaterializada,
- el mito de los ciclos perpetuos de los materiales,
- el mito de la maestría técnica.

El mito de la desmaterialización de la sociedad sostiene que la intensidad de consumo material de la sociedad de consumo puede ser reducida drásticamente a raíz de una migración hacia el consumo de “servicios inmateriales”.

El mito de los ciclos perpetuos de los materiales sostiene que los ciclos de uso y descarte de materiales de la sociedad puede ser cerrada completamente como sucede en los ciclos de los ecosistemas. Este hecho implicaría que cualquier material descartado podría ser reusado o reciclado, siendo los movimientos de concentración y dispersión material despreciado en términos ambientales. Este mito está emparentado con el paradigma de “Basura Cero”.

El mito de la maestría técnica se basa en que los flujos residuales pueden ser tratados y dispuesto con tal maestría técnica que pueden ser reincorporados a los entornos naturales sin que produzcan impactos ambientales relevantes en cualquier escala de tiempo.

La pregunta generatriz que se puede formular es:

¿Cómo definir una gestión de residuos que reemplace los regímenes actuales basados en la eliminación de los flujos residuales?

Los instrumentos disponibles pueden categorizarse como la generación de acuerdos voluntarios, los instrumentos regulatorios e instrumentos económicos, donde el acento sobre la responsabilidad de los actores difiere complementariamente. Este tipo de configuración muestra en alguna medida el fracaso de enfoques centralizadas, las cuales tienen un impacto económico inviable. Por otro lado, indican una intensión de redistribución de los costos asociados al descarte de materiales, incluyendo los ambientales y sociales. La efectividad de esta articulación depende en la generalidad de los casos en la magnitud de incentivos, no solo económicos, para guiar la toma de decisiones de los actores involucrados.

En el plano de la organización técnica, es posible identificar tres categorías:

- los centrados en la eliminación, donde existe la confianza en que la polución puede mantenerse bajo control en rellenos sanitarios,
- los centrados en la prevención con el agregado de la valorización, donde se expresa la confianza en la “desmaterialización” gradual de los mercados,
- los centrados en la valorización, donde se expresa la confianza en que el ciclo de los materiales puede sobreponerse a la entropía que se genera en su procesamiento, en algo así como un movimiento perpetuo donde se agrega energía al sistema productivo, pero solo pequeñas cantidades de materiales.

Estas concepciones fundamentalmente diferentes devienen en instrumentos de política pública completamente disímiles. El interrogante adicional que surge es hasta qué punto las políticas de descentralización facilitan la evolución del régimen que se propone.

La gestión de residuos necesita incorporar procedimientos que permitan consolidar los aprendizajes que se generan, adaptarse a los contextos de funcionamiento, e incluso que permitan reconsiderar aspectos estratégicos. En este sentido es necesario arribar a balances en la tensión centralización/descentralización de manera que los sistemas puedan adaptarse rápidamente y medir las mejoras relativas. La gestión técnica a partir del modelado de una jerarquía necesita de una dirección centralizada que tiene como consecuencia un impacto de mucha intensidad sobre la GRSU porque la define compulsivamente. Por otro lado aquellas planificaciones que admitan la definiciones sectoriales al respecto de las técnicas empleadas por flujo residual tiene como consecuencia tanto una gran interacción entre los actores como modificaciones de poca magnitud adoptada de manera voluntaria.

De acuerdo con Eichener [19] hay cuatro aspectos componentes de la compatibilidad social: empírica, distributiva, procedimental, orientada al consenso. Desde este punto de vista propone que un sistema tiene mayor compatibilidad social cuantos más criterios normativos responden, más refleja los intereses subjetivos de los colectivos afectados y más sea aceptado por sus representantes (mientras más participan los colectivos afectados en su implementación, mientras más aceptación reciba de los colectivos afectados). En definitiva, es posible observar esencialmente dos dimensiones, la subjetiva, dada por la aceptación de sujetos y organizaciones intermedias, y la objetiva, cuyos criterios pueden ser formalizados. Ludwig (2012) ofrece una exploración de los criterios objetivos, en coincidencia con otros autores como D. Hilmer (2010) que se pueden resumir como:

- El acceso a la información y a la comprensión de los procesos sociotécnicos
- Transparencia en la toma de decisiones y ejecución de decisiones a partir de procesos inclusivos
- Aseguramiento del derecho a participar de las personas afectadas hoy y de las futuras generaciones
- Balance relativo de intereses colectivos o individuales, locales y regionales, lo cual implica procesos de medición
- Oportunidades básicas disponibles para todo el público, como puestos de trabajo, recreación, espacios de uso público, evitación de riesgo, servicios.
- Relación perdedores-ganadores

Adicionalmente, la dimensión social está ligada a la participación pública. D. Hilmer (2010) propone como modelo que el involucramiento público está funcionalmente integrados a la emergencia y el sostenimiento de dos valores centrales en nuestra cultura de participación democrática: la soberanía popular y la equidad política.

3 Residuos en el partido de La Plata – Caso de estudio

En el presenta apartado se formulará un caso de estudio que intenta caracterizar el estado de situación actual de la generación de residuos del partido de La Plata.

El banco mundial, a través de sus reportes periódicos, informa que en términos globales medios se generan 0,74 kg de RSU per cápita por día. También verifica que los RSU per cápita por día guardan correlación con el nivel de ingresos y el nivel de urbanización de las poblaciones, en contextos de economías de mercado. Se espera que las cantidades globales de RSU, que eran de 2.010.000.000 millones de toneladas en 2016, aumenten sostenidamente a razón de 2% anual bajo un escenario de sostenimiento de las condiciones actuales de crecimiento. La materia orgánica como restos de comida y de poda representan más de 50% de los RSU en los países de bajos ingresos y del orden de 30% en los países de altos ingresos. Entre estos dos escenarios se destaca que mientras mayor es el ingreso más cantidad de material reciclable hay en los residuos, sobre todo el papel.

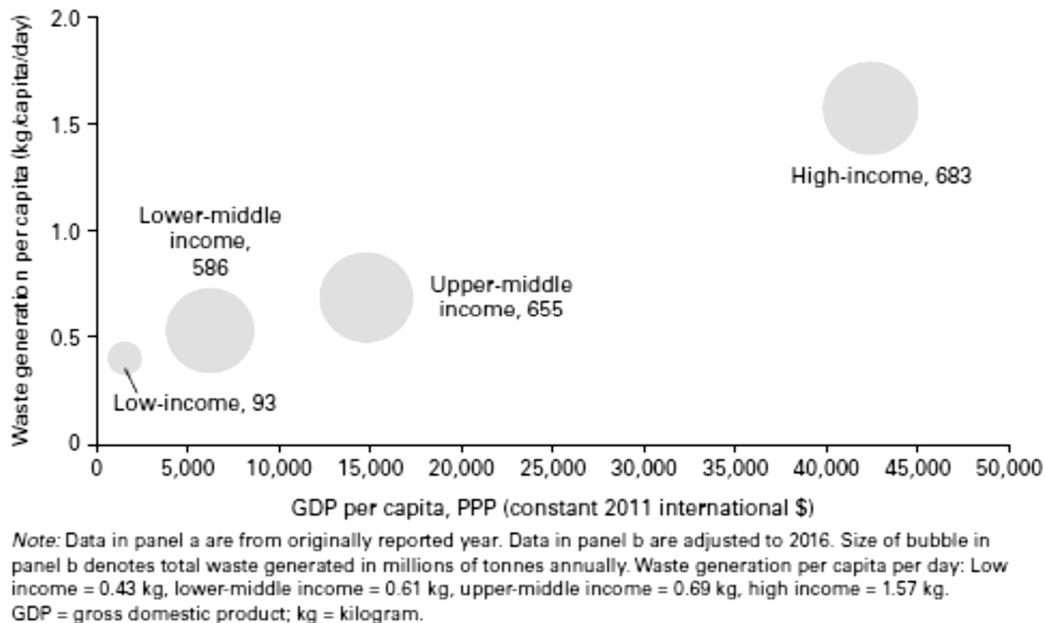


Figura 1 - Generación de RSU per cápita por grupo de ingreso

En base a estudios anteriores es posible establecer una categorización en función de la fuente de generación de residuos, con sus magnitudes aproximadas para el territorio analizado:

- Categoría A, origen domiciliario y pequeñas producciones, 80% de la producción total,
- Categoría B, limpieza urbana, 5% de la producción total,

- Categoría C, grandes productores, 15% de la producción total.

Se puede observar a partir de esta categorización que la generación de residuos sólidos urbanos, en adelante RSU, está íntimamente relacionada con la cantidad de habitantes del área, como era esperable desde la perspectiva de lo que sucede en territorios de características similares en el mundo.

De datos publicados en la ENGIRSU 2005, CEAMSE 2010 y proyecciones de población futura publicadas por el INDEC se desprende que la generación promedio por día de RSU es de 0,85 kg/hab/día. El pico de generación se produce en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires es de 1,23 kg/hab/día, o sea 3.761,72 toneladas de residuos diarios, totalizando en el año 1.373.027,83 toneladas. Por el contrario podemos observar que la provincia con menor generación por habitante es Misiones presentando 0,44 kg/hab/día, lo que implica 489,03 toneladas por día y 178.497,75 toneladas por año. Como último análisis se resalta que la provincia de Buenos Aires es la mayor generadora de residuos del país, con un total anual de 4.639.934,33 toneladas, de las cuales aproximadamente 3.905.000 toneladas corresponden a la generación exclusiva de los partidos del conurbano bonaerense. La provincia con menor generación es Tierra del Fuego registrando un valor de 31.230,92 toneladas anuales. Es de importancia destacar que de la generación total anual de la provincia de Buenos Aires.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, en el 2016, ubica a Argentina entre los países de rango medio en generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) per cápita por día, con un promedio de 1,03 kg por habitante, que representa unas 45.000 toneladas diarias para el total de la población y alrededor de 16,5 millones cada año.

La generación de residuos se encuentra vinculada intrínsecamente con la definición del residuo en términos culturales y por los usos que instala. En una economía de mercado global, la tendencia es que la dimensión cultural se reduzca a establecer la categoría socioeconómica de la población, en una clara tendencia hacia la homogeneización de este comportamiento. Por tanto, el nivel socioeconómico de la población estudiada en combinación con el PBI per cápita del país en el que se inscribe y el uso de suelo por actividad, tienen una altísima correlación con la generación per cápita. La estadística nacional refleja este caso.

En relación a otros municipios, se puede observar la siguiente tabla, cuya fuente es CIPPEC, que muestra relaciones causales que no se limitan a lo antes dicho, pero que sin embargo opera. Puede verse que la cantidad de residuos promedio per cápita de La Plata tiene magnitudes comparables con otras ciudades.

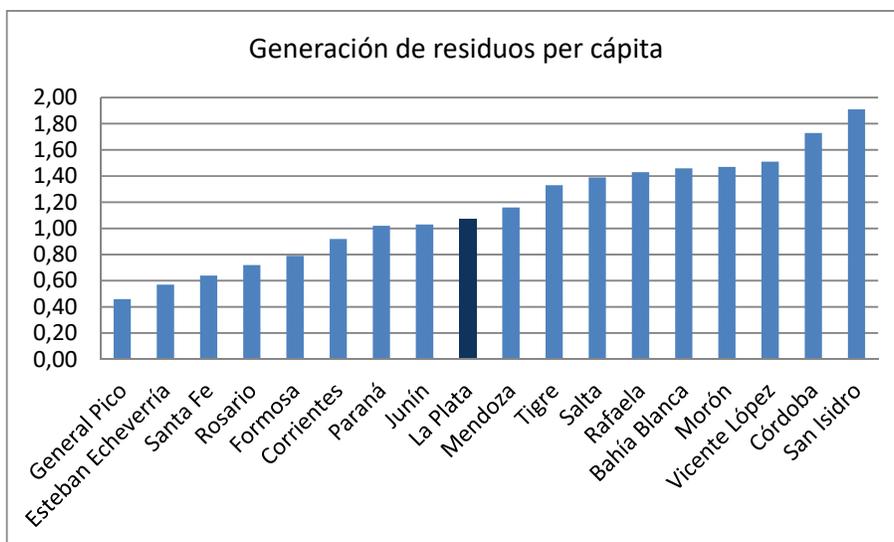


Figura 2 - Generación de residuos per cápita – Ciudades de referencia

Este hecho indica que la producción per cápita de RSU en la ciudad de La Plata, crecerá en el futuro con el desarrollo socioeconómico de la urbe, acentuando el ritmo creciente de producción total de RSU.

En el 2017 la generación total de RSU del partido de La Plata fue de 308.414 toneladas de acuerdo a CEAMSE. Se espera entonces que para los años a entre 25.000 y 30.000 toneladas mes, vale decir entre torno a las 300.000 y las 360.000 toneladas año. Estos valores de generación se corresponden con promedios de generación de residuos por habitante por día de 1,1 kg a 1,3kg.

La composición típica que surge de registros de CEAMSE podría sintetizarse en el patrón que indica la siguiente figura, que se corresponde con la composición típica para el contexto urbano argentino estimado por SADYS.

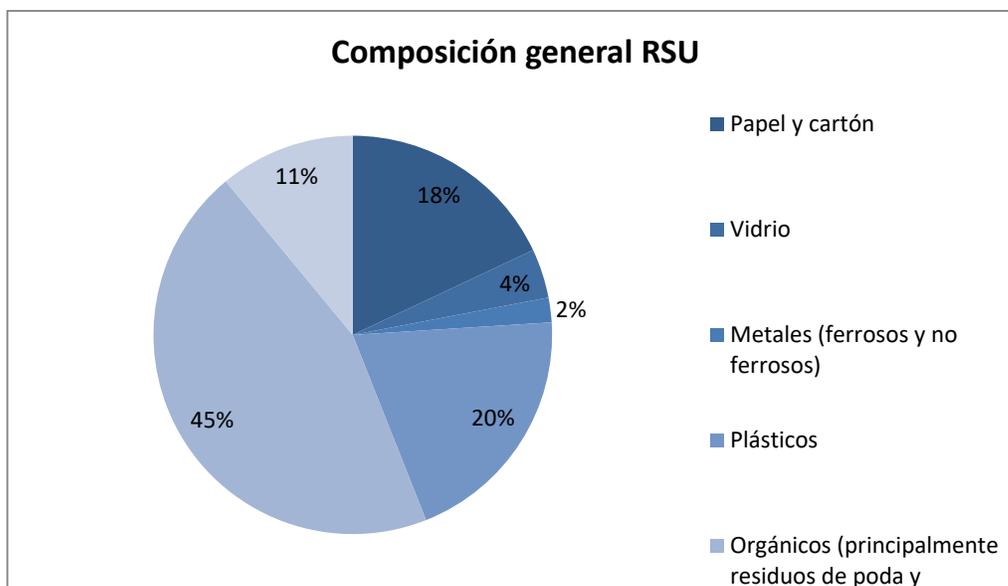


Figura 3 – Composición general RSU para La Plata

Para la generación anual de residuos de La Plata implica entonces las siguientes cantidades por categoría:

Categoría de Residuo	Cantidad, ton
Papel y cartón	55.440
Vidrio	12.320
Metales (ferrosos y no ferrosos)	6.160
Plásticos	61.600
Orgánicos (principalmente residuos de poda y alimenticios)	138.600
Otros	33.880
Total	308.000

En la ciudad de La Plata residen en la actualidad del orden de 750.000 habitantes, con un crecimiento anual aproximado de 0,7% por año. Si se contemplan las ciudades argentinas de más de 100.000 habitantes es posible establecer categorías de escala. Se observa del gráfico que sigue que de las 56 ciudades que en principio conforman el grupo propuesto, las ciudades de hasta 300.000 habitantes corresponde a 87.5% para establecer un orden de escala. Las ciudades entre 500.000 habitantes hasta 1.000.000 representan el 12.5% del conjunto de 5 en el cual se inscribe La Plata. Finalmente, se observan que dos ciudades superan el millón de habitantes: CABA y la Ciudad de Córdoba. Con el ritmo de crecimiento poblacional previsto para La Plata, se estima que en 50 años pasaría a la categoría superior. A partir de este análisis se desprende que las ciudades de hasta 300.000 habitantes corresponde a la escala más representativa de las grandes urbes argentinas. Como conclusión es posible decir que es necesario que las soluciones de los sistemas GRSU contemplen el escalamiento desde urbes de poblaciones del orden de los 100.000 habitantes hacia escalas como la de La Plata. El estudio de un sistema GRSU de estas características podría significar un ordenamiento para la planificación de ciudades de menor

escala, a partir de un módulo estándar para el procesamiento de 100 toneladas por día de residuos.

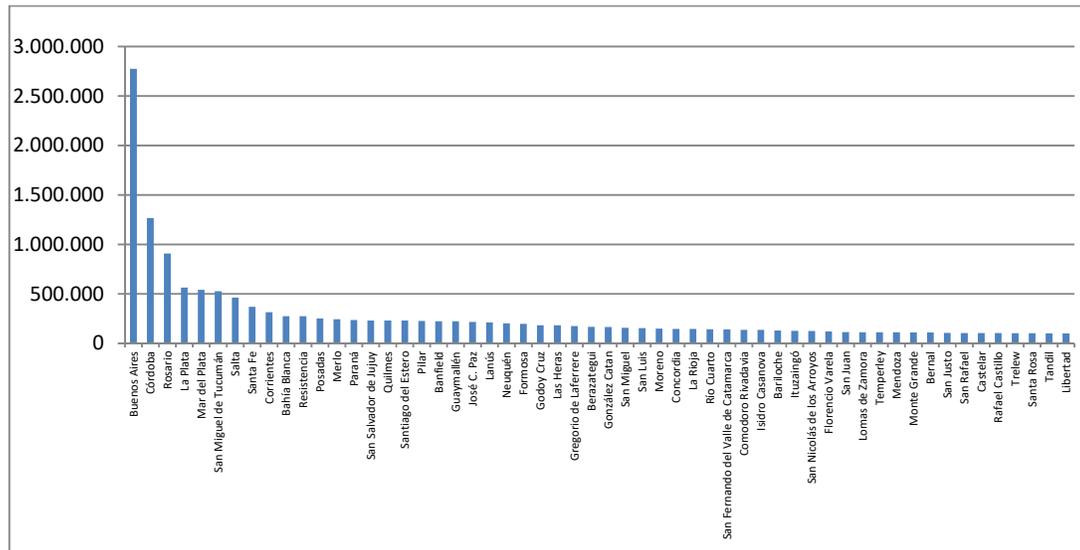


Figura 4 – Generación de RSU para ciudades de referencia

El contenido de agua de los RSU tiene un alto contenido de agua, que puede superar el 60%.

Como indica Gutierrez et al. (2015) la fracción de RSU recuperadas en 2014, que es indicador de la situación actual es del orden del 20%.

En términos de impacto ambiental, y solo como un indicador parcial, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, en el 2016, indica que la mayor participación en la generación de gases de efecto invernadero corresponde al sector de energía (53%), seguido por el sector agropecuario (26%), el sector de cambio de uso del suelo y silvicultura (13%), el sector industrial (4%) y el de residuos (4%).

De acuerdo al Informe del Estado del Ambiente publicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación en 2018 en Argentina el promedio de generación de residuos sólidos urbanos por habitante es de 1,02 kg. lo cual representa alrededor de 16.500.000 cada año. En este marco, el área metropolitana de Buenos Aires (AMBA) hoy enfrenta el colapso programado para el 2023 del relleno sanitario Norte III del CEAMSE que en 2017 recibió 17.000 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU) para su disposición final provenientes de 38 municipios bonaerenses y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). Dicho relleno, que se encuentra ubicado entre los municipios de Tigre, San Miguel y San Martín, de acuerdo a un informe del Banco Mundial, recibe y procesa alrededor del 30% de la basura que se produce en todo el país. Esta situación es a su vez más crítica dado que no hay ninguna perspectiva de conseguir licencia social para abrir otro relleno en la distancia necesaria para que este sea sustentable desde el punto de vista económico, social y ambiental.

En la actualidad el impacto presupuestario de los servicios de higiene urbana, que se ocupa de los RSU, es del orden del 20% del presupuesto municipal general, vale decir de aproximadamente 900 millones de dólares.

4 Legislación

Los denominados Derechos de Incidencia Colectiva o de Tercera Generación, dentro de los que se puede ubicar a los Derechos de los Consumidores y Usuarios, a los Derechos Humanos y al Derecho a un Ambiente Sano, se incorpora a partir de la reforma constitucional de 1994 en el Capítulo de Nuevos Derechos y Garantías. Es en ese nuevo capítulo en el que se establece, entre otros, el derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano. La idea de “desarrollo humano”, plasmada en el Art. 41 de la Constitución Nacional, implica la incorporación del concepto de sustentabilidad del desarrollo, que el consenso de la legislación define como la satisfacción de las demandas actuales sin sacrificar las posibilidades de desarrollo de futuras generaciones, definición que en muchos casos resulta difusa. Sintéticamente, esta definición tiene como consecuencia en la dimensión ambiental, la preservación de los ecosistemas en su productividad y diversidad biológica, y la preservación de los recursos naturales. El Art. 41 dice:

Constitución Nacional – Art. 41 “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.”

El espíritu del ordenamiento normativo constitucional es que la Nación dicten la normativa que establezca las bases mínimas o umbrales de protección con vigencia en todo el territorio de la República, sin que sea necesario un acto expreso de las autoridades locales e independientemente de la normativa provincial. Reserva la posibilidad que las provincias o la Ciudad de Buenos Aires establezcan aspectos complementarios. Finalmente fija en los municipios la responsabilidad jurisdiccional de obrar en sentido de cumplir y hacer cumplir este derecho.

En el artículo 4to de la ley 25.675 de Política Ambiental Nacional, llamada también Ley General del Ambiente, en el que se destacan los principios de la Política Ambiental, se establece el Principio de congruencia. Este principio la ley determina que la legislación provincial y la municipal referida a lo ambiental deberán ser adecuadas a los principios y normas fijadas en las leyes de presupuestos mínimos; en caso de contradicción, la ley de presupuestos mínimos prevalecerá sobre toda otra norma que se le oponga.

Entre las leyes de presupuestos mínimos dictadas hasta la fecha dictadas por el Congreso de la Nación se encuentra la ley 25.916 de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos que establece las pautas sobre las que debe estructurarse una gestión integral de los residuos domiciliarios.

El 20 de diciembre de 2006 se publicó en el Boletín Oficial de la Provincia de Buenos Aires la ley 13.592 de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos que establece como objetivo principal establecer procedimientos de gestión de los residuos sólidos urbanos. Según esta norma provincial (Art 6). "... todos los Municipios Bonaerenses deben presentar a la Autoridad Ambiental Provincial un Programa de Gestión Integral de residuos sólidos urbanos conforme a los términos de la presente Ley y la Ley Nacional Nº 25.916." Estos planes deberán contemplar la existencia de circuitos informales de recolección y recuperación con el fin de incorporarlos al sistema de gestión integral.

La Ordenanza 10462 establece la creación Agencia Ambiental La Plata

En octubre 2008, en donde se constituye el Consorcio Región Capital, conformado por los municipios de La Plata, Berisso, Ensenada, Punta Indio, Brandsen.

En febrero de 2011 se firma del contrato de financiamiento del proyecto suscripto entre la Provincia y la Unión Transitoria de Empresas formadas por la firma española Sanea y las platenses Esur y MGM, destinado a la construcción de las plantas de tratamiento de residuos.

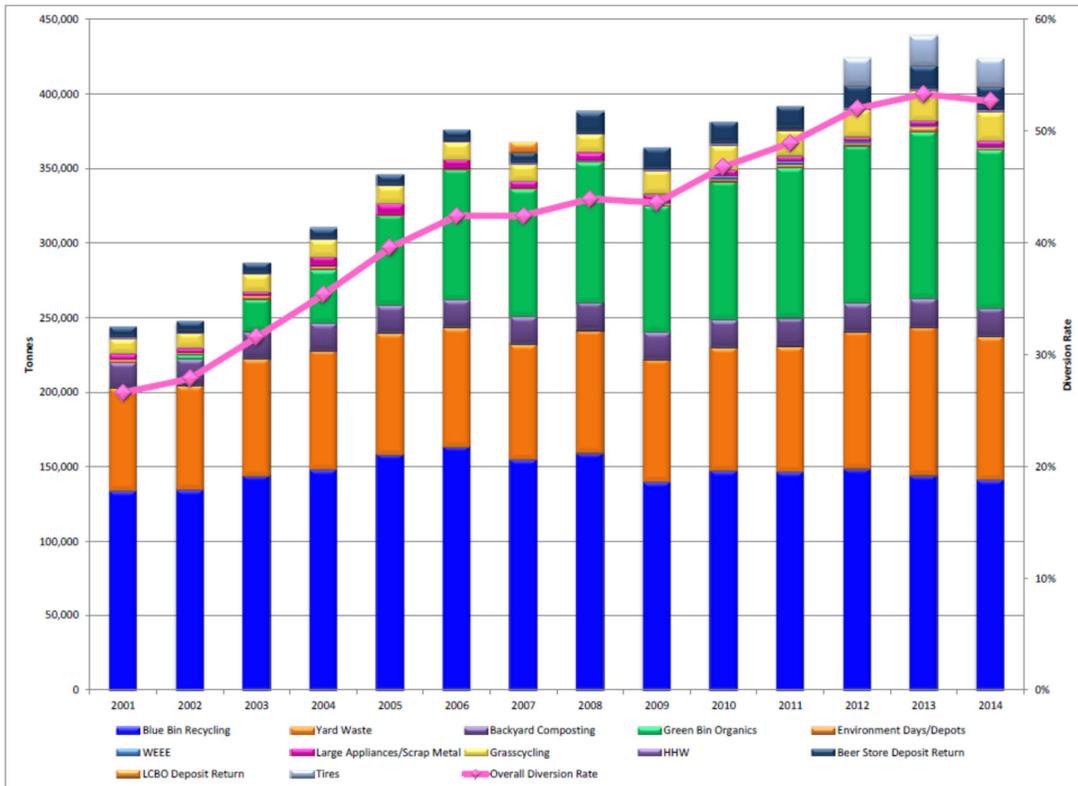
5 Planificación

Es posible pensar como una primera instancia de consideraciones de la GIRSU a aquella vinculada a su planificación, dada la descripción general de contexto realizada. La problemática que intenta manejar esta gestión tiene un despliegue temporal y territorial con profundas interrelaciones con la dinámica social, ambiental y económica, parcialmente descriptas anteriormente.

En sistemas que evolucionan bajo lógicas complejas, que son solo parcialmente modelables y predecibles, se suele desarrollar un instrumento que toma el nombre de Plan Maestro. Este es el caso de desarrollos aeroportuarios, urbanizaciones, planes de infraestructura o directamente productivos. Bajo este instrumento es posible incluir la instrumentación gradual y flexible de soluciones técnicas que puedan ser revisadas y mejoradas periódicamente.

Uno de estos casos que puede mencionarse es el Metropolitan Toronto Solid Waste Management Master Plan, de Toronto, que emitió en 1991, y que se ha ido actualizado durante más de 20 años. En este se detallaban estrategias e infraestructura necesaria para reducir la disposición en rellenos sanitarios en un 90% para el año 2030. Se fijaron metas de reducción y minimización para cada tipo de fuente de residuos vinculando su producción y disposición de origen. Incluyó una estimación de costos de la implementación de este plan para el período. En el largo plazo se puede observar en los documentos oficiales de la ciudad que esta planificación tuvo como consecuencia la reducción significativa de los impactos sociales, ambientales y económicos del desarrollo de la ciudad en el período de tiempo al respecto de las proyecciones de las tendencias que se mostraban cuando se formuló el plan. Un ejemplo es el porcentaje de residuos destinados a rellenos sanitarios, y el prominente volumen acumulado que se evitó disponer en rellenos sanitarios, que hubiera significado la generación de más localizaciones con sus impactos derivados. En la figura que sigue se muestran algunos resultados parciales de la política implementada. El evidente punto de partida es la medición y seguimiento del

desempeño de la GIRSU. En la figura se puede ver un aumento sostenido en el porcentaje de segregación de residuos, que necesita considerarse conjuntamente con un aumento poblacional que se inscribe en el rango de 10-20% en estos últimos 30 años.



Source: City of Toronto 2001-2014_Diversion_Rates_all_streams

Note: Also includes waste collected by the City along its residential collection route from schools, fire halls, etc. and processing facility residue.

Figura 5 – Evolución de la segregación de residuos – Ciudad de Toronto - Canadá

La planificación de un sistema GIRSU debe realizarse sobre la emergencia de las características de la gestión específica de residuos, y su despliegue a través del tiempo, considerando distintos escenarios de contexto. Estos también deben incluir los casos de funcionamiento anómalo. En estos deben manifestarse las relaciones contextuales, los niveles de desempeño buscados y su forma de medirlos, la evolución de las infraestructuras generales en su despliegue territorial, los hitos en su evolución que disparan la concreción de modificaciones en el sistema. Por otro lado, este instrumento permite incorporar nuevas herramientas de análisis y las técnicas novedosas de tratamiento, nuevos escenarios, cambios en las prognosis realizadas.

Es posible generar un pronóstico de base estimando que la generación de basura crece en masa al mismo ritmo que el PBI local, y por lo tanto establece una correlación entre la actividad comercial (el PBI mide el intercambio) y la cantidad de kilogramos de residuos descartados. Las políticas de GIRSU también deben dirigirse a romper esta lógica a la baja.

6 Análisis de la gestión de residuos

El objetivo del presente apartado es analizar los procesos de la gestión de residuos desde la generación hasta su disposición final, a través de distintos procesos que consideren la dimensión social, ambiental y económica. A lo largo de esta elaboración se propone concebir una serie de disposiciones de manejo de las herramientas técnicas tales que promuevan el cumplimiento de los criterios planteados en el apartado Introducción.

Para la evaluación ambiental relativa se utilizarán herramientas asociadas a los análisis de ciclo de vida. Este análisis es una metodología empleada para la evaluación del impacto ambiental de un producto, proceso o actividad, a lo largo del lapso de tiempo que va desde las etapas de extracción de materias primas al fin de vida y disposición con las emisiones correspondientes. A partir de ella es posible hacer evaluaciones ambientales sin excluir o exteriorizar ninguna fase de su vida.

Cremlato et al. (2018) nos sugiere que para el análisis del impacto ambiental es necesario considerar a los sistemas de gestión de residuos de un modo general, indicando que solo la consideración de un mayor nivel de separación no implica necesariamente menores impactos ambientales, lo que implica que la sola aplicación de los criterios como el de 3R, u otros, por sí solo garantiza una mejor solución en términos ambientales. Esto todavía se ve más acentuado al respecto del resto de dimensiones expuestas. Por lo tanto, la evaluación ambiental necesitará del análisis de ciclo de vida sobre el proceso general involucrado.

Los procesos de gestión de residuos están divididos en fases que se pueden distinguir como: la generación de RSU, la consolidación y segregación en la disposición de origen, la recogida, el reciclado y reutilización, la etapa de tratamiento, y la disposición final o generación de subproductos. Un GIRSU sostenible tiene que tener en cuenta el ciclo de vida completo de los productos, desde la exploración de productos primarios, a través de los procesos de producción, hasta la disposición final.

Es necesario contar con un sistema de control de calidad para tener medidas de los efectos de los instrumentos implementados y hacerles un seguimiento en el tiempo y en el territorio. La coordinación de los sistemas debe ser centralizada para poder articular los aspectos legales, fiscales, de políticas públicas, de información, etc.

En general, la bibliografía demuestra, pero además resulta mandatorio al respecto de los criterios expuestos en términos de la dimensión social, ambiental y económica, que hay que evitar la disposición final de residuos en rellenos sanitarios, evaluando cada flujo material y cada proceso de tratamiento.

Otro aspecto general que puede destacarse es que los sistemas de GIRSU deben procurar la separación de metales, desde la generación hasta la separación y tratamiento. Los procesos de disposición de RSU difunden minerales concentrados un sustrato, contenido en el mejor de los casos, con un potencial ambiental muy destructivo. Si no fueran separables y reciclables, la técnica más eficiente en la actualidad para su tratamiento es su confinamiento y/o conversión a su estado metálico en el vitrificado residual de procesos térmicos como la gasificación por plasma. Por lo tanto, implica que para el tratamiento de materiales peligrosos es necesario contar con técnicas de este tipo.

6.1 Valoración de topologías de procesamiento de RSU

6.1.1 Parámetros económicos

El Banco Mundial presenta como índice de costos de la GRSU valores típicos de procesos componentes en muchos sistemas de gestión:

Costos, USD/ton	Países con ingreso per cápita bajo	Países con ingreso per cápita medio	Países con ingreso per cápita medio-alto	Países con ingreso per cápita alto
Recogida y transferencia	20-50	30-75	50-100	90-200
Relleno sanitario	10-20	15-40	20-65	40-100
Reciclado	0-25	5-30	5-50	30-80
Compostaje	5-30	10-40	20-75	35-90

Figura – Costos típicos de tratamiento para la disposición de RSU

Rizwan et al. (2018) estudia una serie de cadenas completas de tratamiento de RSU, para analizar el sistema de manejo y transformación de los RSU, tomando categorías compatibles con las presentadas. En este desarrollo se comparan distintas variantes de configuración del sistema que incluye:

- inexistencia o existencia de infraestructura de segregación de RSU;
- inexistencia o existencia de infraestructura de recuperación de RSU (que denominaremos MRF);
- inexistencia o existencia de procesos de segregación incluyendo compostaje, digestión anaeróbica, gasificación, gasificación por plasma, pirólisis, incineración, relleno sanitario;
- inexistencia de aprovechamiento energético o existencia de aprovechamiento para la generación de energía eléctrica o transformación catalítica.

Los subproductos que considera que es posible generar bajo estas variantes de proceso incluyen el material propio del reciclado (plásticos de alto valor, papel, vidrio, aluminio, materiales ferrosos), el bioetanol, electricidad y energía térmica disponible, compost.

En el trabajo referido se intenta optimizar la utilidad neta del flujo de fondos general del sistema de tratamiento de residuos como principal parámetro, modificando la aplicación de los procesos mencionados. Por otro lado, se busca una topología compuesta por estos procesos tal que optimice la valoración de los RSU, la cual no necesariamente es coincidente con la optimización anterior. No obstante, el resultado encontrado es que el proceso más beneficioso en ambos sentidos incluye la segregación de los RSU en origen, el procesamiento mediante un MRF, su gasificación y la transformación catalítica de los efluentes gaseosos. Adicionalmente, el análisis de sensibilidad que investiga la influencia de los parámetros técnicos y económicos clave, indica que, de los 31 parámetros evaluados, solo 10 tiene una influencia destacada en el flujo de fondos

y en la valorización de los RSU, mientras que el resto indican tener una influencia despreciable. Estos parámetros son:

- el precio de los productos reciclados,
- el rendimiento del reciclado,
- el costo de capital de la infraestructura de reciclado,
- el costo de operación y mantenimiento de la infraestructura de reciclado,
- el rendimiento de la transformación catalítica en conjunto con la gasificación,
- el rendimiento de la generación de energía en conjunto con la gasificación,
- el precio de venta del bioetanol,
- el precio de venta de la electricidad,
- el costo de operación y mantenimiento del conjunto gasificador-conversor catalítico,
- el costo de capital de conjunto gasificador-conversor catalítico.

El precio de comercialización del bioetanol en relación con los costos de capital y O&M de su infraestructura asociada, en comparación con aquellos parámetros que surgen de la producción de energía como alternativa técnica define la conveniencia de adoptar de esta solución.

Este estudio concluye que, desde el punto de vista del proceso óptimo para la valorización de los RSU, la configuración del sistema debe incluir toda estrategia que segregue y tienda a regularizar los flujos de residuos, buscando su reinserción productiva, en cada categoría de RSU. La utilidad neta sin embargo dependerá de las condiciones de los mercados, tanto en términos de los costos de adquisición de infraestructura, como en lo referente a la comercialización de productos, debiéndose evaluar en función de los momentos de implementación y su proyección futura. Las condiciones puntuales evaluadas se inclinan hacia la producción de bioetanol.

Este trabajo de Rizwan et al. (2018) nos permite pensar en que la planificación del sistema GIRSU deberá considerar la incorporación de nuevos procesos de reutilización, reciclado y revalorización conforme estén disponibles tecnológicamente, porque de ello depende una incorporación creciente de los RSU en las cadenas productivas. Por otro lado invoca a establecer mecanismos de coordinación entre la producción y su reciclado, por cuanto el rendimiento, precio, u costos de los circuitos de reutilización y reciclado, pueden ser favorecidos en grandes proporciones por estos. A estos fines es necesario el establecimiento un funcionamiento que vincule a la estructura productiva, a la investigación nacional, y al estado como coordinador y gestor. Un caso de esta interacción, es como ejemplo, la formulación de un sistema nacional de empaquetamiento.

Así mismo, se procurará evaluar los flujos de fondos de las distintas técnicas que se estudien en el proceso de GIRSU.

Los procesos de generación y recogida generan efectos sobre la gestión de los RSU en todas sus dimensiones de gran magnitud, que no es posible desconocer, y que hay que incorporar en la evaluación del sistema. El efecto en costos de la recogida puede ser muy grande, y va en sentido contrario al de la separación diferenciada.

6.1.2 Análisis ambiental

Es posible pensar en distintas herramientas de diseño, control y monitoreo de una determinada GIRSU.

Las auditorías ambientales, por un lado, permiten evaluar el desempeño ecológico, y por el otro el establecimiento de objetivos futuros. Es una actividad que debe estar integrada con periodicidad a la GIRSU para proveer información sobre las consecuencias de los procesos de mejora continua y aprendizaje.

La evaluación de ciclo de vida, o LCA, tiene por objeto comparar el impacto ambiental los procesos o productos con las mismas funciones a lo largo de su vida útil. De esta manera permite comparar alternativas técnicas permitiendo su caracterización ambiental e identificando mejoras potenciales. Con esta herramienta se pueden comparar distintos encadenamientos productivos para la GIRSU.

La evaluación de riesgo permite acoplar cualitativamente el impacto de una cadena de sucesos anómalos, permitiendo comparar procesos desde su respuesta frente a condiciones anómalas.

El análisis y monitoreo de materiales, sobre todo aquellos de mayor impacto ambiental, permite dar seguimiento a su tratamiento para conducirlos a los mejores tratamientos disponibles.

6.1.2.1 Evaluación de ciclo de vida, LCA

El análisis de ciclo de vida propone la consideración de la totalidad de las fases que implican la existencia y servicio de determinado bien o proceso, desde la fase de extracción de materias primas, hasta la disposición final. Este tipo de estudio persigue, en el marco del presente trabajo, evaluar los impactos desplazados en el tiempo de las actividades involucradas de manera de usar una herramienta de comparación entre alternativas de tratamiento. Si solo se utilizara la evaluación del impacto ambiental presente entonces las comparaciones entre sistemas de gestión estarían favoreciendo a aquellas cuyo impacto ambiental se encuentra más deslocalizado de la situación de utilización. Como consecuencia tendrán como resultado el incentivo a escenarios donde determinadas actividades gozan de servicios cuyos efectos secundarios son asumidos por regiones y en tiempos que no recibieron sus beneficios, representando una situación de injusta apropiación ambiental y económica de los territorios y tiempos receptores de ellos.

Los documentos marco para la realización de un análisis de ciclo de vida son las normas internacionales ISO 14040 (principios y marco de referencia para el ACV) e ISO 14044 (requisitos y directrices para el ACV).

Por otro lado, y de manera similar, el costeo del ciclo de vida representa el análisis económico de los costos definidos como su valor presente del sistema estudiado, negativo o positivo. Estos costos se definen como la suma del costo de inversión, el costo operativo incluyendo transporte y el costo de disposición.

Los resultados para cada opción que se pueden poner en análisis incluyen: acidificación, eutroficación, uso de recursos no renovables, producción de efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, consumo de energía, toxicidad humana.

Cremiato (2018) estudia con la técnica de evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida el procesamiento de distintos RSU para convertirlos en materiales de consumo secundario. En la tabla que sigue se muestran las diferencias entre los efectos generados por el proceso del material secundario al respecto de la producción de quien reemplaza como material primario.

Material reciclado	Eficiencia de reciclado	Consumo de energía, Mjeq	Calentamiento global, kgCO ₂ eq	Acidificación, SO ₂ eq	Toxicidad humana, 1,4 DCBeq	Efecto sobre la capa de ozono, kgC ₂ H ₄ eq
Papel	83,3%	-14708	-445	-2,377	-90	-0,117
PET	81,0%	-15940	-427	-1,397	-179	-0,416
Aluminio	100,0%	-174634	-8868	-52,803	-40507	-16,156
M. Ferrosos	100,0%	-14676	-1292	-4,072	-84	-1114
Vidrio	83,5%	-6415	-643	-3,642	-146	-0,232

Es posible inferir de estos datos la importancia central del reciclado de aluminio y de materiales ferrosos por cuanto suponen una reducción de los efectos sobre la atmósfera de órdenes de magnitud varias veces superiores a los del procesamiento de otros materiales. El estudio mencionado señala que porcentajes de separación mayores no necesariamente implican menores impactos ambientales. Finnveden et al. (2005) presenta casos donde se evalúa el impacto de sistemas con distinto niveles de separación en la recogida. Como resultado encuentra que la evaluación ambiental no responde necesariamente con menor impacto cuando la separación es mayor, no obstante, si constata que la separación de metales y plásticos mejora el desempeño ambiental general.

Los escenarios que incluyen la digestión anaeróbica en el proceso de compostaje muestran mejores desempeños ambientales, además acentuado por el reemplazo de combustibles fósiles al general biogás.

Finnveden et al. (2005) evalúan diferentes estrategias de tratamiento de RSU desde la perspectiva del ciclo de vida, identificando factores críticos. Como conclusión general indica una jerarquía de técnicas de procesamiento ordenada en función del balance de energía del sistema en su contexto específico, y la generación de gases de efecto invernadero. Bajo este criterio concluye que las técnicas de reciclado/reutilización se encuentran en el lugar de mayor relevancia del ordenamiento, seguido por las técnicas de gasificación, frente a la disposición final en relleno sanitario que es la de mayor impacto.

Como estos estudios se basan en procesos con tecnología específica para un estado determinado de la técnica, se puede ver que la planificación de los sistemas de GRSU deben poder contemplar otras configuraciones de acuerdo a la dinámica de disponibilidad de avances en el desempeño de la recuperación de materiales. Por otro lado, en esta misma dirección, se constata que el desempeño ambiental puede mejorarse a partir de la incorporación del diseño para el reciclado de las producciones.

El escenario actual (EA) en La Plata puede ser caracterizado por una recolección diferenciada de baja intensidad.

Este hecho supone que, como ocurre en muchos municipios de la región AMBA, cualquier intervención sobre la situación actual de la GIRSU debe contrastarse con el desempeño del relleno sanitario de CEAMSE. Por lo tanto, la línea de base de evaluación ambiental serán los valores característicos de emisión de contaminantes totales por tonelada de basura enterrada, incluyendo gases y lixiviados.

6.1.3 Valoración del sistema en la dimensión social

Es necesario que la planificación de GIRSU se pueda medir en términos de su desempeño social. A estos fines es necesario construir indicadores que puedan dar cuenta del desempeño de cada sistema de acuerdo a:

- Deslocalización temporal
- Deslocalización geográfica
- Identificación con los RSU
- Participación e integración
- Acceso a las políticas GIRSU
- Oportunidades sociales

Se observa que es posible incentivar la complementariedad entre estos criterios en el despliegue local de centros de GIRSU, y que, por el contrario, la centralización de los procesos y políticas tiende a dificultar estos aspectos de desempeño.

La referenciación social a estructuras locales, y la identificación con el residuo generado tendrá distintas características en función de la categoría del generador. Si el generador es doméstico, lo que se busca es que asuma que la generación del residuo es la consecuencia de sus hábitos privados de consumo, y que existe una responsabilidad intrínseca. De la misma manera, la actividad comercial como productiva, debe internalizar dentro de sus procesos la generación de residuos con el mismo sentido que el generador doméstico, pero con la responsabilidad adicional de evitar que la generación de renta sea sostenida por la producción de pasivo ambiental. Aquellos materiales que no pueden ser absorbidos por sus productores deben ser dispuestos de acuerdo a criterios de diferenciación y asignación de las responsabilidades y costes.

7 Procesos de la GIRSU

En apartados anteriores se abordaron objetivos generales de la GIRSU, bajo la dimensión ambiental, económica y social. En términos prácticos, el despliegue de estos objetivos muestra usualmente tensiones cuya resolución no es evidente en general. Para esto es necesario considerar elementos propios de cada caso de aplicación. Una estrategia posible de concepción y diseño es sumar las medidas y prácticas necesarias para arribar al cumplimiento de los objetivos bajo una interdependencia que es necesario hacer trabajar en sintonía. En este sentido la bibliografía muestra que se manifiesta la necesidad de coordinar acciones centralizadas con descentralizadas, puesto que se necesita una dirección general común de una operatoria distribuida con sus especificidades en distintos territorios. La dirección general común se necesita, como mínimo, para la gestión de la información y de los saberes, para la planificación y establecimiento de metas y estándares, como medio de introducción de transformaciones de magnitud y para el control general del sistema.

Los procesos asociados a la GIRSU, se ordenan a través de medidas técnicas, ordenadas de acuerdo a un orden de prioridad dado por el impacto económico, social y ambiental, que tienden a:

- Reducir, no generar
- Reusar
- Reciclar
- Revalorizar
- Disponer

En la figura que sigue se muestra un esquema de jerarquía general de los procesos de un sistema de tratamiento de residuos en donde se identifica claramente a tres agentes: a la producción, a uso doméstico (que podríamos llamar sociedad), y a la gestión de residuos (que es responsabilidad del estado). Se puede observar cómo los flujos materiales suponen la interrelación entre estos agentes y el medio social y natural.

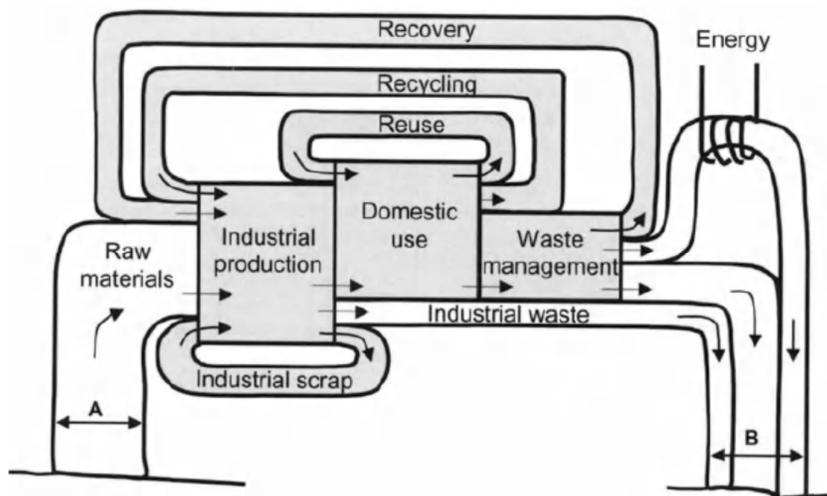


Figura 6 – Esquema de flujos residuales para la GIRSU

¿En qué medida los distintos flujos de residuos son afectados por los procesos depende del acuerdo de compromiso entre desempeño ambiental, social y económico?

Los procesos asociados a la GIRSU tienen un potencial de articulación con el sistema productivo local a partir de dos vías. Por un lado, los procesos de la GIRSU, generan una demanda de saberes y materiales, que promueven el crecimiento de actividades privadas centradas en ello. Por otro lado, la GIRSU, genera productos parcialmente sustitutivos de materias primas, pero también de productos con relativa elaboración, que potencialmente pueden reintegrarse a la producción de bienes. Se pueden observar tres elementos: demanda, saberes, materiales primarios. Los tres pueden configurar mercados locales y son objeto de políticas públicas ya que de ellos depende el desempeño del sistema en alguna medida.

Un ejemplo de esto es la creación de un mercado de aprovisionamiento de productos de las de la GIRSU, en donde este tipo de comercio reciba: incentivos fiscales, facilidades de pago, servicios de asesoramiento técnico, costos competitivos directos, aprovisionamiento con existencias permanentes, un etiquetado especial para sus productos que indique su compromiso ambiental, etc.

Otro ejemplo en este mismo sentido es la creación de un sistema de gestión de aprendizajes en donde se puedan recoger las experiencias y saberes de los GIRSU y de sus articulaciones e interrelaciones. Este sistema incentivaría la migración de saberes y la expansión de su aplicación, lo cual, incluso, permite pensar en una fuente de financiación de sus actividades. A su vez se observa una gran complementariedad con el sistema de ciencia y técnica nacional, el cual podría proporcionar fuentes de innovación y de creación de valor en el sistema GIRSU. Otro aspecto es el de generar una configuración en el territorio que maximice la generación de saberes en torno a la GIRSU, su circulación, su implicación en los procesos de participación social en cada nivel específico de decisión. Observando este criterio (Stiglitz, 2012) podemos concluir que resulta conveniente adoptar configuraciones que incluyan procesos escalables y replicados en el territorio, para que la coexistencia de las experiencias tecno productivas, y las sociales, produzcan saberes que puedan volcarse en un proceso de mejora continua que incluya todos los niveles de decisión y la evolución temporal del sistema (abordado a través del plan maestro)

En los siguientes apartados se considerarán las técnicas que podrían integrar un sistema local de GIRSU, abordados desde los criterios que fueron introducidos. Se busca en estos establecer fortalezas y debilidades de los sistemas, y sus interrelaciones, para incorporarlos en una planificación de la GIRSU para La Plata.

La emisión de metales pesados en el agua causa uno de los mayores impactos ambientales considerando la totalidad de métodos de tratamiento. La prevención de estas emisiones tiene un potencial de mejora muy alto: limitando el uso de metales pesados en los productos, recuperándolos, o estabilizándolos en un sustrato vítreo (producto de la gasificación por plasma).

7.1 Producción de RSU

¿El costo que pagamos por nuestro historial de consumo, lo cancelamos en cada transacción comercial? ¿Consumir conlleva generar un pasivo ambiental? ¿La responsabilidad ambiental se encuentra repartido equitativamente entre los distintos actores sociales? ¿Todo consumo humano tiene igual jerarquía? ¿Hay en nuestra manera de producir y consumir instancias de amortiguamiento del impacto de la actividad humana? Estas son algunas preguntas que debe abordar las políticas de gestión de residuos, en términos de su producción. Trataremos de abordar de manera general y tentativa solo los aspectos instrumentales de políticas locales, pero que intentan dar algún tipo de respuesta a estos interrogantes que en definitiva orientan el presente trabajo.

La medida más evidente para el cumplimiento de los criterios expuestos es no generar residuos, lo cual, en el límite es contradictorio con la actividad humana. No obstante, es posible repensar aspectos de las producciones de manera de reducir el descarte, como también de limitar el ritmo de consumo.

Por un lado, está la pregunta acerca de qué medidas condicionantes de la producción pueden incorporarse para propiciar la incorporación de materiales recuperados o secundarios, y evitar el descarte.

Es necesario contar con las herramientas regulatorias y de fomento del estado para poder propiciar la transformación del circuito de producción-consumo-descarte en el sentido que se explicitó. Estas herramientas incluyen la creación de mercado, la introducción de reglas de comercialización y producción, el establecimiento de tasas, la facilitación de procesos, la planificación centralizada, entre otras.

Las medidas en el sentido expuesto deben tender a:

- Reducir las cantidades de materiales procesados en general, dispuestos en los vertederos controlados en particular, aumentando la reutilización y reciclado, y prolongando su vida útil.
- Reducir el contenido de materiales peligrosos o de alto impacto Ambiental en los residuos.

En este sentido es posible pensar en:

1/propiciar diseños que aumenten la durabilidad de los bienes. Esto puede significar reducir la obsolescencia, y aumentar la capacidad de ser reparados, de ser actualizados o ampliados. Por otro lado, es posible pensar en la promoción del uso compartido, desplazando el concepto de propiedad ligado a la utilidad.

2/propiciar el uso de materiales cuyo descarte pueda ser dirigido a la fábrica de origen para su reutilización;

3/propiciar diseños que utilicen estándares de uso de materiales que faciliten su reutilización y reciclado;

4/propiciar fabricaciones que incorporen materiales secundarios;

5/propiciar el uso de materiales con menor impacto ambiental, costo de tratamiento y potencial de reciclado, capaces de ser dispuestos transitoriamente sin que disipen al ambiente contaminantes, fabricados con técnicas más eficientes; y en sentido inverso limitar la incorporación de sustancias que tengan potencial contaminante a partir de su lixiviado, como los metales pesados.

Al respecto de la producción de bienes y servicios, su comercialización debe incluir los costos de GIRSU, y por tanto es necesario participar a las empresas productoras de la problemática, costos, y responsabilidades, o sustituirlos por una carga arancelaria en el caso que esta interacción no pueda darse en la práctica, como sucede con la mayor parte de los materiales importados. Si esto no fuera así, se estaría desfavoreciendo a las producciones locales en el sentido de requerirles esfuerzos de responsabilidad empresaria que no le son requeridos producciones transnacionales.

Al respecto del empaquetamiento, es posible pensarlos intentando estandarizar su tipo en función de las técnicas de reciclado o reutilización a las que serán sometidos una vez descartado. Este tipo de producto tiene una utilidad ligada a la comercialización, lo cual implica que su descarte se encuentre ligado al solo intercambio. Un ejemplo de estos son las bolsas contenedoras que se entregan en los comercios, los recipientes de presentación, los recipientes de fraccionamiento en el lugar. En este sentido pueden rastrearse antecedentes relativos a la estandarización de empaquetamiento que han promovido un menor impacto ambiental y un mayor nivel de reutilización de materiales secundarios. Estas disposiciones pueden incluir la promoción de empaquetamientos más livianos y reciclables, la identificación de los materiales utilizados, y su estandarización general.

Por otro lado, las cadenas de comercialización pueden pensarse en relación a la GIRSU, por cuanto mientras más complejos son los abastecimientos y logísticas, mayores residuos suelen generar su actividad, tanto en la generación de embalajes y empaquetamiento, como de materiales de rechazo que no vuelven al productor. La comercialización directa de alimentos, por ejemplo, produce menos empaquetamiento y desperdicios, y lo producido tiene mayor vida útil. Además, la interacción social es de mutuo beneficio.

Desde el punto de vista de generar incentivos para asociarse al circuito de la GIRSU es posible concebir un sistema de certificaciones de calidad ambiental para productos y servicios, que aumenten la exposición comercial de estos, a la vez que los jerarquice y/o contribuya a la reducción de sus costos.

Si pensamos, por otro lado, la generación de RSU desde el punto de vista del fenómeno social, podemos ver que las políticas de gestión integral deben:

- Involucrar el soporte de información e incentivos en la adquisición de bienes y en su descarte
- Participar a la población de las instancias de decisión al respecto del sistema GIRSU
- Proveer un soporte territorial de cercanía a las políticas de GIRSU.

En general, en este sentido, es necesario que la población integre a la vida urbana la idea del residuo, y la actividad que supone (o al menos en porción de ella), haciéndola partícipe de sus beneficios y procesos.

Si pensáramos en centros locales GRSU, estos pueden servir como instancia de reinserción y distribución de materiales a los procesos productivos locales, de reacondicionamiento y recuperación de bienes usados, entre otras actividades complementarias.

En la dimensión individual, la producción de RSU se produce en el interior de una vivienda, o de una actividad productiva o comercial. Si consideramos los RSU domiciliarios, las políticas comunicadas y participadas inciden en un acercamiento a modelos mentales de qué se descarta y qué se consume. En este sentido es funcionalmente imprescindible el despliegue de las políticas en el medio local, con un correlato territorial y material. El tipo de centro local asiste a la población con menos capacidad de consumo a acceder a bienes con una utilidad remanente, generando una ética de conservación en ambos lados de las cadenas intercambio. Este tipo de centros también puede ser utilizado como punto de disposición en los vecindarios, de residuos no habituales, desplazando su diseminación por la traza urbana.

La separación domiciliaria es una conducta derivada de este modelo. Su esquema más básico es entre secos (reciclables y reutilizables) y húmedos (que pueden contaminar a otros).

Existe una variante de políticas de generación de RSU que es la disposición domiciliaria de los residuos para la producción de compost. En general esto es posible cuando se cuenta con espacios verdes en los domicilios. Esta variante es sumamente beneficiosa para todo el sistema GRSU, puesto que supone el cierre parcial de un circuito de consumo y reutilización, a nivel doméstico. El incentivo de este tipo de acciones tiene un gran potencial, que puede extenderse a la producción frutihortícola y a los residuos de espacios verdes municipales, desplazando (al menos parcialmente) la utilización de fertilizantes industrializados, de mayor impacto ambiental.

¿Es posible desvincular, al menos parcialmente, el crecimiento urbano del crecimiento de la generación de residuos? Los datos empíricos estudiados muestran que sí es posible y que la herramienta donde descansa esta desvinculación es en la existencia de políticas públicas que articulen la GRSU con otras actividades sociales.

7.2 Recogida

En términos presupuestarios la fase de recolección de RSU tiene un peso que va de los 40 a los 90 USD por tonelada, de acuerdo a las publicaciones de Urban Development Series del Banco Mundial. Este rango se verifica en otras publicaciones como la de Johansson, 2009, o Andrew, 2007. Estos costos de referencia pueden servir como estándares a superar a la hora de reconsiderar las técnicas aplicadas de manera local, bajo los mismos niveles de servicio similares. Por lo tanto, puede configurar un primer indicador de desempeño del subsistema de recogida.

Adriyanti et al., 2018, haciendo una revisión bibliográfica de GRSU, encuentra que un gran número de estudios de referencia se basan en la reestructuración del sistema de recogida. Este hecho se funda en el impacto de la recogida sobre el costo total del sistema GRSU. Phillips et al., 1998, indica que los costos de recolección y transporte suman hasta el 65% del costo total de la GRSU.

La U.S. EPA muestra en sus estudios de relevamiento de distintas ciudades de U.S. que el costo de la recogida domiciliar depende de la relación de segregación de los residuos. Lo más singular de la información que publica es que este aumento de costo esperable en el sistema de recolección tiene un valor máximo después del cual se pueden alcanzar costos por tonelada menores. Adicionalmente se muestra que frente a recolecciones de viviendas familiares o multifamiliares, las primeras tienen un valor máximo a menores valores de porcentaje de segregación, alcanzando máximos de menor magnitud.

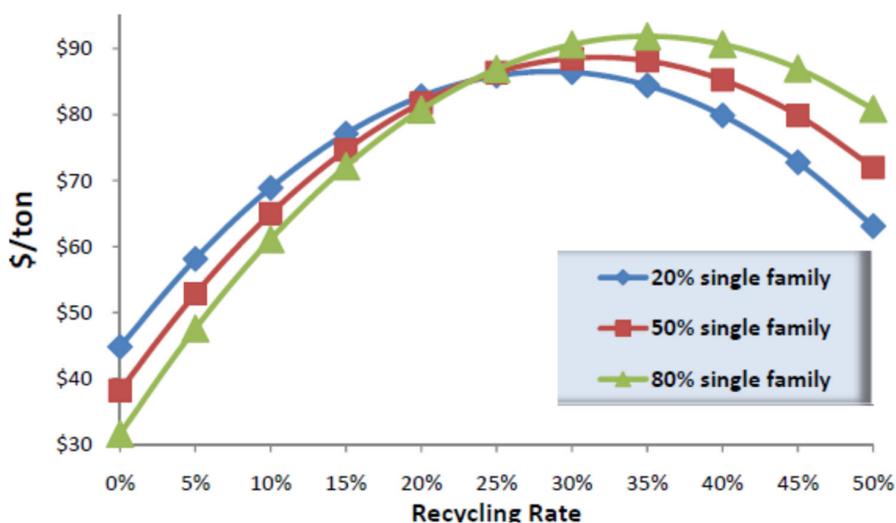


Figura 7 – Costo de referencia de recogida en función de la relación de reciclado

En el año 2018, el Municipio de La Plata realizó una licitación para concesionar la recolección de residuos, lo que arrojó un valor del orden de los USD 130 por tonelada. Si consideramos el orden de magnitud de residuos generados por año en La Plata, de aproximadamente 638.000 toneladas, es posible cuantificar este impacto. Estos montos incluyen un alcance que, si bien exceden los que se entienden por la tarea de recolección de residuos, es indicativa de la disminución de costos a la que se podría aspirar. Los costos de recogida de los residuos rondan el 10% de los presupuestos de GRSU municipales.

Las ciudades latinoamericanas tienen la característica de haber sido trazadas, en general, sobre la base de manzanas cuadradas, atravesadas por diagonales o avenidas. Este patrón también es característico en el caso de La Plata. Por lo tanto, las soluciones relativas a este tipo de traza tendrán el potencial de ser aplicable a un universo de ciudades muy amplio.

La fase de recogida supone la concentración de corrientes de residuos para su traslado y tratamiento diferenciado, desde las localizaciones donde se generan. Los puntos donde se disponen transitoriamente y de donde se recogen suelen ser los frentes de cada domicilio, y en algunos sectores de la ciudad, de contenedores dispuestos a estos fines.

Berg (1993) establece como principales aspectos comparativos de sistemas de recolección, la función técnica, los costos, las estrategias de información, los códigos sociales y el comportamiento de los habitantes.

En esta fase, la dimensión ambiental y la dimensión económica está condicionada principalmente por las distancias recorridas.

La actividad de recolección supone la carga de camiones compactadores con residuos embolsados retirados del canasto no estandarizado de cada vivienda o grupo de viviendas, por parte de recolectores. El camión a su vez es conducido a través de distintas áreas para recorrer con un número dado de cuadrillas la totalidad de la región. Una vez realizada esta tarea, con el camión cargado parcial o totalmente, se traslada a un punto de acopio. Por lo tanto, pueden identificarse los siguientes factores técnicos básicos:

- Residuos (no separado o separado, cantidades)
- Tipo de recolección (contenedores o por domicilio)
- Rutas de recolección en el área de servicio
- Traslado al punto de descarga

La estrategia de separación en origen ha demostrado que preserva el valor de las fracciones residuales haciéndolas más aptas para su reutilización, reciclado o valorización. Por otro lado, distintos estudios indican que desde la óptica del ciclo de vida esta forma genera menores impactos globales. La contracara es que los costos de la recogida diferenciada de fracciones de número creciente aumentan directamente los costos de este ítem del proceso de GIRSU.

La recolección puerta a puerta demuestra facilidad en su implementación con costos que dependen de la frecuencia de visita y las distancias recorridas.

En el caso de la recolección por contenedores, estos ofician de disposición transitoria de residuos en la vía pública. Cuando se trata de residuos reciclables como vidrio o plásticos, este tipo de disposición transitoria no genera pasivos ambientales ni interfiere con la vida urbana, toda vez que la capacidad de los contenedores no sea superada. Por lo tanto, será la velocidad de llenado la que determina la frecuencia de recogida. Este tipo de contenedores permite disponer de puntos de recolección especializada sin que esto conlleve un peso presupuestario mayor. En el caso de la recolección de residuos húmedos, domésticos, si bien implica una disminución de la tarea de recolección, los frentistas deben disponerlos en contenedores colectivos, lo cual necesita de la adopción de prácticas de higiene específicas para no impactar

en el medio natural, ni en las condiciones sanitarias de las zonas servidas. Por lo tanto, necesita de un acompañamiento ciudadano que no debe desarrollarse en cada territorio de aplicación. Esta técnica puede reducir la circulación de residuos fuera de contenedores en la vía pública, que potencialmente tiene impactos sanitarios, en el servicio de barrido y limpieza, en los sistemas de desagüe pluvial.

La dimensión social tiene su mayor despliegue en esta fase en torno en donde opera principalmente la identificación con los residuos generados por cada individuo. Estas decisiones están asociadas a:

- Asignación a determinado material el carácter de residuo a ser entregado al sistema GRSU en función de sus características
- Separación de residuos, que posibilita la reutilización y reciclado, como la generación de compost de calidad,
- Tratamiento y/o disposición domiciliaria de residuos
- Traslado de fracciones a puntos de recogida o puntos verdes.

Por lo existe un proceso de asociación con los residuos en estos procesos que deben servir como factor de valoración adicional de las formas que se adopten, por cuanto representan un requerimiento ambiental, de costos, y de involucramiento social como estrategia para la equidad. En esta fase, la participación social es la que posibilita y condiciona el despliegue de otras formas técnicas. Hay una tendencia clara que se demuestra que a mayor participación social menor impacto y costo del proceso, no solo por la internalización de las labores, sino porque las fracciones residuales tienen mayor calidad en términos de estabilidad y regularidad, y porque el control de desempeño del sistema se multiplica y distribuye. Posiblemente este proceso de asociación represente un factor determinante del desempeño de subsistema, que impacta en todos los procesos involucrados en la GRSU.

La fase de recolección se relaciona con la fase de tratamiento de los residuos, y con la generación, conectándolas en un proceso de concentración y traslado.

La actividad de traslado al punto de descarga, tanto los costos como el impacto ambiental estarán fuertemente condicionadas por la distancia de los puntos de recogida a los puntos de consolidación. Este hecho jerarquiza la adopción de localizaciones cercanas para la descarga.

Al respecto de la tarea de recogida propiamente dicha, vale decir la de recorrer y recolectar áreas a servir, una fuente importante de disminución de impactos ambientales y en costos es la de reducir las distancias recorridas y el tiempo utilizado, como se mencionó previamente. Hay distintos tipos de métodos para optimizar este proceso con el objetivo de recorrer la menor distancia posible sin impactar sobre la calidad del servicio para disminuir el impacto ambiental (ruido, gases, etc.) y los costos (combustible, horas de dedicación del personal a cargo, costos de mantenimiento). En general esta optimización ha sido extensamente estudiada bajo el nombre de TSP (problema del viajante) y VRP (problema de la asignación de rutas a vehículos), bajos distintas variantes procedimentales.

Uno de estos estudios es el hecho por Torres (1999), que plantea la problemática de la elección de rutas para la recogida de residuos. En particular muestra patrones particulares para las

ciudades latinoamericanas, que funcionan como patrones condicionantes de la solución de recogida, antes estudiadas previamente por Stern and Moshe Dror (1979) y Eglese y Li (1992). En su trabajo se desarrolla un modelo para determinar rutas de longitud óptima cuando las manzanas son cuadradas, que es una geometría muy común en ciudades latinoamericanas, y en donde el sentido de las calles cambia alternativamente. El primer paso que sugiere es el establecimiento de isócronas desde el punto de salida/llegada de las unidades de descarga de la recolección. Esto implica definir contornos que indiquen el tiempo de traslado a un determinado punto desde el punto de salida. El trabajo muestra que la mejor alternativa, como primera aproximación, es orientar las zonas rectangulares de forma perpendicular a las isócronas. El segundo paso que se plantea es la determinación del tamaño óptimo de rutas. El tercer paso es asignarle una relación de aspecto entre profundidad y ancho de las zonas. Existe una gran diversidad de casos que deben ser estudiados en singular para determinar valores que optimicen en el sentido propuesto las rutas, pero podría aproximarse de manera primaria un valor de 0,5.

Johansson et al. (2006) estudió el efecto de técnicas básicas de programación y de asignación de rutas en la recolección de residuos para una ciudad hipotética, la cual contrastó con un sistema real. El estudio concluye que una programación y ruteo producido con periodicidad para considerar las restricciones específicas, disminuye costos operativos y distancias sistemáticamente, al mismo tiempo que permite enfrentar escenarios cambiantes y diversos, que caracterizan la demanda del servicio.

Los estudios de optimización son fuertemente dependientes de las condiciones de contexto que definen el problema, y por lo tanto deben recalcularse como una práctica periódica, para mantener un elevado nivel de eficiencia.

Es fácilmente observable que la mayor simplicidad logística está dada por la existencia de una planta de tratamiento en las cercanías de los territorios servidos para minimizar los costos de traslado. Por lo tanto, las recolecciones descentralizadas ofrecen una mayor eficiencia ambiental y económica de por sí.

Distintos estudios muestran que existe una importante economía de escala cuando la recolección de residuos es indiferenciada, vale decir que mientras más populosa sea una urbe, habrá una tendencia creciente hacia la aplicación de esta técnica. La recolección diferenciada muestra bajas economías de escala. Por lo tanto, si se intentara aprovechar estas economías de escala, es posible recurrir a medios alternativos de recolección de las fracciones reciclables, a partir de la disposición en puntos verdes, la recolección por parte de cooperativas especializada, u otros, con distintas estrategias de fomento, como el precio de los materiales en el mercado de reciclados.

La separación en origen, no es en principio evitable, puesto que posibilita el reciclado, reutilización y revalorización de materiales. Además, posibilita que los habitantes del territorio construyan un sentido de responsabilidad con los objetos descartados. Estas técnicas de reciclado y reutilización ofrecen un gran potencial social, ambiental y económica, y su viabilización está dada mayormente por el proceso de recolección. Esta importancia se encuentra en tensión con los costos de recogida diferenciada, y condiciona la planificación y

toma de decisiones a nivel local si no son consideradas en conjunto con la GIRSU local. Si el horizonte del sistema en términos integrales incluye la segregación de fuentes residuales, entonces es necesario generar planificaciones que minimicen los costos de recogidas y se dirijan a la zona posterior a los máximos indicados en la figura anterior.

Las variables que suelen capturar la eficiencia del proceso suele ser la cantidad de turnos de servicio, la dotación y la cantidad/tipo de vehículo usado. La disposición por parte de grandes productores, finalmente suelen ser condicionantes de la eficiencia general del sistema, porque tiene un poder estructurante a nivel local.

No existe evidencia sistemática que la recolección privada esté asociada a menores costos. El estudio sistemático de estos costos, y su circulación pública, puede servir para la mejora continua de este subsistema.

Si reconsideramos los costos de recolección y traslado, habrá por lo tanto dos fuentes de mejora del desempeño: la gestión del sistema de recogida, incluyendo centralmente la optimización de las rutas y el método de carga, y la disminución de las distancias de viaje de las cargas, incluyendo el traslado al proceso de disposición final.

7.3 Plantas de tratamiento locales

Los procesos anteriores, en las fases de generación y recolección, están fuertemente condicionados por la distancia a las plantas de tratamiento donde se dispone transitoriamente los residuos.

En términos de interacción con el medio local social y productivo, la distancia entre la recogida y las plantas de tratamiento local, conjuntamente con su escala, y con la capacidad de recibir el conjunto de programas locales de gestión integral de los residuos urbanos, posibilitan una referenciación cuya necesidad se planteó en general previamente en este trabajo.

Estas plantas podrían recoger los procesos de acumulación de fracciones residuales, oficiar de punto de disposición voluntaria, de centro de separación, servir para procesos de deshidratación (térmica o biológica, lo cual implica una disminución del tonelaje que puede llegar a la mitad), e incluso albergar procesos como la gasificación por plasma. La cercanía territorial de estas plantas disminuyen de por sí la emisión de gases de manera no controlada durante el tiempo de espera hasta su disposición final.

Por otro lado, las plantas de tratamiento locales posibilitan establecer un mecanismo de modularidad en la descentralización de las actividades que absorba. Adicionalmente permite un crecimiento gradual en absorción de roles y complejización de su actividad. Ambos aspectos mantienen una complementariedad muy positiva para la planificación de los sistemas GIRSU, y con su dirección centralizada, tanto en términos de velocidad de instrumentación de políticas como de generación de valor a través de la gestión de los aprendizajes.

Storey (2013) muestra la experiencia de los centros locales en Asia-Pacífico, en donde estos centros descentralizados integran la recuperación o tratamiento de la totalidad de los residuos a nivel local. En el grupo de casos que estudió esta solución resulta ser efectiva y eficiente en el despliegue de políticas de reutilización, reciclado y revalorización. También demostró que este

modelo puede ser replicado y escalado en ciudades más grandes a partir de la incorporación de la comunidad local en el perfilado de cada centro. Adicionalmente estos centros crean puestos de trabajo, trabajo indirecto y recursos por la venta de materiales que reducen el impacto presupuestario del sistema de gestión. Por otro lado, disminuyen el impacto ambiental global del sistema. Los proyectos estudiados mostraron efectividad en la creación de apareamientos entre la administración de la gestión y actores sociales bajo una óptica de mutuo beneficio. De parte del estado se puede resumir en la disminución del presupuesto, y del impacto ambiental. Estos están correlacionados con la magnitud de residuos no dispuestos en rellenos sanitarios, y en el caso de los actores sociales la generación de empleo formal con todos sus beneficios. Asociado a esto, una serie de saberes de la implementación y gestión local se generan en el seno de las unidades locales que generan una realimentación virtuosa de la medida que facilita su implementación en otras localizaciones. Se comprueba en estos casos que esta medida impacta en la movilización de la población en el sentido del compromiso ambiental con la disposición de los residuos.

Kurian (2013) ahonda en su trabajo en el efecto de plantas descentralizadas que ofrecen preprocesamiento a la fracción orgánica, remarcando sus beneficios. Presenta en este caso la posibilidad de establecer biorefinerías alimentadas con fracciones orgánicas. Joshi (2016) también plantea como estrategia la descentralización de actividades de pretratamiento en el contexto de India con resultados en el mismo sentido.

Uno de los procesos que se llevan adelante en el procesamiento que llamaremos intermedio, es la densificación. Este es un efecto deseable de productos o sustancias estandarizadas desde el punto de vista material, porque eleva la facilidad de tratamiento de las corrientes residuales, aumentando el valor del conjunto. Mientras más homogéneo es un flujo material, en general, mayor es la probabilidad de ser absorbido por un proceso de manufactura y mayor es su precio de mercado. El origen de la heterogeneidad de los residuos urbanos se produce tanto en la concepción de los productos como en el descarte. Por lo tanto, en estos dos primeros procesos se puede impactar sobre la disponibilidad, segregación y densificación posterior, por ejemplo de determinados plásticos.

Las plantas de recuperación de materiales (MRF) se encargan de separar materiales para homogeneizar corrientes residuales y elevar su valor. En estas plantas los camiones de recolección dejan su carga en playas donde se verifica la existencia de materiales peligrosos y se los conduce por cintas transportadoras. En la primera estación se separan materiales ferrosos por medio de magnetos, y no ferrosos por medio de magnetos Eddy-Current. En los sectores posteriores se realizan otras separaciones, manuales o automáticas y mecanizadas. La separación de estos materiales necesita de una serie de precondiciones en juego: factibilidad de la separación, costo de la separación, precio del material secundario, impacto ambiental relativo. Cada material, por lo tanto, deberá ser analizado desde este balance para justificar su separación y inserción en el mercado de materiales, desplazando parcialmente a materia virgen. La separación manual se presenta en general como la más efectiva, pero implica un uso intensivo de mano de obra cuya conveniencia ambiental y económica debe evaluarse. A lo largo

de los diferentes procesos se van extrayendo materiales (como vidrio, cartón, algunos plásticos), generando un flujo de rechazos.

En general, los procesos componentes incluye una separación primaria manual que se mencionó previamente, una posterior trituración para que los tamaños de los materiales sean más o menos regular, separación por densidad y por tamaño (Trommel).

Si al flujo de rechazos se le puede extraer el material orgánico no contaminado, entonces es posible compostar el residuo.

El material rechazado, en la actualidad, tendría como destino un relleno sanitario, que se propone definir como línea de base de desempeño tanto para la dimensión social, como la económica y la ambiental. Habría que agregar una función más a analizar que tiene que ver con el riesgo, vale decir el impacto frente a un suceso extraordinario.

El material restante puede ser derivado a un proceso de valorización energética como alternativa o complemento de enterramiento.

Cada flujo material deberá ser evaluado en términos de los costos y beneficios asociados a su reinserción en las cadenas productivas, para jerarquizar su captación en los flujos residuales. Un ejemplo de esto es que el beneficio ambiental de la recuperación de metales (aluminio, acero, etc) comparada con la de plásticos convencionales es mayor en al menos un orden de magnitud.

7.4 Compostaje

El compostaje es un medio posible de disposición de fracciones orgánicas de los RSU, en particular de aquellos cuyo contenido de metales y otros fitotóxicos pueda ser controlado. Por lo tanto, es particularmente aplicable a residuos de poda, a residuos de alimentos para consumo humano, entre otros.

El control de calidad de la materia compostable es particularmente controlable en origen, evitando la contaminación cruzada. La conveniencia ambiental del compostaje reside en la calidad de la mezcla materia orgánica a compostar, y la inexistencia de contaminantes en ella que pueda bioconcentrarse (metales pesados). Por lo tanto, es necesario garantizar esta condición. En el caso de compostajes a gran escala, debe haber una cadena de aprovisionamiento que cuide este aspecto de calidad, lo cual tiene un correlato en costos al respecto de las recogidas indiferenciadas. En el caso de compostaje domiciliario, la producción de materia orgánica, de poda o de residuos de alimentos vegetales, es fácilmente separable. El control del material a compostar es clave para garantizar la utilidad ambiental del proceso. En este control de deberá pesar y extraer los materiales extraños, tratando de producir un sustrato más o menos regular.

Es fácilmente observable que una estrategia de disminución de residuos de muy bajo costo es la promoción del autocompostaje, sobre todo en las zonas urbanas en donde las unidades habitacionales lo permiten.

Compostajes de mayor escala pueden desplegarse en unidades locales de tratamiento, previo trabajo de segregación y control, al menos en una instancia de pre-procesamiento.

Otro aspecto central de compost es que es una técnica cuya tecnificación es escalable, cuyo costo de operación y mantenimiento es en general muy bajo, y cuyo producto reemplaza a los fertilizantes químicos al menos parcialmente.

El tratamiento de compostaje en fase aeróbica tiene como resultado:

- la producción de compost de calidad,
- la producción de compost de calidad inferior con aplicación limitada,
- la reducción de biodegradabilidad de la fracción desechada destinada a disposición final y el aumento del potencial calorífico,
- la reducción volumétrica y de masa del material sólido, que puede llegar al 60% (Soliva (2008))

El proceso de compostaje puede esquematizarse a partir de una cadena que comienza con una preparación en molienda y separación de metales. Los residuos necesitan estructura para poder airearse y por eso la fase de molienda dosifica materiales como los residuos de poda, con otros que tienen más contenido de agua. En la fase de descomposición, que es termófila, vale decir que implica la generación de calor, entre otros procesos físico químicos, se destruyen los patógenos que pudieran involucrarse, demandando oxígeno. Finalmente, el proceso finaliza en una fase de maduración, donde se estabiliza el sustrato. El control de la maduración (que puede establecerse a partir de su autocalentamiento) es clave para su utilización agronómica. La calidad del compost queda entonces condicionada casi exclusivamente por la presencia de materiales impropios.

En estas fases interactúa una fase sólida, una líquida, y una gaseosa. Hay numerosas variantes técnicas de este proceso con distintos desempeños y utilización del espacio, que deben ser estudiados bajo la óptica propuesta de jerarquización para ser implementados. El sistema menos mecanizado es la disposición transitoria de la molienda en pilas longitudinales que son rotadas periódicamente hasta su estabilización y retiro. Los sistemas más tecnificados incluyen la inyección de aire, la rotación en un tambor, el control de parámetros como la humedad y temperatura. Adicionalmente, existen procesos combinados que incluyen el tratamiento con lombrices previo compostaje aeróbico, que acelera el proceso y promueve mayores calidades y estabilización (Ndewa y Thompson, 2001). La bibliografía muestra que es posible aspirar a plazos de tratamiento de 8 semanas. La mayoría de las plantas contemporáneas incluyen el tratamiento biológico intensivo de 4 a 8 semanas, seguido de una maduración extensiva a cielo abierta sin aeración forzada. La estabilización se mide a partir de indicadores asociados a la cantidad de oxígeno que consume (por ejemplo, en 96 horas en un dispositivo específico, que implica un parámetro denominado AT4). Un RSU sin tratar tiene un AT4 de 40-50 mg O₂ por gramo de materia seca. Después del tratamiento biológico resulta en menos de 5 mg de O₂ por gramo. El proceso está compuesto por la emisión de CO₂ y metano en la actividad biológica aeróbica, la metabolización o generación de compuestos orgánicos a partir de reacciones biológicas, escape de sustancias volátiles de los RSU originales, Metales pesado y volátiles pesados que permanecen en el sustrato, bacterias y hongos emitidos en el proceso biológico.

El compost es una fuente de recursos sustancial que puede reinyectarse en las cadenas de valor. Para esto es necesario incorporar su producción a partir de un abordaje técnico que garantice y

monitoree la calidad; establecer canales de consumo como parques públicos y privados, productores de alimentos, etc; y ofrecerlo como alternativa a la fertilización química.

Domingo (2019) menciona problemáticas de la producción industrial de compost. Entre ellas se destaca la generación de gases y la potencial contaminación de la tierra por vertidos del proceso. Ambos problemas son fácilmente controlables. Los gases generados, en escales mayores a la doméstica, deben ser recogidos para evitar su impacto, Huton et al. (2009), y tienen un poder calorífico potencialmente utilizables. Esencialmente el proceso de compostaje convierte aproximadamente el 50% de la masa en vapor y gases incluyendo CO₂. En general, no obstante, la mayor parte de CO₂ no obstante queda atrapado en el compost y no se libera a la atmósfera.

Martinez- Blanco et al. (2013) muestran que si bien es necesaria la realización de estudios que validen experimentalmente, con datos acumulados en plazos prolongados, el desempeño ambiental del compostaje, es posible arribar con suficientes elementos de comprobación que califica su desempeño. Se encuentra probado y cuantificado el efecto positivo de la aplicación agronómica del compost, con muchos datos disponibles al respecto de su desempeño, incluyendo el aporte de nutrientes. Adicionalmente se encuentra probado, aunque con tareas de caracterización e impacto que deben profundizarse, el impacto benéfico a la erosión de suelos y al contenido de humedad. Finalmente se encuentra probado también, pero en distintas magnitudes, la supresión de cargas patológicas en los residuos orgánicos. Adicionalmente existe una importante cantidad de literatura al respecto de la capacidad de bioremediación del compost, como se presenta en el trabajo de Buyuksonmez (1999).

Como balance genera, el compostaje puede servir como un sumidero de gases de efecto invernadero (GHG), genera un impacto ambiental positivo, reduce el uso de otros materiales desplazando su huella de carbono y es un método de muy bajo costo.

En términos de cantidades el compostaje representa un potencial de procesamiento que puede esperarse de 145.000 toneladas por año para el municipio de La Plata (correspondiente a un 80% de los residuos de poda y alimentos para alimentar el compostaje y un 20% de material rechazado), de las cuales es posible obtener 45.000 toneladas de compost anuales para su utilización.

La EPA, en Life Cycle Inventory and Cost Model for Mixed Municipal and Yard Waste Composting, establece como estándar de costo del orden de USD 45/ton de residuos, a lo que se debería descontar la utilización del gas producido (como combustible por ejemplo), y la comercialización del compost.

A su vez se puede observar que el vermicompostaje reduce la emisión de gases volátiles durante el proceso (Lim y Wu, 2016, Lleo et al. 2013), deprimiendo la producción de gases de efecto invernadero.

7.5 Procesamiento por gasificación por Plasma

Los tratamientos de valorización energética tienen la característica de aprovechar la capacidad calorífica de los residuos que trata para generar energía eléctrica y calor. Los efluentes que genera son gaseosos (gases residuales de la combustión con distintos impactos ecológicos), sólidos (material particulado), líquidos (como alquitrán). En particular el tratamiento por

gasificación por plasma mitiga en gran medida los efluentes generados, minimizando los sólidos y eliminando los líquidos. La fase gaseosa posterior al proceso de gasificación se encuentra compuesto básicamente por un Syngas conteniendo mayoritariamente hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano, reduciendo a valores muy bajos la producción de gases con potencial tóxico. En el caso de las dioxinas y furanos, su formación se encuentra parcialmente impedida por la limitada cantidad de oxígeno molecular, y por las altas temperaturas del proceso. Este gas es combustionado para generar energía eléctrica. La fase sólida corresponde a un material vitreo, valorizable. Wang 2010 analiza la colada vitrea y concluye que representa un sustrato que permite el tratamiento de materiales contaminados con metales pesados porque evita hasta un 100% en términos de toxicidad su lixiviado.

Por otro lado, en general, la valorización energética permite acortar los tiempos de almacenaje reduciendo la emisión de gases como el metano, y también dotarse de una fuente de abastecimiento de energía distribuida.

Dicho lo anterior, es posible pensar en la importancia de su incorporación en el marco de los sistemas de gestión en función de su complementariedad con los requerimientos de desempeños definidos.

Al respecto de la dimensión ambiental, permite minimizar el impacto ambiental de fracciones descartadas de otros procesos que serían dispuestas en rellenos sanitarios. Por lo tanto, la comparación en términos de impacto debe realizarse sobre la base de la sustitución, al menos parcial, de los rellenos sanitarios. Esta característica se acentúa si se contempla el riesgo ambiental de cada sistema.

Al respecto de la dimensión económica, es posible reducir vía la incorporación de esta técnica, los costos de tratamiento, si se lo compara con otros métodos de disposición como los rellenos sanitarios. Esta reducción surge de comparar costos de tratamiento e ingresos por la generación de subproductos de valor comercial, incluyendo a la energía

Al respecto de la dimensión social permite la incorporación en los tejidos urbanos de plantas de tratamiento como tratamiento en las cercanías de los puntos de recogida, permitiendo no deslocalizar ni temporalmente ni espacialmente los pasivos ambientales generados en el tratamiento de residuos. Por otro lado permite la consideración de tratamientos descentralizados, que integralmente impacten positivamente en el sistema. Por otro lado la introducción de esta técnica, genera fuentes de empleo, saberes que posibilitan la mejora continua, instancias de integración social, oportunidades de mejores desempeño en la gobernanza y en el involucramiento de la población, entre otras.

7.5.1 Descripción general

El tratamiento de gasificación por plasma es un tratamiento térmico que, aplicado a las fracciones descartadas por procesos destinados a la reutilización, reciclado y revalorización de residuos, resulta ventajoso frente a otras técnicas de generación de energía a partir de residuos. Entre estas se encuentran:

- (1) alta densidad de energía y temperaturas, con sus consecuentes tiempos de reacción, que ofrece el potencial de una gran capacidad de tratamiento en espacios relativamente pequeños;
- (2) altas velocidades de encendido y apagado en relación a otros procesos térmicos;
- (3) bajo consumo de oxidantes, y por lo tanto menor producción de gases, disminuyendo el manejo de ellos, para una misma energía contenida.

En la figura que sigue se muestra un esquema genérico de una planta de gasificación:

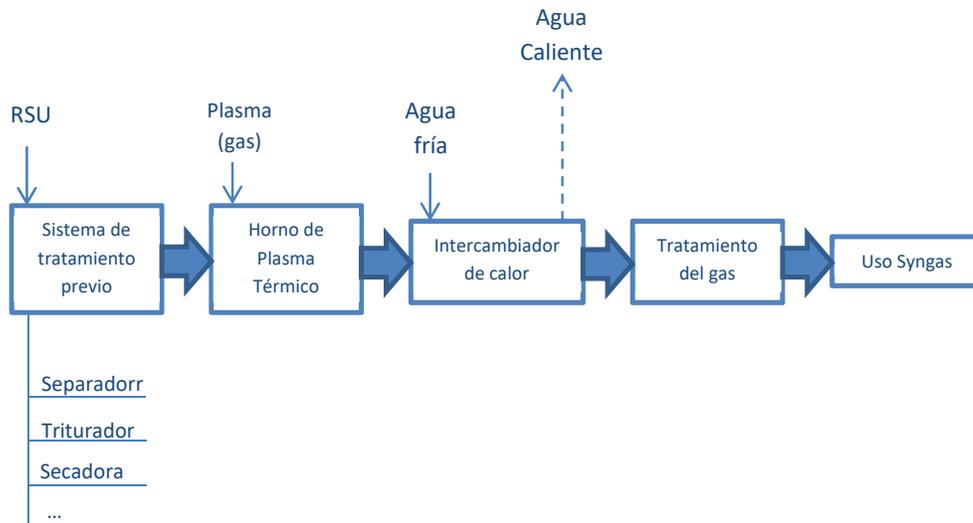


Figura 8 – Esquema de planta de gasificación por plasma

Heberlein y Murphy describen como una planta típica de gasificación por plasma térmico para el tratamiento de residuos sólidos, una compuesta por: (a) un horno de plasma; (b) una cámara de combustión secundaria para aumentar el tiempo de residencia de los gases a elevada temperatura para asegurar la completitud de las reacciones de la gasificación; (c) una cámara de enfriamiento para evitar la formación de dioxinas y furanos; (d) un ciclón para retirar el material particulado; (e) un scrubber para eliminar los gases ácidos; (f) una unidad de absorción de hidrógeno sulfúrico; (g) filtros para remover partículas muy pequeñas; (h) filtro de carbón activado para la remoción de metales pesados.

El plasma en un reactor de un gasificador tiene como función principal regular el transporte de energía para la descomposición de la masa inyectada, y por lo tanto controla el perfil de temperatura en él. Por otro lado, permita la inyección de sustancias para el control de los productos de la reacción.

Comparado con los métodos de valorización energética convencionales, que no usan plasma térmico, las ventajas de este tratamiento incluyen (Heberlein and Murphy 2008; Fabry et al. 2013):

- La energía para la gasificación es provista por un generador de plasma alimentado independientemente, y no depende de la energía que pueda liberar el material

combustionado. Por lo tanto, el proceso tiene la flexibilidad de poder adecuarse a distintas composiciones sin que esto condicione la viabilidad y el control del proceso, ampliando su aplicación.

- No se generan gases dependientes de la combustión
- Como la temperatura de reacción no depende de las reacciones de combustión, es posible alcanzar temperaturas suficientemente altas y distribuciones homogéneas, reduciendo drásticamente la producción hidrocarburos de moléculas complejas.
- Como la densidad de energía y la transferencia de calor son muy altas, permite tiempos de residencia menores, incrementando la capacidad de procesamiento. Este mismo hecho permite que este tipo de plantas sean de menor tamaño.

En general, el horno de gasificación es similar a los usados en fundición para el procesamiento de *scrap*, con estructura vertical, dotados de recubrimiento refractario. Los residuos son inyectados desde su parte superior o por los laterales, previamente tratados (fracciones a tratar son deshumidificadas y molidas). Las torchas de plasma se ubican en la zona inferior del horno para posibilitar el fundido de la materia inorgánica, conformando un lecho que asiste a la gasificación de los residuos orgánicos. Un dispositivo de recolección de escoria vitrificada se ubica en su parte inferior, la cual es colada periódicamente para conformar un material valorizable (árido inerte o lana de roca, en general).

Por otro lado, los gases producidos en el horno de gasificación toman la denominación de gas de síntesis, o Syngas, que puede ser valorizado por distintos medios. Una vía es utilizarlo como combustible para alimentar la generación térmica de electricidad, produciendo del orden de 195 MWh anuales por tonelada día de residuos procesados, de acuerdo a estimaciones realizadas por Llorecasts (2009), Clark y Rogoff (2010), Buyn et al. (2012), entre otros. Por otro lado es posible producir a partir de este gas, otras sustancias como hidrógeno, metanol, naftas, entre otros. La evaluación de estos productos en términos de costos de producción, impacto ambiental y valorización económica permite integrarlas al proceso de gasificación de los residuos, disminuyendo el costo de tratamiento.

Dentro de los productos de salida es posible recuperar calor residual del proceso para producir vapor y agua caliente, tanto para generar energía eléctrica como para servir de calefacción a otros procesos.

Los productos con los cuales se puede alimentar a una planta de gasificación por plasma incluyen un rango amplio de residuos, compatible con la fracción descartada de residuos sólidos urbanos, cenizas y material particulado del mismo proceso o de otros procesos industriales, residuos contaminados con hidrocarburos, residuos patogénicos, entre otros.

Es posible entonces minimizar la salida de residuos a ser tratados en otros procesos de disposición. Los efluentes típicos generados en el proceso que pueden tomarse como referencia, de la planta de Cheongsong (de 10 tpd de capacidad) muestran emisiones muy por debajo de los límites permitidos con el solo uso de un depurador (o scrubber) húmedo, principalmente por las altas temperaturas del proceso térmico.

Componentes	Planta Chaengsong
Dioxinas/Furanos, ng TEQ/m ³	0,016
Nox, ppm	18
Sox, ppm	6
CO, ppm	5
HCL, ppm	0,38
Polvo, mg/Sm ³	0,43
Humo	0
Fenoles, ppm	0,9

Los efluentes sólidos se concentran en el material vitrificado que estabiliza los metales resistiendo al lixiviado. El material particulado que se genere en el proceso puede recogerse y reinsertarse en la industria cementera (como material hidráulico o puzolánico) o ser dispuesta en lecho vítreo.

7.5.2 Aspectos de calidad

La calidad del proceso puede categorizarse de acuerdo los objetivos con el objetivo jerárquico de minimizar la emisión de contaminantes, y generar energía eléctrica y subproductos valorizables. En ese sentido es necesario que incorpore procesos para tratar los residuos que ingresan para que el tratamiento térmico sea lo más efectivo posible, lo cual está centrado en la reducción de contenido de agua del sustrato y el molido, en pequeños fragmentos.

7.5.3 Ingreso – Egreso

Para las escalas del orden de 100 tpd, tomando los trabajos Clark (2010), Byun (2012), Ducharme (2010), Ramos (2018), entre otros, es posible estimar los flujos de egreso e ingreso relativos a este proceso.

Una capacidad de gasificación de 100 tpd en funcionamiento continuo del reactor, con una cantidad anual de paradas correspondiente al 10% del tiempo operativo corresponde a 33.000 toneladas anuales de residuos. Esta cantidad corresponde a servir a una población de entre 39.000 y 95.000, en función del desempeño de los procesos de reutilización, reciclado y valorización previas, en donde la cota inferior corresponde a la totalidad de los residuos generados tratados en la planta. Si se considera un crecimiento de 0,8% anual en promedio para los 50 años por venir, entonces la ciudad de La Plata tendría 1.120.000 habitantes. Entonces para un escenario actual en el que se podría aspirar de reducción de la masa tratada procesos de reciclado y reutilización del 20%, serían necesarias 15 plantas en el territorio del municipio de esta capacidad para el tratamiento. En 2069 podrían ser estas 15 plantas las que podrían abastecer las necesidades de tratamiento sin tener que contar con otros medios de disposición, si la fracción reutilizada o reciclado y la disminución de lo desechado por habitantes, pudiera reducirse en el mismo ritmo que el crecimiento poblacional.

La salida de este tratamiento es en forma de Syngas, que entrega estimativamente, para la tipología de RSU de La Plata 11.300 BTU por día, los cuales pueden generar una potencia eléctrica neta para entregar a la red de 19.500 MWh por año o 8 millones de litros de etanol si se lo somete a un proceso de síntesis del tipo Fischer–Tropsch. La composición de este gas de síntesis depende de la composición de la materia de entrada al gasificador.

Otra de las corrientes de salida corresponde a los áridos vitreos que se generan en el lecho del reactor, que son valorizables como material árido de relleno o como lana de vidrio, previo proceso de producción. Esta corriente representa estimativamente 5770 toneladas anuales.



Figura 9 – Fotografía de los áridos vitrificados derivados de una planta de gasificación por plasma de RSU

7.5.4 Costo de construcción

Los costos de construcción se pueden estimar a partir del trabajo de Woo Chung, que modela este costo para una planta de tratamiento térmico por plasma dentro del rango de 0,13 a 0,39 M USD/tpd, respaldado por la experiencia tomada de la construcción de la planta de Utashinai, Japon, St. Lucie, Canada, entre otras.

7.5.5 Costo de operación y mantenimiento

A partir del trabajo de Byun et al. (2012), Ducharme et al. (2010), es posible estimar valores referenciales de la operación de una planta como esta, a partir de la incorporación de precios locales a los desgloses de actividades que presentan. Esta estimación es, para una planta de 100 tpd, de 1.980.000 M USD anuales.

7.5.6 Espacio-Tamaño

La experiencia sobre instalaciones actualmente en uso, como la de Cheongsong, Corea del Sur, permite estimar a modo de primera aproximación, que un espacio en planta 200 m² en 3 plantas puede albergar una planta completa.

7.5.7 Escenarios económicos financieros

Se propone un escenario económico financiero basado en los supuestos desarrollados, en donde una planta de tratamiento se explota durante 20 años bajo la legislación local, con los siguientes flujos monetarios de entrada:

- la remuneración constante por la provisión de energía eléctrica a la red de 107 USD por MWh, correspondientes a los valores que se pagan a nivel nacional en Renovar Biomasa,
- el ingreso de los recursos que hubieran sido necesarios para la disposición final de los residuos cuyo procesamiento fue evitado, a modo de fomento, o para la evaluación de escenarios comparados,
- la remuneración por la comercialización de derivados de los residuos áridos,

Es posible arribar a la conclusión de en estas condiciones se puede obtener una TIR del orden de 10% en función de las variaciones de los precios de comercialización.

Si no se consideraran los ingresos de fomento que se tomaron como equivalentes a los desembolsos que hubieran sido necesarios si los residuos gasificados fueran dispuestos en CEAMSE, se observa que el flujo de fondos es positivo. Esto quiere decir puede interpretarse como que las erogaciones por la adquisición de la infraestructura como capital fijo puede financiarse con los mismos fondos que hoy se utilizan para la disposición final de los residuos, y que el plazo posterior a ese pago supondría una disminución presupuestaria equivalente. Vale decir, que la operación de este tipo de planta puede significar, no solo evitar las erogaciones a CEAMSE, sino generar una fuente de ingresos que además sostiene una cantidad de fuentes de trabajo y de actividad calificada, con una larga serie de complementariedades.

El flujo de fondo del sistema depende del procesamiento de los subproductos que se le asocia. En el caso que se presenta se supuso que el Syngas alimentaría a un generador eléctrico. No obstante, es posible pensar en otras alternativas de uso del gas de síntesis, que podrían ser más rentables aún, como la generación de etanol u otras sustancias, para su comercialización. De esta misma manera se puede considerar fabricar lana de roca u otros derivados del ácido que genera la planta.

Esta conclusión se encuentra dentro de lo hallado por Ramos et al. (2018) en la evaluación técnica y económica que propone.

7.5.8 Aspectos ambientales

El desempeño ambiental que se considerará, incluye el análisis de los efluentes gaseosos que devienen del procesamiento de una unidad de residuos, posteriormente el de los metales pesados en el sustrato sólido, y finalmente basado en el ciclo de vida.

7.5.8.1 Efluentes gaseosos

Si comparamos efluentes gaseosos por tonelada de residuos un relleno sanitario típico y de una planta típica de gasificación por plasma, es posible dimensionar la diferencia en términos de emisiones asociadas al tratamiento. El impacto de emisiones gaseosas por unidad de combustible generado como gas de síntesis es comparable al valor medio de cualquier planta de generación de energía que cumpla con los requerimientos ambientales vigentes en Europa, excepto por un el dióxido de carbono.

En particular es importante destacar aspectos relativos a la generación de dioxinas y furanos. El PVC es un plástico ubicuo que contribuye centralmente a la generación de dioxinas. La combustión de elementos que contienen PVC de manera no controlada es la principal fuente de su emisión, incluyendo fuegos domiciliarios, quemados a cielo abierto, incendios accidentales. La universidad Zhejiang en China, bajo la dirección de A. Buekens, revisó 200 casos de incineración indicando que bajo condiciones controladas esta generación puede tener una significación muy baja en términos absolutos, lo que lo convierte en términos relativos a otros métodos una alternativa que provee mayores niveles de desempeño y seguridad al respecto.

7.5.8.2 Metales pesados

Amirhomayoun, 2009, menciona que el tipo de tratamiento que se aplica en los reactores de plasma lleva a una reducción significativa y destrucción de la mayor parte de las dioxinas (95%)

al respecto de otros métodos. Menciona por otro lado, como beneficio adicional, que los metales pueden separarse por evaporación o por separación por fases en virtud de la atmósfera de reducción del reactor. Por lo tanto, complementa la capacidad de la fase vítrea de aislar los contaminantes. Este hecho hace que incluso pueda tratar material particulado de otros procesos, reduciendo su toxicidad. La investigación muestra que el proceso de gasificación por plasma genera concentraciones de metales pesados de un orden de magnitud menor al respecto de plantas de pirolisis. Pero estos metales pesados se encuentran inmovilizados en el sustrato vítreo.

7.5.8.3 Evaluación de acuerdo al ciclo de vida

Finnveden et al. (2005) evalúan diferentes estrategias de tratamiento de RSU desde la perspectiva del ciclo de vida, identificando factores críticos. Como conclusión general indica una jerarquía de técnicas de procesamiento ordenada en función del balance de energía del sistema en su contexto específico, y la generación de gases de efecto invernadero. Bajo este criterio concluye que las técnicas de reciclado/reutilización se encuentran en el lugar de mayor relevancia del ordenamiento, seguido por las técnicas de gasificación, frente a la disposición final en relleno sanitario que es el de mayor impacto. Como las fracciones que recibirían estarían precedidas por la separación de toda fracción que pueda ser compostable, reutilizable, reciclable o valorizable en las condiciones que el sistema específico permita, garantizando los estándares de calidad y eficiencia objetivo para ellos, los RSU que ingresen a la planta de gasificación solo podrían ser dispuestas en un relleno sanitario o en otro tipo de proceso de valorización energética. Por lo tanto, se evidencia un impacto ambiental en el ciclo de vida mucho más favorable para la gasificación por plasma.

Kunegel, Andre (2009), destacan también desde la perspectiva del ciclo de vida que los rellenos sanitarios son la peor alternativa de tratamiento, en el contexto de no segregados, por su mayor cantidad de emisiones (sobre todo gaseosas) y por su baja eficiencia energética.

El factor más destacado al respecto del beneficio ambiental del método de gasificación por plasma es la eficiencia del uso de la energía, donde este método es superavitario. En este sentido, el método representa una vía complementaria desde el punto de vista de la eficiencia energética a la reinserción de materiales recuperados en las cadenas de producción.

La emisión de metales pesados en el agua causa uno de los mayores impactos ambientales considerando la totalidad de métodos de tratamiento. La prevención de estas emisiones necesita de una instancia de estabilización, que la gasificación por plasma aporta en su generación de material vítreo.

El impacto ambiental potencial por unidad de residuos tratada por determinado proceso debe ser evaluado considerando el plazo de tiempo completo en el cual esa transformación es llevada a cabo, y por el costo ambiental en el que se incurre al poner a disposición las instalaciones y técnicas en operación dedicada a esos fines.

7.5.9 Complementariedades

El método presenta complementariedades con otros componentes de un potencial sistema de tratamiento como el que se estudia.

Existe una complementariedad positiva entre el tamaño de una planta y los espacios a los cuales se pueden aspirar al general centros locales de gestión de RSU, permitiendo un tratamiento local. Esta complementariedad posiblemente represente la mayor, por cuanto reduce significativamente los costos de traslado desde el punto de disposición intermedia a la disposición final (si es que la planta no los puede reprocesar). Este proceso de traslado genera costos e impacto ambiental de manera deslocalizada.

Asociada a la anterior, todo proceso que genere rechazos o efluentes, sólidos o gaseosos, que se lleve a cabo en el centro, puede procesarse en la planta de tratamiento térmico, reduciendo significativamente su impacto ambiental.

Este tipo de planta permite escalar el crecimiento o multiplicación de los centros de tratamiento.

El tratamiento de compostaje confinado, en túnel, por ejemplo, genera flujos de gases que pueden ser inyectados en el reactor para alimentarlo en su consumo de aire.

Este sistema tiene puede generar agua caliente para ser usada en la calefacción de otros procesos, como el secado de la materia orgánica cruda.

Múltiples plantas permiten establecer una casuística rica en posibles aprendizajes los cuales promueven la mejora continua del proceso si son capturados y gestionados adecuadamente.

Múltiples plantas permiten que frente a una potencial parada de una planta puedan derivarse residuos a otras plantas, además de compartir existencias de repuestos.

Adicionalmente promueve el aprovisionamiento y fabricación local de repuestos asociados, estableciéndose un vínculo adicional con las fuerzas productivas locales.

La utilización de este método genera mano de obra calificada, cuyos saberes son transferibles a otras localidades y/o métodos de tratamiento.

El proceso permite la generación de energía distribuida, que puede alimentar a la red local, reduciendo las pérdidas y costos de transporte deslocalizado (aproximadamente 1/3 de la energía generada).

El proceso promueve la fabricación de derivados de la materia inorgánica residual, como la lana de vidrio.

La producción de RSU en áreas urbanas está directamente vinculada a la demanda de energía de forma local. Por lo tanto, la energía producida será consumida en el entorno urbano donde es producida, disminuyendo los costos de transporte y su impacto ambiental.

La introducción de este sistema trae beneficios en términos de empleo y formación. Si consideramos una operación de 24 horas, es necesario una dotación aproximada de 12 operarios por planta empleados de manera directa, y otra cantidad equivalente de empleos indirectos.

Este tipo de instalaciones tiende a integrar a la comunidad en el ámbito de tratamiento, incorporando los procesos post consumo a su ideario de participación social, y adquiriendo

distintos niveles de formación específica, que incluye la gestión local y el cuidado medioambiental.

8 Interrelaciones

Es estudio de las interrelaciones de la GIRSU con otras dimensiones de la actividad social en los municipios y su impacto social, ambiental y económico, parte de la base que las prácticas de la GIRSU sean incorporadas en los estándares de planificación y control del desarrollo. Es posible ver con claridad que su desenvolvimiento impacta en la salubridad e higiene, en la economía, en el desarrollo social, en la calidad ambiental. Pero también existen otras dimensiones interrelacionadas menos evidentes: como el involucramiento ciudadano y la gobernanza, la ciudad como atractivo turístico, el interés inversor, el crecimiento poblacional equilibrado, las posibilidades de desarrollo.

8.1 Los aspectos urbanísticos en el municipio

Estas reglas de planificación deben incorporar la proyección en cada escala de hábitat de espacio para la asignación de residuos para la segregación y disposición transitoria. En el caso de adoptar la estructura de centros de tratamiento por zona, también de tratamiento y almacenaje de equipos de los procesos locales. En la escala de la vivienda y la cuadra, es necesario proyectar las reservas para los sistemas de recolección y segregación que incluya la separación convencional y otras como el compostaje. Este tipo de políticas debe ser incorporada en las lógicas de diseño y aprobación de construcciones de manera de contribuir: a la higiene urbana, a la facilitación de la recogida, a la jerarquización del descarte como proceso social de alto impacto. Los códigos de edificación, por tanto, son naturales depositarios de estos requerimientos. Algunos ejemplos en este sentido muestran procedimientos de habilitación de desarrolladores inmobiliarios donde un plan de gestión de residuos y una demostración de las provisiones para su manejo son objeto de aprobación y certificación, previas a la aprobación.

Algunos ejemplos pueden ser:

- Solid Waste Collection Design Guidelines for Residential Development, Ottawa, Canada.
- United Kingdom: BS 5906: 2005 Waste management in buildings – Code of Practice.
- Australia: Policy for Waste Minimization in New Developments, Sydney.
- USGBC- LEED en algunos estados de USA.

Por otro lado, desde el punto de vista del análisis de la producción económica local de productos y servicios, estas deben incorporar en su operación su asociación e involucramiento con la GIRSU. Esta incorporación también es susceptible de ser regulada a partir de certificaciones de calidad ambiental.

La GIRSU suele ser considerada como el punto terminal de las actividades socioeconómicas. No obstante, el presente enfoque necesita reconsiderar el ciclo de vida de estas actividades de manera de vincular el desarrollo económico, el uso de suelo y la sustentabilidad ambiental, con los aspectos de impacto social implícitos. El diseño urbanístico es un factor determinante de la

eficiencia del sistema de GRSU en la medida que condiciona aspectos dimensionales del sistema (como las distancias de recogida y traslado) y aspecto de comportamiento social y productivos.

8.2 La exposición a los residuos sólidos y la salubridad

El impacto que produce la exposición de personas, trabajadores del sector o no, depende de la asociación de factores diversos. En términos generales esta exposición puede estar asociada a la materia orgánica de los RSU, que tiene el potencial de generar desde la aparición de focos infecciosos a través de vectores surgidos en los mecanismos de descomposición, o estar asociada a materia inorgánica, potencialmente generadora de enfermedades crónicas, intoxicaciones y alergias. Finalmente, en términos de interrelación, existe un riesgo al daño físico a partir de la interacción con los residuos mediante lesiones cortantes y punzantes, pero también asociada a su impacto en el sistema pluvial y cloacal del municipio.

Existen distintos medios de abordaje para evitar los impactos sanitarios de la exposición a los RSU. El más evidente es el retirar los residuos del medio urbano, por medio de un sistema de recogida de disposición provisoria en la vía pública seguro, un sistema de recogida eficaz, un sistema de limpieza urbana integral, el fomento de comportamientos ciudadanos comprometidos con el medio y la comunidad. En un sentido menos evidente, mientras menores sea la circulación de los residuos, menor será el riesgo de impacto sanitario y ambiental. Por esta razón, el tratamiento en las cercanías de su recogida supone un aporte en el sentido de esta relación.

Si tomamos el caso de los trabajadores del sistema de GRSU, cuyas labores incluyen la exposición a los residuos, estos deben estar protegidos de manera individual y colectiva, independientemente de su estatus laboral, de manera de minimizar los riesgos derivados. Esto implica necesariamente instrumentar planes de seguridad, higiene y monitoreo en las plantas de tratamiento, que busquen la mejora continua.

En el sentido de la relación de la salud humana con los tratamientos de disposición final de los RSU, la capacidad de monitoreo de los efluentes permite su control y seguimiento. Por otro lado es necesario distinguir el funcionamiento normal del anómalo o accidental. En este caso también resulta beneficioso el tratamiento a escala local, de manera de minimizar los riesgos bajando las concentraciones de contaminantes eventuales, con mínima deslocalización en el tiempo.

Al respecto de lo anterior vale la pena considerar el caso del relleno sanitario de CEAMSE de Villa Domínico (dentro del AMBA), cerrado el 31 de enero de 2004. En su momento representó el relleno sanitario más grande del país, con 735 hectáreas, operando 26 años. Cuatro años antes de su cierre se comenzaron a visibilizar manifestaciones por afectaciones de cáncer en los niños en las viviendas cercanas al relleno activando un proceso de movilización e investigación local. La relación con CIMA, Universidad Nacional de La Plata, por parte de un colectivo que se denominó Madres de las Torres logra establecer que un factor agravante fueron los incendios accidentales en el predio:

"Cuando llevamos todos nuestros estudios a la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de La Plata, los investigadores de medio ambiente no podían creer lo que veían y nos preguntaron si había incendios recurrentes en esa zona. Luego de algunas averiguaciones, nos

enteramos que el 12 de diciembre de 1998 se produjo un incendio en la cava principal del CEAMSE, que tardó diez días en terminar de apagarse. Los investigadores nos dijeron que estos gases, cuando se incendian, son muchísimo más cancerígenos aún y nosotros estuvimos expuestos a ellos durante 10 días. La conclusión de este equipo es que los chicos que estaban con predisposición cierta genética se enfermaron durante esos días".

Mary Douglas (1982) señala que "la cognición de peligros y la elección de los individuos ante determinados riesgos tienen más que ver con las ideas sociales de moral y justicia, que con ideas probabilísticas de costes y beneficios en la aceptación de los riesgos". Es posible identificar una demanda de justicia en términos de riesgos ambientales y sus consecuencias nocivas para la salud de la población, en este caso manifiestas en el caso del CEAMSE Villa Domínico. Conceptualmente, el factor de riesgo que implica la actividad de tratamiento de los residuos que se observa en el caso, hace referencia a lo que denominamos equidad del sistema en la propuesta conceptual de este trabajo.

Conociendo que el riesgo sanitario y ambiental no puede ser evitado completamente, si pueden concebirse sistemas que minimicen la probabilidad de ocurrencia de estos riesgos de manera factible, que tengan las herramientas de mitigación cuando se presenten, y cuyos impactos sean los menores posibles, dentro de una lógica de equidad social. Por lo tanto, este punto también refuerza la idea de la deslocalización del tratamiento de los residuos.

8.3 La GIRSU y la economía local

La GIRSU municipal puede contribuir a configurar una economía local con externalidades productivas positivas como forma de una política de fomento integrada, a partir de la facilitación del abastecimiento de materiales secundarios, a partir de la facilitación de la comercialización a partir de certificaciones ambientales de los productos, a partir de la generación y circulación de saberes en torno a la gestión de los residuos, a partir de la generación de agrupamientos productivos asistidos, entre otros. Esta articulación, de sistema productivo y GIRSU, es una oportunidad para el desarrollo local, al mismo tiempo que una necesidad para el cumplimiento de los objetivos a largo plazo de la GIRSU.

Por otro lado, una gestión técnica e institucional de la GIRSU que se involucre como director de un proceso de desarrollo de este tipo, genera saberes que representan en sí misma una externalidad positiva productiva y gestional.

Finalmente, este tipo de organización de la GIRSU debe promover la generación de empleo local, como impacto positivo social.

9 Indicadores

Los indicadores para el desarrollo de sistemas de GIRSU deben considerar las tres dimensiones introducidas en este estudio: la ambiental, la social y la económica. La contrastación de los indicadores de cada dimensión para distintas variantes de proceso permite proyectar las mejores alternativas de tratamiento para cada contexto de aplicación.

9.1 Indicadores de desempeño ambiental

El posible tener una estimación del desempeño ambiental de sistemas diferenciados de GRSU a partir del análisis del impacto ambiental a través del ciclo de vida de cada proceso involucrado. Esta estimación de impacto tiene dos instancias bien diferenciadas: aquella relativa a la planificación del sistema GRSU y aquella relativa al monitoreo y contrastación de lo implementado con la línea de base presupuesta. En este movimiento entre línea de base para la planificación y monitoreo, desde una planificación central, es posible ajustar los indicadores de impacto a las condiciones específicas de aplicación, para reeditar periódicamente la reconsideración del sistema. No obstante, la implementación de este tipo de sistema necesita de mediciones sobre él hechas de manera sistemática y transparente, de manera que asistan a la mejora continua de los procesos.

Cuando mencionamos impacto ambiental nos referimos a una diversidad de efectos sobre nuestro entorno natural. Entre estos podemos distinguir tres categorías, de acuerdo a la clasificación más habitual: impactos a la salud humana, impactos a la calidad del medioambiental, impactos a los recursos naturales. Un despliegue de estos impactos incluye los efectos sobre el calentamiento global, destrucción de la capa de ozono, toxicidad, efectos carcinogénicos, efectos respiratorios, la ecotoxicidad, la eutrofización, la acidificación, el uso del suelo y el nivel de agotamiento de recursos bióticos, minerales, hidrocarbúricos, entre otros tantos.

El tratamiento de RSU producen cantidades significativas de metano, CH₄, dióxido de carbono biogénico, CO₂, y compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, COVDM, así como cantidades más pequeñas de óxido nitroso, N₂O, óxidos de nitrógeno en general, NO_x y monóxido de carbono, CO. El CH₄ producido en los sitios de disposición de desechos sólidos contribuye con aproximadamente un 3 a un 4% de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas mundiales anuales (IPCC, 2001). La descomposición de la materia orgánica derivada de las fuentes de biomasa (industria maderera, industria agroalimentaria, entre otras) es la fuente principal de liberación de CO₂ a partir de desechos (Graziani, 2018).

En este sentido puede tomarse como referencia la UE-15, Protocolo de Kyoto, para elaborar ecoindicadores sintéticos que permitan la comparación entre sistemas. Se toma el conjunto de indicadores recogidos, que son relevantes para el tipo de efluentes que produce la GRSU. Se listan a continuación:

- Cambio climático, en masa de CO₂ equivalente. Corresponde al efecto invernadero que produce determinada emisión de efluentes ambientales, cuantificadas como la cantidad de CO₂ que se necesitaría emitir para producir el mismo impacto. Los principales gases que producen efecto invernadero en nuestra atmósfera es, además del vapor de agua, el CO₂. Otros gases típicamente contribuyentes son el CH₄, N₂O y clorofluorocarbonos, CFC. La actividad antrópica ha hecho que la emisión de estos gases se incremente de tal forma que altera las condiciones ambientales planetarias.

El indicador que sirve para evaluar este impacto se denomina *CCI (Climate Change Indicator)*. Su medida se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$CCI = \sum_i GWP m_i$$

donde m_i es la masa de la sustancia i expresada en kg, y GWP es el potencial de calentamiento global específica de la sustancia, definida para una magnitud de tiempo (20, 100 o 500 años). Por lo tanto este indicador incorpora un escenario temporal, donde el más cercano es a 20 años. Los valores de GWP son publicados periódicamente por *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.

- Destrucción del ozono estratosférico, medido en masa de CFC-11 equivalente. Corresponde al efecto de destrucción de ozono en la estratósfera, como la cantidad de CFC-11 que se necesitaría emitir para producir el mismo impacto. La capa de ozono está presente en la estratosfera y actúa como filtro absorbiendo la radiación ultravioleta. La disminución de la capa de ozono provoca un incremento de la cantidad de radiación UV-B que llega a la superficie de la tierra. Dichas radiaciones son factores relevantes en la aparición de algunas enfermedades en humanos (cáncer de piel, supresión del sistema inmunitario, cataratas, entre otras), afectan a la producción agrícola, degrada de materiales orgánicos en general e interfieren en los ecosistemas. Afecta por lo tanto a las cuatro grandes áreas de protección: salud humana, entorno natural, entorno modificado por el hombre y recursos naturales. La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de los compuestos fluorocarbonados, y CFC, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción catalizadora de los UV provocan la descomposición del ozono.

El indicador del agotamiento de ozono, *ODI*, se calcula como la suma de los potenciales de agotamiento de ozono, *ODP*, para las diferentes sustancias multiplicados por la masa en kg de cada una de ellas. *ODI* se expresa en unidades relativas al efecto que produce 1 kg de CFC-11.

$$ODI = \sum_i ODP_i m_i$$

La Organización meteorológica mundial, WMO, publica periódicamente, estimaciones de los *ODP* para diferentes sustancias, aceptándose que el tiempo a considerar es infinito por tratarse de potenciales estables en el tiempo. Sin embargo, el grado de impacto vendrá influenciado por las condiciones atmosféricas de contaminación en el momento y lugar de la emisión. Para tener en cuenta el efecto local en la emisión se establecen índices, medio, alto y bajo correspondientes a zonas de media, alta y baja contaminación atmosférica.

- Acidificación, medido en masa de SO₂ equivalente. Corresponde a la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la atmósfera, en el suelo y en el agua, donde puede variar la acidez del medio que afectará a la flora y fauna que habita en él. Este impacto produce efectos sobre la salud humana, los recursos naturales, y el entorno natural y antrópico.

El indicador para la categoría de acidificación *AI*, expresado en g equivalentes de H⁺, se determina de la siguiente forma:

$$AI = \sum_i AP_i m_i$$

Donde m_i es la masa en kg de la sustancia i y AP es el potencial de acidificación. AP de una sustancia i se puede calcular como el potencial de iones H^+ equivalentes que puede emitir dicha sustancia i . las diferentes emisiones podrán ser sumadas basándose en su potencial de formar iones H^+ .

Acidificación es una de las categorías de impacto en que la escala geográfica adquiere importancia. Procesos o circunstancias locales influirán a la contribución de una sustancia a la acidificación.

- Eutrofización, medido en masa de NO_3 equivalente. En esta categoría se incluyen los impactos debido a un alto nivel de los macronutrientes, nitrógeno y fósforo. Su incremento puede representar un aumento de la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos. Un aumento de algas en los ecosistemas acuáticos produce una disminución del contenido de oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Este consumo de oxígeno puede conducir a alcanzar condiciones anaeróbicas que liberarán CH_4 , H_2S y NH_3 , impidiendo las formas de vida aeróbica.

Las áreas de protección serán: entornos natural y modificado por el hombre, y recursos naturales.

Los potenciales de eutrofización, EP , son utilizados como factor de caracterización para calcular el indicador para dicha categoría, EI .

$$EI = \sum_i EP_i m_i$$

Donde m_i es la masa de la sustancia i emitida al aire, agua o suelo. El factor de equivalencia EP , expresado el impacto de la sustancia i al respecto de de NO_3 .

- Toxicidad para el ser humano, medido en m3 de agua y tierra. En esta categoría se contemplan los factores sobre los seres humanos y de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. Afecta a las áreas de protección: salud humana, entorno natural y recursos naturales.

El presente indicador se basa en el fenómeno de difusión e impacto de sustancias con determinado nivel de toxicidad entre el medio acuático y el suelo. Este tipo de fenómeno implica que el impacto depende del contexto ecológico de su dispersión. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión.

El cálculo del impacto de toxicidad en humanos vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$HTI = \sum_N \sum_i HTP_{i,n} f_{i,n} m_i$$

Siendo HTP el factor de caracterización, cuyas unidades van a depender del método utilizado para su caracterización, f_i , n la fracción de la sustancia i que se transporta desde el invernadero al compartimiento ambiental n , adimensional, y m la masa emitida de cada contaminante.

- Ecotoxicidad, medido en m3 de tierra de agua y tierra.

En esta categoría se contempla el impacto sobre ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. Afecta a las áreas de protección: salud humana, entorno natural y recursos naturales.

El presente indicador se basa en el fenómeno de difusión e impacto de sustancias con determinado nivel de toxicidad entre el medio acuático y el suelo. Este tipo de fenómeno implica que el impacto depende del contexto ecológico de su dispersión. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente al de su emisión.

El cálculo del impacto de sustancias tóxicas en el agua sobre el ecosistema vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$HTI = \sum_N \sum_i ATP_{i,n} f_{i,n} m_i, \text{ y } TTI = \sum_N \sum_i TTP_{i,n} f_{i,n} m_i$$

Siendo *ATP* el factor de caracterización de la toxicidad para ecosistemas acuáticos y *TTP* para ecosistemas terrestres, cuyas unidades van a depender del método utilizado para su caracterización, *f_i*, *n* la fracción de la sustancia *i* que se transporta desde el invernadero al compartimiento ambiental *n*, adimensional, y *m* la masa emitida de cada contaminante.

La confección del ecoindicador consiste en la ponderación de los ítems descritos anteriormente que se basa en ponderar aquellos impactos que afectan en una escala geográfica global, local o regional.

Para Cambio Climático, *CCI*, y Destrucción del ozono estratosférico, *ODI*, la afectación en la escala geográfica será global mientras que Acidificación, *AI*, Eutrofización, *EI*, y los ítems sobre toxicidad, *HTI*, *ATI*, *TTI*, será de nivel local o regional.

La comparación de las tecnologías consiste, teniendo en cuenta el impacto a evaluar, en asignar una puntuación a cada una según el siguiente criterio: 1-3 daño ambiental bajo, 4-6 daño ambiental medio, 7-10 daño ambiental alto. Este valor deberá ser afectado por la ponderación correspondiente para finalmente, sumar todas las contribuciones y obtener el ecoindicador para cada tecnología.

El nivel de ponderación de estos indicadores para la generación de un indicador ambiental sintético dedicado a la GIRSU, que denominaremos *I_{ARR}*, necesita de la propuesta de una escala de ponderación, y de un coeficiente de normalización de sus unidades de medida. Si adoptamos como referencia UE-15 entonces tendremos:

Indicador	Normalización	Coeficiente de ponderación
<i>CCI</i>	8,7	1,12
<i>ODI</i>	0,103	2,46
<i>AI</i>	74	1,25
<i>EI</i>	119	1,22

Indicador	Normalización	Coefficiente de ponderación
<i>HTI</i>	2,7	1,9
<i>ATI</i>	2,6	1,18
<i>TTI</i>	2,6	1

En el caso que se estudia en la presente propuesta, la comparación que parece contributiva a la toma de decisiones al respecto de distintas variantes de proceso es la comparación entre la disposición en relleno sanitario comparado con la disposición en un tratamiento de valorización energética por gasificación por plasma, que no necesita almacenar los subproductos generados a lo largo del proceso, en comparación con tecnologías como la incineración (cenizas).

El resto de los procesos cuentan con una situación actual no modelable en ausencia de datos de medición en origen que permita cuantificar en el ciclo de vida los impactos.

9.2 Indicadores de desempeño económico

En el caso del desempeño económico estos tienen que considerar los costos sobre la totalidad del ciclo de vida que deberán ser costeados por la estructura social local. Esto quiere decir que es posible analizar los costos de la GRSU desde una perspectiva que plantee como frontera económica al sistema municipal de GRSU. Los impactos económicos negativos incluyen costos de inversión, costos operativos, costos administrativos, afectaciones al espacio urbano y a la población. Otros impactos, cuyo signo debe determinarse, son los impactos a la industria y el comercio, el impacto a la investigación y desarrollo (patentes, derechos sobre innovaciones, etc.), impacto sobre el mercado local.

El análisis económico que se propone es contabilizar todos los costos de los procesos de GRSU a lo largo de su vida útil, para establecer una base de comparación entre alternativas de tratamiento dentro de la GRSU. La principal dificultad de este tipo de evaluaciones es el establecimiento de fronteras espaciales y temporales del sistema. La solución que se sugiere es asignar costos categorizados en directos, indirectos, contingentes, intangibles y externos, en el ciclo de la vida útil operativo de los sistemas.

Como indicadores sintéticos se propone la construcción de estados contables para el sistema donde se considere un período de 20 años de operación y los costos que excedan dicha frontera temporal se consideren como exteriores. Típicamente estos estados contables permiten su evaluación a partir del establecimiento de valores actuales netos, y tasas internas de retorno. Los estados contables deben incluir la totalidad de ingresos y erogaciones del sistema para la fase comparada, con idénticas condiciones de borde para la intercomparación.

9.3 Indicadores de desempeño social

Los indicadores de impacto social posiblemente sean los más difusos, puesto que el impacto positivo no tiene una materialidad constatable con mediciones simples como en los casos anteriores.

El desempeño social puede sintetizarse en el grado de localización espacial y temporal de los impactos, en la cantidad de trabajo generado, en la inclusión social del sistema, en el nivel de

servicio de la gestión y su aporte al bienestar social del entorno, en la participación en el sistema, en la seguridad sanitaria, en el acceso a la información, en la contribución al desarrollo económico local. Las unidades contables que podrían adoptarse para cada parámetro pueden sintetizarse en personas equivalentes, y en unidades económicas.

Para la realización de comparaciones relativas debe considerarse o bien la totalidad de los modelos de GIRSU o procesos parciales identificando las contribuciones relativas a cada parámetro.

10 Modelo de gestión GIRSU incorporando la gasificación por plasma

De los distintos estudios relevados y realizados surgen una serie de generalidades de organización general de un sistema de GIRSU municipal, que promueva la serie de criterios desarrollados.

Evaluando las tres dimensiones ambientales, resulta beneficiosa la introducción de la gasificación por plasma como técnica de reemplazo de las fracciones destinadas a los rellenos sanitarios. La introducción de esta técnica avanzada de valorización energética genera una serie de complementariedades de gran impacto, entre las que se encuentra la posibilidad de la descentralización del tratamiento. Por lo tanto, esta incorporación puede oficiar vector de transformación de las gestiones municipales de residuos sólidos, disminuyendo las distancias de traslado de residuos recogidos, acercando la gestión de los residuos a una escala menor. Las fracciones reciclables y reutilizables pueden generadas en esta misma escala y consolidarse en la escala que resulte más beneficiosa económicamente, mientras que las fracciones no reciclables ni reutilizables (que suelen ser las de mayor contribución en peso) generan energía distribuida en los barrios de la ciudad (además de otros subproductos). Esta configuración puede ser adaptada en distintos sentidos a la dinámica urbana: puede ser ampliada de acuerdo al crecimiento urbano, puede incorporar técnicas que superen el desempeño de las usadas, pueden asociarse a los patrones de participación vecinal y producción local, pueden ser utilizadas para la generación de aprendizajes en la gestión descentralizada.

La descentralización del tratamiento y la centralización de los procesos de toma de datos y aprendizaje, supone una configuración que promueve la mejora continua, y aumento de los índices de desempeño de los procesos técnicos. Además, permite la adaptación de los procesos a la realidad específica, lo cual promueve el aprovechamiento de oportunidades de minimización de los impactos ambientales y los costos. En la ciudad de La Plata, por ejemplo, no puede recibir el mismo tratamiento general de los residuos que se genera en una zona de producción hortícola, al respecto del centro de la ciudad. Esta diferenciación permite por tanto mejorar los niveles de servicio a sus usuarios.

El principal foco de la GIRSU debe estar en la producción e involucramiento de la sociedad en la disposición de los individuos de los residuos. Por el lado de la producción, la política general debería ser la de la jerarquización de uso de materiales secundarios y la minimización del uso de materiales vírgenes, intentando involucrar a las producciones locales en los procesos de

tratamiento. En particular evitando el uso de metales pesados. Para este fin debe disponerse de políticas públicas que promuevan las denominadas economías circulares. Un caso en este sentido es que el mismo estado municipal se vuelva usuario de subproductos generados en el sistema, como podría ser: utilización de polietileno en la mezcla bituminosa de obras de pavimentación (que típicamente tiene 2,5% de cuota óptima de reemplazo), el uso de áridos de la gasificación por plasma en rellenos y taludes viales, uso de lana de vidrio del proceso de gasificación, entre otras corrientes residuales.

Del lado del involucramiento de los habitantes de la ciudad, resulta necesaria la identificación con los residuos generados y la responsabilidad que cabe en esa producción, involucrando una actitud de cuidado ambiental y economía de medios. En este sentido el compostaje doméstico es una herramienta a promocionar y a incorporar en la GIRSU, de gran impacto en las tres dimensiones estudiadas.

El primer estadio de la gestión de los residuos sólidos es la generación de estos, que determina las cantidades totales y la composición de los residuos generados. Las políticas orientadas a esta etapa deben tender a que los habitantes reduzcan la cantidad total de residuos descartados, lo separen de la manera más beneficiosa para el sistema en general. Para estos fines existen distintas herramientas de promoción que incluyen:

Promoción de la integración de producciones locales a la GIRSU

Etiquetado de la calidad ecológica de los productos en función del impacto de los residuos que genera

Fomento al compostaje doméstico y productivo

- Separación entre seco / húmedo / fracciones especiales
- Fomento a los sectores de reciclado y reutilización
- Desincentivo de la producción y comercialización de productos con potencial contaminante (como metales pesados), e incentivo de su reutilización.

El segundo estadio es la recolección de los residuos y su consolidación. Este proceso supone compactar y transportar residuos entre los generadores y las plantas de tratamiento. En este sentido la cercanía con las plantas de procesamiento disminuye los costos y los impactos ambientales, ofreciendo un menor impacto de la dimensión social. Esta herramienta por otro lado es fundamental para la integración de los habitantes de la zona urbana a los procesos de tratamiento. Sobre esta base, es posible pensar en estrategias de recolección que jerarquicen el impacto ambiental y sanitario, incluyendo el ruteo de recorridos que minimice el impacto ambiental y los costos, la consolidación por cuadra de residuos en contenedores especiales que incentiven la separación.

Los estadios de tratamiento y disposición final pueden tomar distintas variantes. Entre ellas es menester que la disposición final en rellenos sanitarios sea el proceso de menor jerarquía, tanto por la relación entre el impacto ambiental que genera de manera directa al respecto de sus competidores, como por los impactos derivados de su implementación, sociales, económicos y ambientales. Un ejemplo de esto es el impacto de la recolección secundaria desde una planta

de tratamiento intermedia hasta el punto de disposición final: en el caso de La Plata representa un trayecto del orden de 80 km hasta el complejo de CEAMSE Norte III.

Visto de manera integral, la utilización en escala local de gasificadores por plasma que permitan revalorizar los residuos con un desempeño ambiental, tiene beneficios derivados en las tres dimensiones evaluadas. Centralmente, supone un pasaje hacia el ámbito del barrio la aplicación de las políticas y procesos de la GIRSU, gestionadas por parte del municipio.

Por otro lado, dentro de las técnicas utilizadas es necesaria la incorporación de la producción de compost, no contaminado y de calidad, a escala municipal, para convertir las fracciones orgánicas generadas, que no estén contaminadas, y valorizarlas económicamente. Este tipo de tratamiento fue abordado en una sección específica, y tiene un potencial ambiental que incluso puede reparar suelos contaminados. Sobre todo, se presentan importantes complementariedades con la producción hortícola, que justamente caracteriza al municipio estudiado.

De la misma manera este cambio de estrategia en términos de despliegue técnico y gestional posibilita el ejercicio de la participación ciudadana, su referenciación a los residuos que genera, la producción de empleo, y la generación de saberes en torno al tratamiento, reutilización y reciclado de materiales descartados. En este mismo sentido, la conformación local de cooperativas de trabajo y actores de la economía informal, hoy presentes en la gestión de residuos, tienen el potencial de incorporarse en su mismo nivel de actuación para favorecer el desarrollo de su actividad. Las actividades de limpieza urbana y mantenimiento también son susceptibles de asociarse a la GIRSU en función de su alta interdependencia funcional.

Esta estrategia de tratamiento multiplica los centros de transferencia y tratamiento intermedio para reducir las cantidades dispuestas en el sitio de disposición final. Por otro lado, permite la construcción de una red de centros de tratamiento que permite regular la búsqueda de economías de escala que maximicen el reciclado y reutilización de materiales, y que le otorguen a cada uno especializaciones en el procesamiento. Como la dirección de la transferencia de cargas entre centros es multidireccional, también permite tener una logística de alta eficiencia, con vehículos de bajo porte.

Este esquema de múltiples centros de tratamiento que sirvan a los distintos barrios de la ciudad debe funcionar bajo una dirección centralizada, que pueda recoger los aprendizajes y la participación local, y que regule su funcionamiento en función del interés general. Bajo esta dirección central debe funcionar el fomento de la reinserción de los materiales secundarios, en articulación con otras políticas municipales como la de incorporar como obligación en las compras institucionales y licitaciones. Otra medida de fomento puede ser generar una agencia de provisión y comercialización de productos secundarios que propicie la inserción de estos materiales bajo la construcción de estándares de calidad de provisión.

Adicionalmente, esta estructura permite su ampliación conforme crece el municipio. También la dirección central de esta estrategia hace posible la generación de saberes que puede ser utilizada para la generación de tecnologías de sustitución o innovaciones, que puede ser conducida por la industria local, en colaboración con organismos de ciencia y técnica. Por otro

lado, esta gestión del conocimiento y de la gobernanza del sistema permite su replicación, su control y su monitoreo.

Si consideramos este modelo de organización como si fuera un sector industrial y lo analizamos desde distintas teorías de desarrollo de las mismas es posible obtener algunas orientaciones.

La teoría de los factores locales considera que estos son los generadores de ventajas relativas que posibilitan el crecimiento. En este sentido, la flexibilidad de la estructura de tratamiento, su configuración eventual en función de la demanda de productos secundarios, y la gestión del conocimiento propicia el desarrollo de dichos factores, en función de la circulación de saberes.

Desde la teoría de la Nueva Geografía de la Economía, Krugman indica que las regiones deben buscar economías de escala, tanto en la producción como en el transporte, que las propicien. En este sentido es posible observar que la configuración anterior cuenta con la flexibilidad necesaria para propiciarla. Por otro lado, la dimensión de la circulación de los conocimientos indica que cuando las industrias de una misma rama se agrupan y comparte información de mercado, entonces obtienen ventajas relativas asociadas a las economías de escala. En este sentido la estructuración presentada tiene forma de cluster y se basa en sus principios de funcionamiento. Otras teorías de desarrollo se enfocan en la dinámica del tiempo y el espacio, relativa a la innovación y su incorporación. También esta configuración se encuentra alineada a esa visión.

Si la arquitectura de una ciudad puede definirse como la representación simbólica de un sistema donde habita una población, queda responder qué representación induce esta estructuración de la GRSU. La forma urbana condiciona el desenvolvimiento de las actividades que se desarrollan en ella, y tienen efectos sobre los impactos ambientales y los modelos de gestión. Es posible observar que la forma condiciona fuertemente en los costos y efectividad de la recolección, y en el transporte. El patrón de desarrollo urbano que muestra el municipio estudiado muestra zonas de gran concentración poblacional y zonas de menor concentración. El modelo de GRSU propuesto propone desconectar el factor asociado al desplazamiento generando puntos locales de dirección de los procesos. Estos puntos permiten su adecuación a las particularidades de la zona a la cual sirve, propiciando equidad en la calidad del servicio, y adecuación específica para la reducción de costos asociados. Sin embargo, la sola introducción de esta estructura no basta, y la evidencia empírica muestra que es necesario un rol activo de incentivación del involucramiento con la GRSU.

11 Evaluación de desempeño

11.1 Desempeño Económico

Consideraremos un sistema de tratamiento basado en plantas deslocalizadas de gasificación por plasma, donde se concentre la gestión por regiones municipales de la GRSU.

Los beneficios económicos de su implementación serán los relativos a reemplazar la disposición final de las fracciones no recuperables a los rellenos sanitarios de CEAMSE, el cual se considera que cobra 35 USD por tonelada dispuesta.

La planta considerada tendrá una capacidad de tratamiento de 100 toneladas por día.

Se considerará como hipótesis que tendrá una vida útil de 20 años. Por cada año estará disponible 330 días al año, y por lo tanto podrá procesar 33.000 toneladas anuales. Se considera que la puesta en marcha se realiza en la fecha del presente informe, y que el período base de explotación de la planta es de 20 años.

La evaluación se realizará sobre los estados contables de la explotación de la gasificación por plasma de la planta. En particular, considerando un flujo de fondos en dólares al 2019 hipotético.

Se consideran cargas impositivas generales provinciales y nacionales. No se consideran costos del sistema de financiación.

No se considera la venta de bonos CER que podría ser una fuente complementaria de ingresos en función del desplazamiento de la producción de energía convencional de la matriz energética.

La inversión inicial de referencia, obtenida de una inversión estimada media que surge de la bibliografía es de 20 millones de dólares por planta, en donde se consideraron los sobrecostos y ahorros relativos a la instalación de una de estas plantas en La Plata. Si se considerara la inversión de capital estimada al incorporar una planta de etanol, es posible cuantificarla de manera preliminar en 7.600.000 USD, y de 600.000 USD en el caso de una planta de producción de lana de vidrio.

De acuerdo a la bibliografía de referencia, la energía anual que puede entregar la planta propuesta para una composición de residuos general en La Plata es de 19.455 MWh, desde una expectativa conservadora. Conjuntamente, los flujos de salida estarán integrados por 5.200 toneladas de áridos y 450 toneladas de metales recuperados. En el caso que se opte por no producir energía eléctrica sino Etanol, se estima que pueden producirse 8 millones de litros de etanol por año. Si se produjera lana de roca con los áridos mencionados se trataría de 3.650 toneladas de lana de roca.

Estas hipótesis de producción pueden ser mejoradas de acuerdo al proceso de adaptación de la operación del proceso a las condiciones particulares de los residuos en cada zona del municipio.

Los costos de operación y mantenimiento general considerados incluyen la valoración de mano de obra, reparaciones y materiales en general, subcontrataciones, gestión general administrativa, sobre una plantilla de base de 10 personas. Su costo estimado es de 1.970.000 USD anuales.

No se consideró escalamiento anual por inflación en dólares, por simplicidad.

En el flujo de fondos elaborado no se consideró valor residual de las inversiones al finalizar el período de explotación de 20 años, con un sentido conservativo y de reserva.

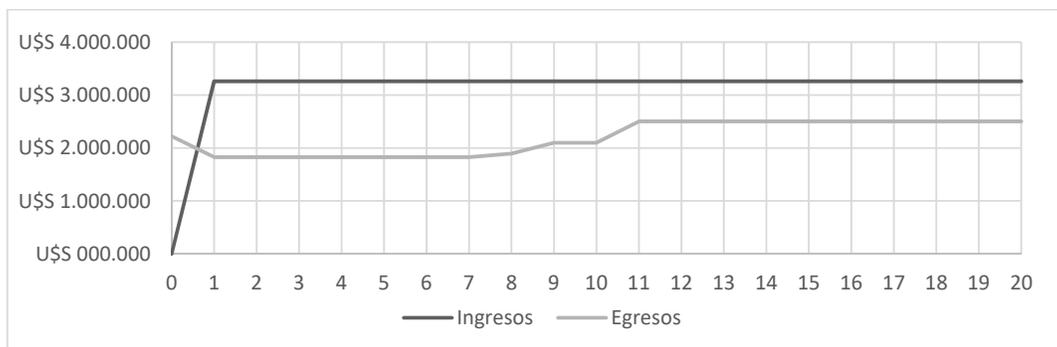
En la siguiente tabla se presenta el ejercicio de evaluación bajo los supuestos mencionados. Se presenta el detalle de los primeros 5 años de fondo incluyendo el período de inversión y puesta en marcha. Los años posteriores, bajo las condiciones dadas, son equivalente al año 9.

Flujo de Fondos Proyectado, en miles de U\$S

Período	-	1	2	3	4	5
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión	- 20.600					
Ingresos		3.259	3.259	3.259	3.259	3.259
Energía vendida a la red		2.082	2.082	2.082	2.082	2.082
Remuneraciones adicionales		23	23	23	23	23
Sustitución de egresos CEAMSE		1.155	1.155	1.155	1.155	1.155
Egresos	2.224	1.826	1.826	1.826	1.826	1.826
Gastos O&M		1.970	1.970	1.970	1.970	1.970
Impuesto a los Ingresos Brutos		156	156	156	156	156
Impuesto a los débitos/créditos	124	98	98	98	98	98
I.V.A financiero	2.100	- 271	- 271	- 271	- 271	271
Impuesto a las ganancias		0	0	0	0	0
Flujo de fondos	-22.824	2.588	2.588	2.588	2.588	2.588
Flujo de fondos acumulado	-22.824	-20.236	-17.648	-5.060	-2.471	-9.883
Flujo de fondos descontado	-22.824	4.646	4.318	4.013	3.265	2.992

	Valores estimados
T.I.R.	6,9%
VAN	2.156
Período de recupero, años	9

Se puede observar que bajo los supuestos anteriores, el conjunto de ingresos permite financiar la compra de los bienes de capital en 9 años de plazo aproximado. También que ese conjunto de ingresos produce un ahorro de 2.588.000 dólares anuales por unidad, generando una TIR de 6,9% en el conjunto de 20 años de explotación al respecto de las inversiones iniciales propuestas. Esta tabla muestra que por medio de esta técnica de valorización se puede reducir en 2.588.000 dólares anuales el costo de la GIRSU, después del repago de la inversión inicial.



En la figura anterior se representa el flujo de ingresos y egresos a lo largo del período de explotación de la planta.

Se puede observar que, bajo los supuestos anteriores y la asociación del proceso con la producción complementario de lana de roca, el conjunto de ingresos permite financiar la compra de los bienes de capital en 5 años de plazo aproximado. También que ese conjunto de ingresos produce un ahorro de 4.315.000 dólares anuales por unidad, generando una TIR de 18,7% en el conjunto de 20 años de explotación al respecto de las inversiones iniciales propuestas.

Por otro lado, es posible observar que si corriéramos un modelo donde no se considerara el ahorro en la disposición final en un relleno sanitario, se tendría un flujo neto de fondos anuales de entre 100.000 dólares y 2.000.000 de dólares en función de los subproductos derivados que se generen. Vale decir que cada planta en sí misma es superavitaria, y permite autofinanciar el desarrollo de productos derivados por fuera del presupuesto público.

Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, la implementación de esta estrategia en su forma básica, con generación de energía y de áridos, sin considerar ahorros derivados en otros procesos como el de recolección y traslados, tiene como consecuencia un ahorro significativo en el sistema además de permitir la financiación de su introducción.

Si consideramos una planta de gasificación por plasma de estas dimensiones, la cual comercializa la energía neta que genera y vuelca a la red local, y la venta de áridos molidos, tenemos que el flujo de fondos es levemente positivo, lo cual permite estimar que bajo estas condiciones la planta permite generar una base presupuestaria que permite su sostenimiento.

Ning Ai, 2011, compara desde un abordaje contable sobre el ciclo de vida de distintos procesos, utilizando herramientas de simulación. Este estudio demuestra que la construcción de rellenos sanitarios presentan aumentos de costos de el largo plazo, y no puede sostener escenarios de crecimiento a largo plazo.

11.2 Desempeño Ambiental

El siguiente análisis consideran horizontes de tiempo indefinido, lo que incluye todas las emisiones potenciales. Se procura establecer punto de comparación en aquellas variantes del proceso de GIRSU que puedan compararse, entre el sistema actual y aquello que se proyecta. En este sentido, considerando que no se cuenta con la precondition necesaria de disponer de mediciones del desempeño del sistema se propone tomar datos de gasificadores por plasma de referencia y rellenos sanitarios también de referencia.

La tecnología de gasificación por plasma supone reducción neta de las emisiones y una disminución de sus características contaminantes. Comparado con la incineración, la gasificación genera menores cantidades de gas de combustión (Bébar, Stehlík, & Havlen, 2005). En la incineración, la gran cantidad de aire primario crea un volumen importante de gases y por ende una alta velocidad con el consiguiente arrastre de material particulado dentro y fuera de los equipos de tratamiento térmico (Castells, 2005). Como el volumen de gases es mucho menor en los gasificadores por plasma al igual que la concentración de contaminantes, los sistemas de depuración son más pequeños y actúan de forma más eficiente.

La principal ventaja de la tecnología de gasificación por plasma consiste en la total eliminación de los elementos organoclorados (dioxinas y furanos) y la reducción de CO₂, principal causante

de efecto invernadero. Debido a las altas temperaturas y la falta de oxígeno, no hay alquitranes, dioxinas o furanos, y los niveles de óxidos de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx) son mucho más bajos.

El relleno sanitario es el método menos favorable en relación con la minimización del uso de la tierra, ya que requiere una superficie significativamente mayor que la requerida por otras tecnologías, y el terreno queda inhabilitado para otros usos futuros durante decenas de años.

Los lixiviados originados en las pilas de residuos por exposición a la precipitación y los residuos líquidos de los propios residuos pueden contener materia orgánica, nutrientes, metales, sales, patógenos y sustancias químicas peligrosas. Si se permite su migración, los lixiviados pueden contaminar el terreno, las aguas superficiales y las aguas subterráneas, y causar otros impactos como la eutrofización y acidificación de las aguas superficiales y la contaminación del suministro de agua. En este aspecto, los rellenos sanitarios, aunque estén impermeabilizados, son la tecnología que potencialmente poseen mayor riesgo [2].

La generación de aguas residuales en la gasificación no está directamente relacionada con el sistema de tratamiento térmico sino con la limpieza por vía húmeda de los gases. El agua contiene muchos contaminantes solubles y no solubles como: ácido acético, azufre, fenoles y otros compuestos orgánicos. La fracción insoluble, por su parte está formada principalmente por alquitranes [2].

En lo que respecta al impacto a los recursos minerales y fósiles, recuperan energía mediante la acumulación de gases de la digestión anaeróbica del relleno. El tratamiento de residuos mediante gasificación por plasma representa el proceso que permite la obtención de mayor cantidad de energía (kWh) por tonelada de residuo sólido (hasta 1,5 veces mayor que el proceso mediante incineración para el tratamiento de RSU), y por lo tanto tener mejores eficiencias de generación eléctrica (Yassin, Lettieri, Simons, & Germana, 2009).

Los rellenos sanitarios producen menos impacto que las plantas energéticas en la categoría de agotamiento abiótico [6].

Con respecto a la ubicación, la tecnología de gasificación por plasma es de los tratamientos que menor impacto tienen. Por sus altas temperaturas, se descomponen todos los materiales y se genera menor cantidad de cenizas. Por el menor volumen y la baja complejidad de los gases y residuos líquidos generados en el proceso se minimiza la problemática relacionada con la ubicación de la planta.

En la última década la tecnología térmica aplicada al tratamiento de residuos ha ido en aumento. La tasa más alta de tratamiento térmico de residuos en el mundo es Japón con una capacidad total de 40 Mton/año (Van Caneghem, y otros, 2012). Esto es debido a que los procesos térmicos tienen las siguientes ventajas: 1) reducción del residuo en masa (70-80%) y en volumen (90%) (Consonni & Giugliano, 2005), 2) menor uso de área que los rellenos sanitarios (una planta con generación energética requiere 100.000 m² de área para 1Mt/año para 30 años, comparado con 300.000 m² que requiere un relleno para el mismo tiempo) (Psomopoulos & Bourka, 2009), 3) destrucción de contaminantes orgánicos tales como hidrocarburos halogenados, 4) concentración e inmovilización de contaminantes inorgánicos, así pueden tener un manejo más

seguro (ISWA, 2006), y 5) ambientalmente compatible, particularmente cuando la planta está diseñada y operada para la cogeneración de calor y energía.

Es interesante señalar otra ventaja del tratamiento de residuos mediante gasificación por plasma que no fue mencionada anteriormente, se trata de la flexibilidad absoluta en cuanto a tipos de residuos a tratar.

La tecnología de gasificación por plasma no es nueva pero sí su aplicación en el tratamiento y disposición final de residuos para la generación de energía (Yang, Wang, & Wong, 2011). Aunque el método tenga poco impacto sobre el ambiente, hay una experiencia limitada en Europa y en Japón.

Danthurebandara, 2015, muestra que las mejores variantes en términos ambientales de la gasificación por plasma son aquellas que incluyen la valorización de la fracción inerte.

En la figura que sigue, reproducida del trabajo de Ramos, 2019, se muestra la contribución relativa de un proceso de gasificación por plasma al respecto de una gestión cuya disposición final es en relleno sanitario, por tonelada de basura. Se puede observar que en todos los campos indicadores pantea mejoras relativas.

Impact Categories	Environmental Quantities
Global Warming Potential	-31 kg CO ₂ eq.
Eutrophication Potential	-1.55 × 10 ³ kg PO ₄ ³⁻ eq.
Acidification Potential	-39.7 × 10 ⁻² kg SO ₂ eq.
Ozone Depletion Potential	-2.13 × 10 ⁻⁸ kg R11 eq.
Abiotic Depletion Potential _{elements}	-1.62 × 10 ⁻⁵ kg Sb eq.
Abiotic Depletion Potential _{fossil}	-382 MJ
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential	-6.41 × 10 ⁻² kg DCB eq.
Marine Aquatic Ecotoxicity Potential	-2.14 × 10 ⁵ kg DCB eq.
Terrestrial Ecotoxicity Potential	-2.95 × 10 ⁻² kg DCB eq.
Human Toxicity Potential	-14.7 kg DCB eq.
Photochemical Ozone Creation Potential	-2.23 × 10 ⁻² kg ethene eq.

Figura 10 – Evaluación ambiental del ciclo de vida de un gasificador por plasma tipo al respecto de un relleno sanitario tipo, por tonelada de residuos tratados.

Si se comparara el desempeño ambiental relativo entre la técnica de incineración y de la gasificación por plasma es posible obtener la siguiente diferencia relativa en términos de impacto, que permite la intercomparación entre otros trabajos de referencia que validan la evaluación ambiental de los procesos. Se puede observar que la incineración genera impactos negativos, relativos a los que genera un relleno sanitario, por tonelada de residuos tratados, en la emisión atmosférica de contaminantes.

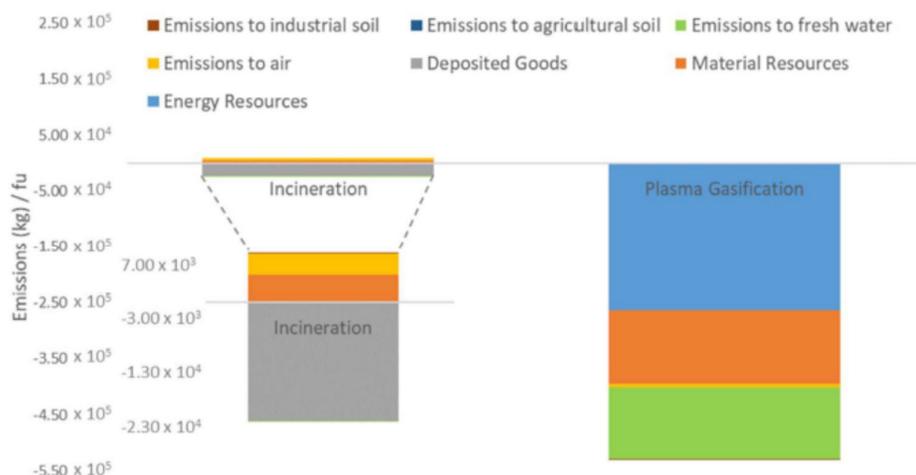


Figura 11 – Comparación de emisiones entre un incinerador y un gasificador por plasma relativos a la disposición en un relleno sanitario, por tonelada de residuos tratados.

11.3 El desempeño social de la GIRSU

El desempeño social de la GIRSU supone en primer lugar medir los parámetros presentados, asociados a la participación local, a la generación de empleo, a la deslocalización temporal y espacial de los efectos ambientales, de su aporte al desarrollo, entre otros mencionados. En particular este desempeño tiene que ver con la relación de la sociedad en general con el sistema. La bibliografía muestra que las experiencias de descentralización del sistema y apertura a la participación comunitaria le imprimen una dinámica basada en adaptación a los contextos locales de las variantes técnicas y en el involucramiento ciudadano. Por tanto, la instrumentación de centros de tratamiento local posibilita alcanzar otros umbrales de desempeño social, de integración laboral y de participación. Este desempeño es motivo de planificación, monitoreo y control.

12 Conclusiones

Es posible concluir del estudio realizado que el planteo de una GIRSU para el municipio de La Plata necesita de una planificación bajo la elaboración de un Plan Maestro que componga los escenarios de crecimiento urbano y reestructuración dinámica del sistema de residuos, en conjunto con otros cambios de fisonomía y funcionamiento. Este hecho permitirá que pueda ser monitoreado el sistema para la construcción de mejoras relativas en el tiempo tendientes a mejorar el desempeño social, ambiental y económico del sistema. Esta planificación estratégica necesita estar en concordancia con la planificación urbana en general y asociarse al perfil productivo de la ciudad. Esta técnica surge de las mejores prácticas relevadas para la gestión ambiental urbana.

Se evidencia una fuerte interrelación de la GIRSU con otras políticas públicas municipales indicando la potencia de asociaciones virtuosas entre ellas. Entre ellas se destaca las políticas tendientes a fomentar el uso de materiales secundarios, la certificación de productos con sello de calidad ambiental, la planificación vial, el código de planeamiento urbano, entre otros.

Se puede concluir adicionalmente que el reemplazo total o parcial de la disposición final, devenido de las técnicas de reutilización, reciclado y valorización de los flujos residuales, tiene un impacto presupuestario, ambiental y social de gran magnitud. Este efecto no solo resulta de evitar la disposición en rellenos sanitarios, sino también de cambios en la estructura logística de los residuos.

Entre las técnicas analizadas, la gasificación por plasma muestra beneficios ambientales, económicos y sociales que viabilizan y hacen recomendable su aplicación. Corresponde a la técnica de valorización energética que implica mayores beneficios ambientales comparado con la disposición en rellenos sanitarios o con otras técnicas como la gasificación pirolítica o la incineración. Esta técnica permite además generar energía de manera distribuida para ser volcada en la red local. Además, permite la descentralización del sistema. Su interrelación con políticas de descentralización operativa profundiza estos beneficios. Esta técnica posibilita el tratamiento de residuos contaminados y patogénicos sin derivaciones funcionales en el sistema. Finalmente, esta técnica, permite evitar las erogaciones económicas, impacto ambiental y sanitario, correspondientes a la disposición en rellenos del CEAMSE, lo cual viabiliza su implementación y repago. Esta técnica se muestra como la mejor disponible para la disposición de fracciones no compostables ni reciclables ni reutilizables, y representa una pieza clave en la reestructuración del sistema de GIRSU para los municipios del AMBA.

Por otro lado, el compostaje y autocompostaje es otra herramienta que permitiría obtener nuevos horizontes en el desempeño general del sistema.

Indicadores de las dimensiones social, económica y ambiental, se presentan como propuestas de evaluación permanente del sistema.

Otro factor que aparece como central en la reestructuración de la GIRSU es el establecimiento de un sistema de generación y circulación de saberes en torno al sistema que profundice la inclusión social, la generación de empleo, y la mejora continua del desempeño ambiental.

En definitiva, se presenta la posibilidad de recorrer un proceso evolutivo tecno-productivo que, en conjunto con el cambio de paradigma planteado, permita obtener importantes beneficios económicos al presupuesto municipal, sociales a los habitantes del municipio y a poblaciones asociadas por el actual sistema deslocalizado, y ambientales en general. Estos beneficios son medibles y trazables, de manera que permiten su verificación y monitoreo.

13 Bibliografía

ACURIO, Guido, et al. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank, 1997.

ADRIYANTI, Nadia Puspita; GAMAL, Ahmad; DEWI, Ova Candra. Solid Waste Management Models: Literature Review. En 2018 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC). IEEE, 2018. p. 37-40.

AI, NING. Challenges of sustainable urban planning: the case of municipal solid waste management. 2011. Tesis Doctoral. Georgia Institute of Technology.

ALLSOPP, M., COSTNER, P., JOHNSTON, P. Incineración y salud. Conocimientos actuales sobre los impactos de las incineradoras en la salud humana. Greenpeace España. 2014.

AMIRHOMAYOUN SAFFARZADEH, TAKAYUKI SHIMAOKA, YOSHINOBU MOTOMURA, KOICHIRO WATANABE, Characterization study of heavy metal-bearing phases in MSW slag, Journal of Hazardous Materials, Volume 164, Issues 2–3, 2009.

ANDREW EMERY, ANTHONY DAVIES, ANTHONY GRIFFITHS, KEITH WILLIAMS, Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales, Resources, Conservation and Recycling, Volume 49, Issue 3, 2007,

BUCLET, Nicolas; GODARD, Olivier (ed.). Municipal waste management in Europe: a comparative study in building regimes. Springer Science & Business Media, 2013.

BUYUKSONMEZ, F., R. RYNK, T.F. HESS AND E. BECHINSKI. Occurrence, degradation and fate of pesticides during composting. I. Composting, pesticides and pesticides degradation. Compost Sci. Utilization, 7: 66-82. 1999.

BYUN, Youngchul, et al. Thermal plasma gasification of municipal solid waste (MSW). En Gasification for Practical Applications. IntechOpen, 2012.

CLARK, Bruce J.; ROGOFF, Marc J. Economic feasibility of a plasma arc gasification plant, city of Marion, Iowa. En Proceedings of the 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference, Orland, Florida, USA May. 2010. p. 11-13.

CREMIATO, Raffaele, et al. Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. Renewable Energy, 2018, vol. 124, p. 180-188.

DANTHUREBANDARA, Maheshi, et al. Environmental and economic performance of plasma gasification in Enhanced Landfill Mining. *Waste Management*, 2015, vol. 45, p. 458-467.

D. HILMER, JEFFREY. The State of Participatory Democratic Theory. New Political Science. 2010.

DÍAZ DE BUSTAMANTE DE CHÁVARRI, J. Planta experimental de gasificación de residuos urbanos por plasma y tratamiento de los gases producidos por reacción shift para la obtención de

hidrógeno. Tesis de grado en Ingeniería Electromecánica. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. 2017.

DOMINGO, José L.; NADAL, Martí. Domestic waste composting facilities: a review of human health risks. *Environment international*, 2009, vol. 35, no 2, p. 382-389.

DUCHARME, Caroline. Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes. Research Paper I. School of Engineering and Applied Science, Columbia University, 2010.

FINNVEDEN, Göran, et al. Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, 2005, vol. 13, no 3, p. 213-229.

GRAZIANI, P. Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos. Oportunidades en América Latina. Editado por CAF - Banco de Desarrollo de América Latina. 2018.

GRUBER, Iris, et al. Urban strategies for Waste Management in Tourist Cities. D2. 7: Compendium of waste management practices in pilot cities and best practices in touristic cities. 2017.

GUTIERREZ. Universidad de San Martín, Avances hacia la gestión integral de residuos en la región metropolitana de Buenos Aires. 2015.

HELLWEG, S., DOKA, G., FINNVEDEN, G., HUNGERBUHLER, K. Electronic Appendix to Chapter 6. 2002.

HUTTON BARBARA. Waste management options to control greenhouse gas emissions – Landfill, compost or incineration? F-LLorecasts and GEOS– Paper for the ISWA Conference, Portugal, October 2009.

IN WANG, JIAN-HUA YAN, YONG CHI, XIAO-DONG LI, SHENG-YONG LU, Application of thermal plasma to vitrify fly ash from municipal solid waste incinerators, *Chemosphere*, Volume 78, Issue 5, 2018.

KUNEGEL, Andre (2009). Study of technical, environmental and economic assessment of the process of waste gasification by plasma torch of PlascoEnergy Group - Report (INIS-FR--16-0658). France

KURIAN, Jiby Kudakasseril, et al. Feedstocks, logistics and pre-treatment processes for sustainable lignocellulosic biorefineries: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 25, p. 205-219.

LUDWIG, CH., HELIWEG, S., STUCKI, S. Municipal Solid Waste Management, Strategies and Technologies for Sustainable Solutions. 2003.

LUDWIG, Christian; HELIWEG, Stefanie; STUCKI, Samuel (ed.). Municipal solid waste management: strategies and technologies for sustainable solutions. Springer Science & Business Media, 2012.

MARTÍNEZ-BLANCO, J., LAZCANO, C., CHRISTENSEN, Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review T.H. et al. *Agron. Sustain. Dev.* 2013.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource technology*, 2001, vol. 76, no 2, p. 107-112.

OLA M. JOHANSSON, The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system, *Waste Management*, 2006.

PI PUIG, A. P. Residuos sólidos urbanos [RSU]. Aproximaciones sociológicas al medio ambiente. La gestión de los RSU en Argentina: el caso del programa de separación de basura en origen implementado por la Municipalidad de La Plata. Opiniones, actitudes y prácticas de los ciudadanos en torno al medio ambiente y al RSU. Trabajo final de grado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. 2011

PICQ, PASCAL. A diversidade em perigo: de Darwin a Lévi-Strauss. Ed. Valentina, Río de Janeiro, 2016.

PRADA, P.A. Metodología para la selección del sistema de tratamiento térmico de los residuos peligrosos generados en la actividad hidrocarbúrfica en la provincia Neuquén, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales Córdoba - Argentina. 2016.

RAGAZZI, M., et al. Municipal solid waste pre-treatment: A comparison between two dewatering options. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2007, vol. 102.

RAJKUMAR JOSHI & SIRAJUDDIN AHMED | CARLA APARECIDA NG. Status and challenges of municipal solid waste management in India: A review, *Cogent Environmental Science*. 2016.

RAMOS, Ana; ROUBOA, Abel. A techno-economic approach to plasma gasification. En *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2018. p. 030038.

Ramos, A., Teixeira, C., & Rouboa, A. Environmental Assessment of Municipal Solid Waste by Two-Stage Plasma Gasification. *Energies*, 12(1), 2019.

RIZWAN, Muhammad, et al. Optimal processing route for the utilization and conversion of municipal solid waste into energy and valuable products. *Journal of cleaner production*, 2018.

SCHEJTMAN, Lorena; IRURITA, Natalia. Diagnóstico sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos en municipios de la Argentina. *Documento de Trabajo*, 2012, no 103.

SOLIVA, Montserrat; LÓPEZ, Marga; HUERTA, O. Pasado, presente y futuro del compost. En *II International Conference on Soil and Compost Eco-Biology*. Puerto de la Cruz, Tenerife-November 26th-29th. 2008.

STOREY, Donovan, et al. Decentralized and integrated resource recovery centers in developing countries: lessons learnt from Asia-Pacific. En *International Solid Waste Association (ISWA) Congress*, Vienna, Austria. 2013. p. 2013.

TORRES, Octavio A. Carranza; ANTON, Francesc Robuste. A continuous approximation model for vehicle routing in solid waste management systems. 1999.

VALLEJO, A. Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis Doctoral en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. 2004.

YOUNG, G. From waste solids to fuel. Pollution Engineering. 2008.