



Trabajo Final de Ingeniería en Materiales

Estudio de la gestión de RSU y el circuito de plásticos post consumo en Mar del Plata

Indira Calvo Rosales

Director: Ing. Federico Rueda

Codirectores: Ing. Exequiel Rodríguez

Ing. Valeria Pettarin

2021



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Trabajo Final de Ingeniería en Materiales

Estudio de la gestión de RSU y el circuito de plásticos post consumo en Mar del Plata

Indira Calvo Rosales

Director: Ing. Federico Rueda

Codirectores: Ing. Exequiel Rodríguez

Ing. Valeria Pettarin

2021

Índice

Resumen	3
Introducción	4
El Reciclaje	5
Reciclaje de plásticos	6
Contexto internacional: Europa	9
Historia del reciclado en Argentina	11
Situación actual en Argentina	14
Generación de basura	16
Capítulo 1: Separación y clasificación	17
1.1 Recolección diferenciada	20
1.1.2 Circuito formal de recolección	20
1.1.3 Circuito informal de recolección	20
1.2 Planta de recuperación	21
1.2.1 Planta de recuperación - Cooperativa CURA	21
1.2.1.1 Procesos de agregado de valor en CURA	22
1.2.1.2 Composición de los residuos recuperados en el circuito formal	25
1.2.2 Predio de Disposición Final	25
1.2.2.1 Situación social dentro del Predio de Disposición Final	26
1.2.3 Importancia de la clasificación de plásticos	28
1.2.3.1 Situación en Gral. Pueyrredón	29
Capítulo 2: Impacto en cantidades	31
2.1 Residuos no recuperables en Gral. Pueyrredón	31
2.2 Residuos recuperables en CURA	32
2.3 Eficiencia de la separación domiciliaria	34
2.4 Plástico que se recupera en Gral. Pueyrredón	36
2.4.1 Acopios Relevados	36
2.4.2 Análisis de datos	37
2.4.3 Recuperación efectiva en Gral. Pueyrredón	39
2.4.3.1 Cantidades	39
2.4.3.2 Materiales	40
2.4.3.3 Precios	41
Capítulo 3: Impacto en calidad	42
3.1 Recepción de fardos	42
3.2 Reciclaje mecánico, el proceso productivo	43
3.3 Calidad del material reciclado	47
3.3.1 Plan de prueba	48
3.3.2 Garantía de calidad del laboratorio	48
3.3.2.1 Métodos de prueba	51
3.3.2.2 Otras alternativas	54
Capítulo 4: Alternativas	56

4.1 Recuperación energética	56
4.1.1 Situación en el mundo	57
4.1.1.1 Europa	57
4.1.1.2 Japón	58
4.1.2 Plantas en EEUU, Europa y Japón	59
4.1.3 Impacto ambiental de la recuperación energética	60
4.2 Coquería	61
4.3 Altos Hornos de Hierro	62
4.4 Hornos de Cemento	63
4.5 Situación en Argentina	63
Capítulo 5: Conclusiones	64
5.1 Conclusiones	64
Bibliografía	66

Resumen

La gestión de los residuos sólidos urbanos en Argentina se basa mayoritariamente en su eliminación, es decir se vierten en rellenos sanitarios o vertederos. Lo único que se logra es alejarlos de la vista de la sociedad, a la cual sólo le interesa la recolección de los residuos, sin importar su destino final. Estas falsas soluciones producen secuelas no sólo en el medio ambiente sino también en la salud, principalmente asociadas a la contaminación de agua, aire y suelos.

El Partido de General Pueyrredón es el centro urbano, dentro de la provincia de Buenos Aires, con más de 500000 habitantes que mayor cantidad de basura produce per cápita por día. Lidera el ranking con 1.007 kgxhab/día.

Considerando esta situación, el objetivo del presente trabajo es evaluar las políticas municipales respecto del tratamiento de residuos sólidos urbanos, haciendo especial énfasis en los plásticos, desde una perspectiva de la Ingeniería en Materiales. Además, se busca evaluar cómo la separación domiciliar impacta sobre una potencial materia prima para la industria local.

Para cumplir con el objetivo se realizó un relevamiento en todos los acopios privados de plásticos en la ciudad y en el predio de disposición final. Además se analizó el rol de la planta de recuperación de materiales en el mercado del reciclado de plásticos.

Los resultados arrojaron que la Cooperativa CURA no es la principal proveedora dentro del mercado de los plásticos post consumo, al aportar sólo el 9,6% del total. Además, los acopios se abastecen con plásticos que compran a trabajadores informales que desarrollan su actividad en el predio de disposición final. En total se recupera el 11,2% del plástico que se consume en la ciudad. Teniendo en cuenta que en Argentina se recupera el 14% del plástico consumido, el municipio de General Pueyrredón está dentro de los parámetros de reciclado a nivel país.

En conclusión, las políticas públicas afectan no sólo a la situación socioeconómica de los involucrados, sino también al reciclado de los plásticos. Además, tanto la separación domiciliar y la recolección diferenciada resultan ineficientes. La municipalidad no cuenta con registros ni relevamientos de los acopios privados y se desconocían las cifras que trabajan.

Introducción

En principio resulta importante indicar a qué se hace referencia cuando se habla de residuos. El Artículo 2 de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (Ley N°13592) los define como "...aquellos elementos, objetos o sustancias generados y desechados producto de actividades realizadas en los núcleos urbanos y rurales, comprendiendo aquellos cuyo origen sea doméstico, comercial, institucional, asistencial e industrial no especial asimilable a los residuos domiciliarios..". [1]

Los residuos pueden clasificarse según su estado, origen o características. La primera clasificación es definida por el estado físico: sólidos, líquidos o gaseosos. El segundo caso se relaciona con la actividad que genera estos residuos, que pueden ser municipales (domiciliarios), industriales, mineros, hospitalarios, etc. Por último, se pueden clasificar por alguna determinada característica, por ejemplo según el tipo de manejo: peligroso, inerte o no peligroso.

La composición de los residuos sólidos urbanos (RSU) o domiciliarios (RSD) depende de tres factores fundamentales: el nivel de vida de la población, las actividades que realicen los habitantes y la climatología de la zona. Estos factores determinan los productos que se consumen y que posteriormente se desechan. El grupo más voluminoso es el de las basuras domésticas, pero también se desechan muebles, electrodomésticos viejos, embalajes y desperdicios de la actividad comercial, residuos provenientes de la limpieza de calles, etc. [2]

En gran medida la gestión de los RSU se basa en su eliminación, por lo tanto toneladas de éstos se vierten en rellenos sanitarios, vertederos o incineradores. De esta manera, lo único que se logra es alejarlos de la vista de la sociedad, a la cual sólo le interesa la recolección de los residuos, sin importar su destino final. Sin embargo, el no tenerlos a la vista, no la exime de sufrir los efectos que generan. Estas falsas soluciones producen secuelas no sólo en el medio ambiente sino también en la salud, principalmente asociadas a la contaminación de agua, aire y suelos.

En primer lugar, la contaminación del agua superficial se genera por la descarga de basura en arroyos/ríos. Además, en zonas donde se acumula basura se filtran líquidos lixiviados que contaminan el agua del subsuelo. El abandono en la vía pública obstruye las redes de alcantarillado y provoca inundaciones que pueden derivar en la pérdida de cultivos, bienes materiales y vidas humanas.

En segundo lugar, la contaminación del aire, la cual se genera por los humos y las quemaduras, produce infecciones respiratorias. Por su parte, la degradación de la materia orgánica produce una mezcla de gases metano y dióxido de carbono, gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen al cambio climático.

Por otro lado, se genera la contaminación del suelo, cuyas propiedades físicas, químicas y su fertilidad pueden verse afectadas por la presencia de residuos contaminantes como aceites, grasas y ácidos, entre otros.

Otro efecto importante es el consumo de energía y materiales que se utilizan para elaborar envases y productos que luego se desechan. Éstos requieren de procesos en los que se utilizan recursos naturales no renovables, tales como el petróleo. Por lo tanto, no se desecha un simple envase sino que se consume un recurso natural. [3]

Sin embargo, existen diferentes acciones que se pueden llevar a cabo para reducir la cantidad de residuos y así, disminuir los efectos que éstos producen. Hay tres medidas básicas que son: reducir, reusar y reciclar. [4]

- Reducir lo más posible, de manera de eliminar el origen de la contaminación. Este principio se puede aplicar en cualquiera de las fases del ciclo productivo, es decir, en la generación de los artículos, la distribución y el consumo. Con ello, se produce una disminución en la cantidad y la toxicidad de la basura que se genera. Además, descienden los costos asociados a la recolección y disposición final.
- Reusar productos, extendiendo su vida útil.
- Reciclar materiales, es decir usar ciertos residuos como materia prima para nuevos productos. Si bien hay muchos objetos que no se pueden reutilizar, sí pueden aprovecharse los materiales de los cuales están hechos.

El Reciclaje

El reciclaje es un proceso que tiene gran importancia a nivel ambiental, económico y social. Como se mencionó anteriormente, reciclar es usar ciertos residuos como materia prima para nuevos productos. Aprovecharlos no solo implica reutilizar el objeto, sino explotar el material que lo compone. Esto previene que materiales potencialmente útiles sean enterrados o quemados, reduciendo así la cantidad de basura. Además, logra el ahorro de recursos naturales (por ejemplo madera) y energías.

En el aspecto económico, se transforma a los residuos en materias primas con valor económico que se utilizan para fabricar nuevos productos.

Respecto al ámbito social, se generan actividades demandantes de mano de obra, ya sea directa (trabajadores industriales capacitados) e indirecta (relacionado a limpieza, transporte y otros servicios). Además se genera mano de obra ocupada en la recuperación de residuos: recuperadores urbanos, cooperativas y empresas. [5]

Para entender el proceso de reciclaje es importante conocer cada una de las etapas de la cadena, que implica: origen, recuperación, planta de transferencia, planta de clasificación y reciclador final. [6]

1. *Origen*: Es donde se producen los residuos. Se distinguen por origen doméstico/comercial e industrial. En esta etapa son los generadores quienes separan la basura, generalmente en diferentes contenedores.

2. *Recuperación*: Es el segundo paso de la cadena. Consiste en la recolección y transporte de los residuos hacia el siguiente eslabón, dentro de los contenedores correspondientes.
3. *Planta de transferencia*: Este eslabón no siempre está presente. Es una plataforma para hacer acopio de residuos y cuya función es cargarlo en mayores vehículos con el objeto de hacer más eficiente el transporte.
4. *Planta de clasificación (o separación)*: Es un elemento clave en el proceso de reciclado. Son plantas diseñadas para separar y clasificar los residuos, se los agrupa por tipo y luego son llevados a plantas de tratamiento y reciclaje.
5. *Reciclador final (o planta de valoración)*: Es la última etapa. Existen diferentes plantas según la técnica a utilizar. Pueden ser recicladoras (ya sea de papel, cartón, plástico, metales, vidrio, etc.), depósitos controlados (comúnmente conocidos como vertederos) o plantas productoras de energía (biomasa, biogás, incineradoras).

El reciclaje se puede clasificar según el proceso que se utiliza (mecánico, químico, energético y biológico) o por el tipo de material o residuo recolectado (papel y cartón, plástico, vidrio, residuos orgánicos, metales). El más difundido a escala industrial es el reciclado mecánico.

Reciclaje de plásticos

Como se mencionó anteriormente, el reciclaje mecánico es el principal método de reciclado a escala industrial y también es el más usado para plásticos. Según se indica en el Manual de Valorización de Residuos Plásticos, “el reciclado mecánico es un proceso físico-mecánico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial (scrap) es recuperado, permitiendo su posterior utilización.” [5]

Los plásticos que se reciclan mecánicamente proceden de dos fuentes principales:

- Residuos post-industriales (RPI): estos son los residuos que se generan de los procesos de fabricación de productos plásticos, tanto en la industria petroquímica como en la transformadora, denominados scrap. El scrap es más fácil de reciclar porque está limpio, ya que no fue utilizado, y es homogéneo en su composición, ya que no está mezclado con otros tipos de plásticos.
- Residuos post-consumo (RPC): estos son los residuos provenientes de los RSU. Se dividen en tres grupos:
 - Residuos plásticos de tipo simple: son los clasificados y separados entre sí, de distintas clases
 - Residuos mixtos: los diferentes tipos de plásticos se hallan mezclados entre sí
 - Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos: papel, cartón, metales, etc.

Los polímeros se pueden clasificar en termoplásticos y termorrígidos. El primer grupo es un tipo de plástico que puede ser moldeado con el aumento de temperatura, y al enfriarse, mantendrán sus propiedades iniciales. Por esta razón son fácilmente reciclables, dado que este proceso se puede realizar en reiteradas oportunidades sin alterar significativamente sus propiedades.

Los polímeros termorrígidos están formados por largas cadenas moleculares que están enlazadas entre sí mediante enlaces químicos. No se funden al calor y son insolubles. Al someterlos a un aumento de temperatura, los enlaces entre cadenas se rompen. Una vez “curados”, éstos polímeros no pueden volver a moldearse, es por eso que son difíciles de reciclar.

Entre los polímeros termoplásticos de mayor consumo en la sociedad se encuentran: PVC, HDPE, PET, PP, EPS, PC, PS, PEBD. En la Tabla 1 se presentan las diferentes aplicaciones para cada polímero antes y después de las etapas de reciclado. Además, se incluye el símbolo de reciclado cuya clasificación hizo la Sociedad de la Industria de Plásticos, en 1988. [7]

Tabla 1. Polímeros termoplásticos y sus aplicaciones pre y post reciclado. Fuente: [7]



PET Tereftalato de polietileno (PET). Se utiliza para botellas de bebidas, bolsas para hervir alimento congelado y bandejas aptas microondas. Una vez reciclado, se puede utilizar en muebles, alfombras, fibras textiles, piezas de automóvil y reciclado convenientemente en nuevos envases de alimentos.



PEAD Polietileno de alta densidad (HDPE). Se usa en envases de lavandina, detergentes y cosméticos, bidones, baldes y cajones plásticos. Asimismo, también se puede ver en envases de leche, yogurt, agua y bolsas de basura. Se recicla de diversas formas, fabricando cañerías, botellas de detergentes y limpiadores, muebles de jardín, botes de aceite, etc.



PVC Cloruro de polivinilo (PVC). Se fabrican botellas para aceite de cocina, productos de limpieza y en la construcción: ventanas, tubos de drenaje, perfiles, forro para cables, etc. Una vez reciclado, puede ser utilizado para paneles, tarimas, tapetes, etc.



PEBD Polietileno de baja densidad (LDPE). Se utiliza en bolsas para vegetales y pan, envolturas de alimentos, silos bolsa. También se puede encontrar en mangueras, etc. Tras su reciclado se puede utilizar en contenedores y papeleras, sobres, paneles, tuberías o baldosas.



PP Polipropileno (PP). Se fabrican envases para yogurt, botellas para shampoo, potes, muebles de jardín. Su alto punto de fusión permite envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes. Se suele utilizar en la fabricación de envases médicos, sorbetes, tapas, algunos contenedores de cocina, autopartes, cajones, etc. Una vez reciclado se puede utilizar en señales luminosas, cables de batería, escobas, cepillos, rastrillos, baldes, pallets, bandejas, etc.



PS Poliestireno (PS). Espuma plástica utilizada para tazas para bebidas calientes, envase para comidas rápidas y bandejas. Una vez reciclado, se pueden obtener diversos productos entre ellos, material para edificación, aislantes, etc.



Otros. Todas las demás resinas de plástico o mezclas no indicadas anteriormente. Se incluyen una gran diversidad de plásticos. Por ejemplo, se hacen elementos a prueba de bala, DVD, lentes de sol, MP3 y PC, etc.

Contexto internacional: Europa

Si bien los RSU representan una pequeña porción del total de los residuos generados anualmente en la Unión Europea (aproximadamente un 10% de las 2500 millones de toneladas generadas), son muy visibles. En 2018 se fijaron nuevos objetivos vinculantes para el reciclaje, el envasado y el vertido, y con ello promover el cambio hacia una economía circular. A comienzos de 2020, la Comisión Europea publicó un plan de acción que pretende reducir la producción de residuos mediante una mejor gestión de los recursos. En febrero de 2021, el Parlamento votó el plan de acción sobre economía circular y mencionó medidas adicionales para avanzar hacia una economía neutra en carbono, sostenible, libre de tóxicos y completamente circular en 2050. Éstas deben incluir leyes más estrictas sobre reciclaje y reducción de la huella ecológica por el uso y consumo de materiales. [8]

En la Tabla 2 se pueden observar los datos oficiales de los países pertenecientes a la Unión Europea que condujeron a que se tomen las medidas mencionadas.

Tabla 2. Datos Oficiales RSU y disposición final. Unión Europea. Fuente: europarl.eu [8]

	Residuos municipales generados [kg/cápita] (2018)	Tasa de reciclaje y compostaje (2017)	Tasa de disposición en vertederos (2017)
UE-28*	489	46%	24%
Dinamarca	766	46%	1%
Malta	640	6%	93%
Chipre	640**	16%	82%
Alemania	615	68%	1%
Luxemburgo	610	48%	7%
Austria	579	58%	2%
Irlanda	567**	41%	26%
Finlandia	551	41%	1%
Francia	527	43%	22%
Países Bajos	511	54%	1%
Portugal	508	28%	50%
Italia	499	48%	26%
Grecia	497**	19%	80%
Eslovenia	486	58%	13%
España	475	33%	54%
Lituania	464	48%	33%
Suecia	434	47%	0%
Croacia	432	24%	75%
Bulgaria	423	35%	62%
Eslovaquia	414	30%	61%
Bélgica	411	54%	1%
Letonia	407	23%	31%
Estonia	405	28%	20%
Hungría	381	35%	49%
República Checa	351	38%	48%
Polonia	329	34%	42%
Rumania	272	14%	71%

* Datos incluyendo el Reino Unido **Datos de 2016
Otros métodos de eliminación de residuos, como la incineración, elevan el total al 100%.

Se observa que los países con más residuos municipales por persona fueron Dinamarca, Malta, Chipre y Alemania. Mientras que los que menos produjeron fueron Hungría, República Checa, Polonia y Rumanía. En cuanto a la tasa de reciclaje y compostaje, los países con mayor porcentaje fueron Alemania, Austria y Eslovenia y los de menor, Malta, Chipre y Rumanía.

Si bien se puede comparar la tasa de reciclaje y compostaje¹ de cada país, cada uno tiene una política diferente para hacerle frente al tema. Por ejemplo, en Bélgica se separan los residuos para su reciclaje en tres contenedores diferentes: amarillo (para envases, briks y latas), verde (vidrio) y azul (papel y cartón). Existen bolsas oficiales para depositar los residuos en los contenedores y de no utilizarlas se recibe una multa económica. Además, cada residuo se recoge en un determinado día y no se puede sacar la basura todos los días. [9]

Por otro lado, en Alemania, además del reciclaje a través de contenedores de colores como el ya mencionado, tiene un modelo para el reciclado de envases de bebidas: el sistema de depósito, devolución y retorno. Los ciudadanos pagan un impuesto en el momento de compra de un envase y se les devuelve si los depositan en buenas condiciones en unas máquinas situadas en los comercios donde los compraron. [9]

En el caso de Irlanda, deben comprar bolsas específicas para reciclar o unas pegatinas que se ponen en las bolsas para indicar lo que contienen. Además tienen tres tipos de contenedores para la separación de residuos: uno verde para el reciclaje de plástico, latas, briks y cartón; uno marrón para la materia orgánica, y uno negro para el material restante. También separan el vidrio por colores en contenedores específicos: transparente, verde y marrón. [9]

Otro dato de interés de la Tabla 2 es que Dinamarca, Alemania, Luxemburgo, Austria, Finlandia, Países Bajos, Suecia y Bélgica tienen muy baja o casi nula la tasa de disposición en vertederos. Esto es importante, ya que en los vertederos se generan grandes cantidades de gases y líquidos nocivos para el medio ambiente. Como alternativa a esto, realizan una valorización energética de los residuos, es decir queman los desechos y los convierten en energía.

Historia del reciclado en Argentina

Una de las primeras técnicas de reciclaje fue llevada a cabo por el CEAMSE (Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado) que es el organismo encargado de la recolección de la basura. En octubre de 1993 comenzó con la recolección diferenciada de basura en un sector de la Capital Federal. El CEAMSE informó que en octubre y noviembre de ese año, sólo en el barrio de Saavedra, se obtuvieron más de 15 toneladas de papel, cartón y vidrio, que fueron utilizadas como materias primas recicladas a través de la Cámara del Vidrio y de la Asociación de Fabricantes de Celulosa y Papel. Los fondos obtenidos fueron donados a la Asociación Vecinal de Saavedra. Además, la empresa

¹ Compostaje: proceso de transformación natural de los residuos orgánicos mediante un proceso biológico de oxidación que los convierte en abono rico en nutrientes y sirve para fertilizar la tierra.

Manliba se comprometió a plantar un árbol por cada kilogramo reciclado. Posteriormente extendieron el ensayo a 50 manzanas. La práctica consistía en colocar contenedores colectivos de dos tipos (de papel y de vidrios) en las esquinas y entregar canastas a los usuarios para utilizar en sus hogares, que eran recogidos semanalmente. [10]

El mencionado ensayo no fue el único llevado a cabo por el CEAMSE. En la Tabla 3 se resumen las actividades de reciclaje realizadas. [10]

Tabla 3. Programas de Reciclaje en el Área Metropolitana. Fuente: El Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos en Localidades de la Provincia de Buenos Aires. [10]

Inicio	Material	Programa	Organismos	Beneficios	Beneficios
1985	Vidrio	Contenedores en la calle	Cámara Arg. del Vidrio/ CEAMSE		Ciudad de Buenos Aires
1993	Vidrio y Papel	Canastos especiales individuales	CEAMSE/ Manliba/ Asociación de Fabricantes de Celulosa y Papel	Sociedades vecinales	Saavedra, River (Núñez) y Ruiz Huidobro (Ciudad de Buenos Aires)
1993	Vidrio y Papel	Contenedores en la calle	Municipalidad de Buenos Aires/ CEAMSE		Villa Deboto (Ciudad de Buenos Aires)
1996	Vidrio y Papel	Contenedores en las escuelas	Dirección de escuelas/ CEAMSE		Escuelas de 9 municipios del conurbano
1995	Latas de aluminio	Escuelas y calles	Secretaría de Recursos Naturales/ CARDISA/ Reynolds	Cooperadoras escolares	Escuelas del AMBA y público en general
1997	Vidrio, Papel y Latas de aluminio		Malvinas Argentinas/ Provincia de Buenos Aires/ CEAMSE		Escuelas del municipio
1998	Residuos sólidos urbanos	Separación en orgánicos e inorgánicos	Fundación Senda/ Cliba		Zona Puerto Madero (Ciudad de Buenos Aires)

Puede notarse en la Tabla 3 la falta de un programa de reciclaje que incluya a los plásticos. Esto se debe a que es una práctica relativamente moderna, no sólo en Argentina, sino a nivel global.

A modo de ejemplo, puede estudiarse la evolución del reciclado de PET en Argentina. Es importante destacar que hasta el año 1995 el reciclado de PET era una actividad prácticamente inexistente en el país. La Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET (ARPET) registró datos sobre ésta práctica entre 1997 y 2008, donde principalmente se

procesó PET postindustrial y envases de PET post consumo, proveniente de los envases retornables de gaseosas. [11]

Tabla 4. Reciclado de PET en Argentina. Fuente: ARPET. Reciclado de PET. [11]

Reciclado de PET en Argentina (Postindustrial y post consumo)				
Año	PET Reciclado [Ton]	Envases Reciclados [en millones]	Consumo Anual Aparente [Ton]	Porcentaje Recuperado
1997	780	18	70000	1,11
1998	2700	61	90000	3
1999	3500	80	105000	3,33
2000	6600	150	130000	5
2001	8580	200	145000	5,91
2002	10250	238	115000	8,91
2003	13700	342	135000	10,14
2004	22100	552	160600	13,7
2005	36000	900	166000	21,7
2006	48000	1200	177500	27,05
2007	60000	1500	180000	33
2008	68000	1700	200000	34

En la Tabla 4 se puede ver que hubo un incremento del porcentaje reciclado a lo largo de los años. Sin embargo, se registra una amplia diferencia en la cantidad consumida y la cantidad recuperada de PET, aún con una tasa de recuperación, en el año 2008, muy superior a la inicial.

La industria del reciclado plástico en Argentina es una práctica que está creciendo rápidamente. Esto se debe principalmente a grandes inversiones en equipos de tecnología avanzada, que aumentan la eficiencia y calidad de los productos. En la Tabla 5 se muestra la evolución de la tasa de reciclado de plásticos en Argentina, entre 2003 y 2018. [12]

Tabla 5. Evolución de la tasa de reciclado de plástico en Argentina. Fuente: Los plásticos en la economía circular. Ecoplas. [12]

	2003	2006	2009	2011	2013	2018
Consumo aparente de plásticos [Ton]	1.064.300	1.445.700	1.455.000	1.777.400	1.738.800	1.651.468
Reciclado de plástico sobre total del consumo (%)	5,4	6,7	10,3	11,3	12,8	14,6
Índice de reciclado de plásticos post consumo doméstico (%)	9,4	11,6	17,8	21,6	24,3	25,5
Reciclado Total [Ton]	57.100	97.000	150.000	200.000	223.000	241.400

En la Tabla 5 se puede ver un aumento en la cantidad total de plástico reciclado, sin embargo también se registra un mayor consumo de los mismos. Lo destacable es el aumento de la tasa de reciclado de plástico sobre el total del consumo y del índice de reciclado de plásticos post consumo doméstico, es decir que el aumento en el reciclado es mayor que el aumento de la cantidad consumida.

Situación actual en Argentina

En Argentina se genera diariamente 1,15 kg de residuos per cápita, lo que equivale a 49.300 toneladas diarias (considerando 42.874.000 habitantes según datos de CEPAL (2015)) y aproximadamente 18 millones de toneladas anuales. [13]

En el año 2005 el Gobierno Nacional elaboró la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU), con el fin de llevar una política pública ambiental a implementar en todo el país, en un plazo de 20 años. La Estrategia se basa en tres ejes principales: integralidad, procesamiento y disposición final, los que se desarrollan en las Tabla 6.

Tabla 6. Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. [13] [14] [15] [16]

Eje	Etapa	Descripción
Integralidad	Reducción en origen	Transformación de los modelos de producción y consumo para lograr la utilización sostenible de los recursos y prevenir la contaminación.
	Separación en origen	División en diferentes recipientes o contenedores los RSU que pueden ser reciclados, reutilizados o reducidos, para su posterior recolección diferenciada, clasificación y procesamiento.
	Recolección	Recoger aquellos RSU que se han dispuesto en los lugares señalados en la vía pública, la carga de los mismos en vehículos recolectores y el vaciado de los recipientes o contenedores. La recolección es diferenciada porque se discrimina por tipo de residuo en función de su tratamiento y valoración posterior.
	Transporte	Traslado de los RSU desde el lugar de su recolección hasta los centros de selección y transferencia o sitios de tratamiento y disposición final, dependiendo de si trata de residuos recuperables o no.
	Selección y Transferencia	Separación de los RSU dividiendo entre reciclables y no reciclables. Dentro de estos últimos se diferencia entre húmedos y secos y se les realiza un pretratamiento de forma de acondicionarlos para trasladarlos a los sitios de tratamiento y disposición final.
Procesamiento	Reciclaje	Proceso mediante el cual los residuos son transformados en nuevos productos o en recursos materiales con el que fabricar otros productos.
	Compostaje	Proceso natural que sufren los residuos orgánicos para obtener un abono natural (compost), el cual sirve para aportar nutrientes a la tierra.
Disposición Final		Conjunto de operaciones cuyo fin es lograr el depósito permanente de los residuos sólidos urbanos que no pueden ser recuperados.

La Estrategia se elaboró con cinco objetivos fundamentales [17]:

- reducción y valorización de RSU;
- implementación de la GIRSU;
- clausura de basurales a cielo abierto (BCA);
- recopilación, procesamiento y difusión de Información;
- comunicación y participación.

Generación de basura

De acuerdo al Diagnóstico de la Gestión Integral de RSU en la Argentina realizado por el Banco Mundial, las provincias del centro del país son las que más basura producen. Se destacan la provincia de Buenos Aires que genera 19.665 Tn/día, CABA 5792 Tn/día, Córdoba 3780 Tn/día y Santa Fe 3525 Tn/día. [18]

La provincia de Buenos Aires cuenta con 135 municipios y una población de 15.625.084 habitantes según el censo realizado en 2010. Ahora bien, dentro de la provincia, se dan grandes fluctuaciones entre los municipios en cuanto a generación de basura per cápita. Si se realiza un ranking con aquellos municipios que cuentan con una población de más de 500.000 habitantes, General Pueyrredón es el que lidera con 1.007kg de basura generados por habitante en un día. Seguido por La Matanza con 0.993 kg/habxdía, Lomas de Zamora con 0.943 kg/habxdía, La Plata con 0.862 kg/habxdía, Almirante Brown con 0.799 kg/habxdía, Merlo con 0.751 kg/habxdía y, por último, Quilmes con 0.708 kg/habxdía. [19]

Objetivo del proyecto

Considerando la situación de General Pueyrredón, el objetivo del presente trabajo es evaluar las políticas municipales respecto del tratamiento de residuos sólidos urbanos, haciendo especial énfasis en los plásticos, desde una perspectiva de la ingeniería en materiales. Además, se busca evaluar cómo la separación domiciliar impacta sobre una potencial materia prima para la industria local.

Capítulo 1: Separación y clasificación

Como se mencionó en la Introducción, la cadena de reciclaje comienza por la separación de los residuos realizada por los generadores. Los residuos pueden ser de origen domiciliario/comercial o industrial.

En la ciudad de Mar del Plata se generan, diariamente, 1.007kg de basura por habitante, teniendo en cuenta una población de 618.989 habitantes, según el último informe de la Defensoría de la Provincia de Buenos Aires. [20]

Actualmente se está desarrollando el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) para cumplir con los requisitos de la normativa vigente. Los principales objetivos del programa son: erradicar basurales a cielo abierto y recuperar zonas afectadas; reducir los residuos destinados a disposición final y valorización de RSU (a través de la separación en origen y recolección diferenciada, incrementando las actividades de reciclado en condiciones de formalidad, elevando el volumen de material recuperado de los desechos y perfeccionando los mercados del reciclado); e incrementar niveles de educación y sensibilización en materia de GIRSU en distintos sectores de interés, por ejemplo desarrollando programas de educación, comunicación y participación ciudadana.

Además se cuenta con el Programa de Separación en Origen desde el año 2012. Este programa obliga a los generadores de residuos sólidos urbanos a separarlos en dos fracciones (recuperable y no recuperable), colocándolas en bolsas verdes y negras para su recolección, con días determinados para cada una. Dentro de las bolsas verdes se deben colocar papel, cartón, vidrio, metales y plásticos (todos limpios y en seco). Por otro lado, en la bolsa negra, restos de comida, residuos de jardinería, residuos sanitarios domiciliarios y residuos secos sucios y/o no recuperables. Esta primera etapa es esencial para establecer un Sistema de Gestión de Residuos Recuperables eficiente [21]. Sin embargo, la separación en origen no es un programa de carácter obligatorio, es decir no hay vigente ningún tipo de consecuencia para los ciudadanos que no lo cumplan.

Esta etapa es esencial para que los materiales recuperables ingresen en la cadena de reciclado. Para ello, es importante tener en cuenta que al mezclar los residuos húmedos con los recuperables, éstos pierden valor ya que se ensucian y se dificulta su manejo en las etapas posteriores. En este sentido, es fundamental conocer cuál es la composición de los residuos domiciliarios. En la Tabla 7 se especifica la composición porcentual de éstos residuos en la ciudad de Mar del Plata, en el año 2015 [22].

Tabla 7. Composición porcentual de los residuos domiciliarios de Mar del Plata en 2015. Fuente: Datos abiertos MGP[22]

Residuo	Composición Porcentual
Diarios y revistas	1.93%
Papel de oficina (Alta Calidad)	0.91%
Papel mezclado	1.99%
Cartones	4.28%
Envases Tetrabrik	0.39%
PET	2.72%
PEAD	8.22%
PVC	0.14%
PEBD	0.09%
PP	0.40%
PS	0.62%
Otros plásticos	1.76%
Vidrio blanco	1.15%
Vidrio verde	2.00%
Vidrio ámbar	0.40%
Metales ferrosos	1.07%
Metales no ferrosos	0.41%
Materiales textiles	3.27%
Madera	0.41%
Goma, cuero y corcho	0.60%
Pañales descartables y apósitos	3.11%
Desechos alimenticios	49.51%
Materiales de demolición y construcción	0.89%
Residuos de poda y jardinería	6.90%
Residuos domésticos peligrosos	0.26%
Líquidos acuosos	0.23%
Líquidos no acuosos	0.06%
Otros	6.28%

Como se puede ver en la Tabla 7, casi el 50% de los residuos domiciliarios son desechos alimenticios. Éstos, junto con los pañales descartables y apósitos que

representan casi el 3% de los residuos y los restos de poda y jardinería, que son casi el 7%, deben ser colocados en la bolsa negra. Es decir, los orgánicos representan alrededor de un 60% de los residuos domiciliarios.

Por otro lado, los plásticos en su totalidad (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP y PS) son los que representan la mayor parte de los residuos potencialmente recuperables (aprox. 14%). Éstos deben ser colocados en la bolsa verde, junto con los papeles, ya sean diarios y revistas, papel de oficina y papel mezclado, que representan el casi 5% y con los cartones, que equivalen al 4,3% de los residuos domiciliarios. Además, deben agregarse los vidrios, tanto blanco, verde y ámbar, que representan el 3,55% y los metales ferrosos y no ferrosos, que son un 1,5% de los residuos generados en los domicilios. Por último, se encuentran los residuos textiles, que equivalen al 3,87% de los residuos, y que incluye también a la goma, cuero y corcho. Es decir, los recuperables equivalen a, aproximadamente, el 35% de los residuos que son desechados en los domicilios. Sin embargo, este porcentaje es considerando que todos los residuos potencialmente recuperables son correctamente separados y se colocan en la bolsa limpios y secos.

Posterior a la separación domiciliaria, los residuos continúan un circuito como el que se observa en la Figura 1.

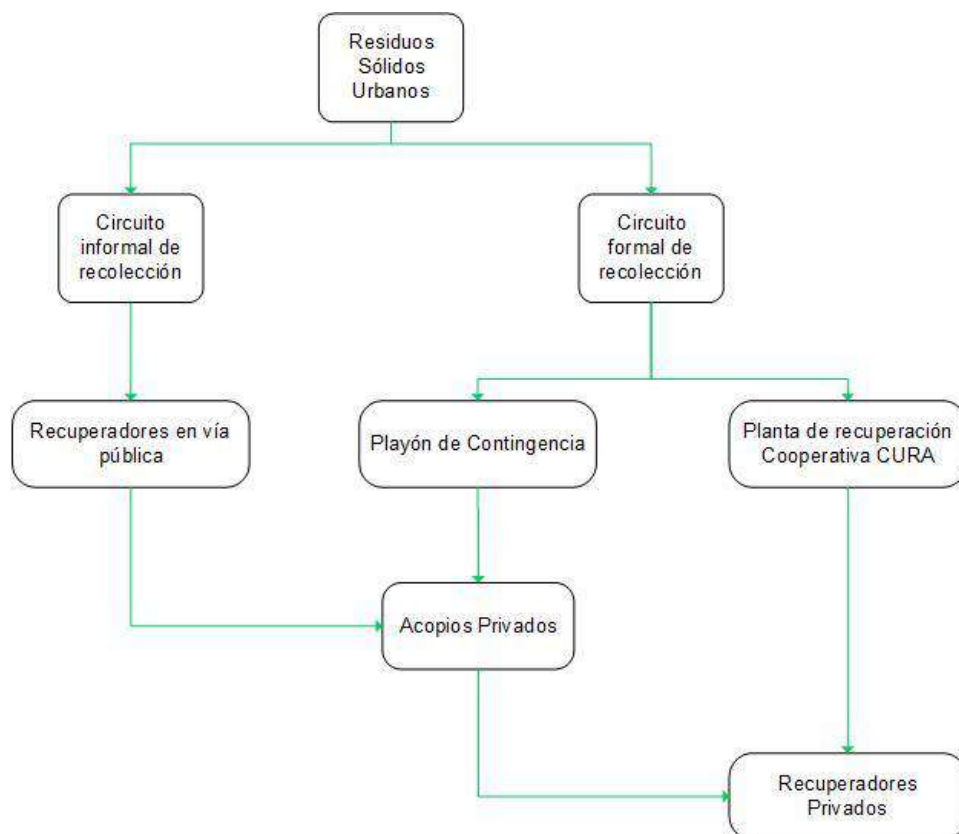


Figura 1. Circuito de los Residuos Sólidos Urbanos en Mar del Plata. Fuente: Elaboración propia.

El circuito detallado en la Figura 1, se explica a lo largo de los Capítulos 1 y 2.

1.1 Recolección diferenciada

El siguiente paso en la cadena de reciclaje es la recolección diferenciada y transporte de los residuos. En la ciudad de Mar del Plata se dan dos circuitos: el circuito formal, conducido por la Municipalidad, y el informal, que involucra a recuperadores de la vía pública.

1.1.2 Circuito formal de recolección

El servicio de recolección de residuos se realiza a través de una empresa privada (Transporte 9 de Julio S.A.), contratada mediante una licitación pública internacional. Cada barrio de la ciudad tiene una frecuencia diferente de servicio. En general, dos veces por semana se retiran las bolsas verdes y cuatro veces las bolsas negras.

En este contexto es necesario aclarar que según fue notificado por una trabajadora social de la Municipalidad, al no ser obligatoria la separación domiciliaria, no sólo retiran las bolsas verdes los días estipulados, sino que también se retiran negras si las hubiese. Es decir, dentro del mismo camión se compactan las bolsas verdes y negras.

Hoy se recolectan, aproximadamente, 450 Ton/día de residuos sólidos urbanos en invierno y 800 Ton/día en verano. El alcance del servicio de recolección abarca a los residuos domiciliarios, residuos provenientes de edificios urbanos, comerciales, industriales, de hospitales (no patogénicos), de mercados, etc. [21]

1.1.3 Circuito informal de recolección

Se estima que, hasta el año 2014, formaban parte entre 1000 y 1500 personas del grupo de recolectores en vía pública. Al día de hoy, ese número se triplicó, según trabajadores municipales consultados.

Principalmente acopian papel y cartón, debido a que es fácil conseguirlo limpio y seco, y además tiene una buena relación peso/ingreso económico. También recolectan metales (cobre, bronce, aluminio, plomo, entre otros) y vidrio. Sumado a esto, juntan diversos elementos para reusarlos o venderlos, como son electrodomésticos, muebles, juguetes, etc. Es importante destacar que los materiales a recolectar dependen fundamentalmente del medio de transporte de carga con el que cuentan. Aquellos con menor capacidad comercializan con acopiadores barriales, mientras que los de más capacidad con un Gran Acopiador Mixto. En la Tabla 8 se presentan las características de los recuperadores en vía pública.[23]

Tabla 8. Características de recuperadores de la vía pública. Fuente: *Cadena de Valor de materiales reciclables en Mar del Plata: aportes para la gestión sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos* [23]

Artefacto	Capacidad	Material	Características
Camión	700/800 Kg. Depende del tipo de camión	-Cartón	-Sin papeles ni Verificación Técnica Vehicular -Comercializan principalmente con acopiadores y gran acopiador
Camionetas particulares	400 Kg	-Cartón -PET* (Son los únicos que recolectan PET)	-No hay patrón general. En base a los elementos disponibles. -Comercializan principalmente con acopiadores.
Moto	100 Kg	-Cartón	-Comercializan principalmente con pequeños acopiadores
Bicicleta	Hasta 100 Kg	-Papel y cartón principalmente. -Metales y artefactos que puedan obtener repuestos o cobre.	-Carros artesanales. -Paradas intermedias a acopiador barrial. Capacidad limitada por arrastre a sangre.
Carreros		-Papel y cartón principalmente. -Metales y artefactos que puedan obtener repuestos o cobre.	-Carros artesanales. -Capacidad limitada por arrastre a sangre. -Comercializan con acopiadores barriales.
Sin vehículo		-Alimentos -Ropa	-Recolección especial. -Frecuencia: 1 vez por semana o cada 15 días. -Casi exclusivamente realizada por mujeres.

1.2 Planta de recuperación

En la etapa que involucra la planta de recuperación, también se dan dos circuitos dentro de la ciudad. Por un lado el circuito que incluye la Instalación de Recuperación de Materiales (IRM) o planta de reciclado, la cual es operada por recuperadores pertenecientes a la Cooperativa CURA (Común Unidad de Recuperadores Argentinos). Por otro lado, se encuentran los recuperadores que trabajan en el Playón de Contingencia.

1.2.1 Planta de recuperación - Cooperativa CURA

Dentro del circuito formal de recolección, parte de los residuos son llevados hacia la Planta de reciclaje Cooperativa CURA, mientras que el resto se transportan al Centro de Disposición Final de Residuos.

La Cooperativa CURA recibe camiones solamente los días que deberían recolectarse las bolsas verdes. Sin embargo, como se dijo anteriormente, los residuos que le llegan están mezclados dada la no obligatoriedad de la separación domiciliaria. Según información provista por el EMSUR (Ente Municipal de Servicios Urbanos), los días martes y viernes se descargan, durante el turno nocturno, unos 14 camiones de residuos en la planta (con los que operan los días miércoles, sábado y lunes). En esos días también se descargan residuos de la recolección diurna, con la que operan martes y viernes. Pero mucho menos, como máximo 6 camiones. Es necesario aclarar que cada descarga oscila entre 5 y 7 toneladas. Entonces, si bien llegan los residuos mezclados, se podría inferir que reciben una buena proporción de residuos recuperables. Esto se justifica con que cierta parte de la población cumple con los días estipulados para desechar sus bolsas verdes, si bien se mezclan, la cantidad de recuperables resulta mayor que los días restantes.

La Cooperativa CURA está conformada por recuperadores que desarrollaban sus actividades en el Predio de Disposición Final del Partido de General Pueyrredón. La misma, se organiza y constituye como entidad formal en el 2004 [23]. Actualmente trabajan entre 25 y 30 personas.

Allí, la actividad principal es la selección de residuos sólidos reciclables (bolsas plásticas, cartón, diarios, papel blanco, chapas, hierros, botellas y vidrios en general, botellas plásticas (PET) y plástico en general). Una vez recuperados y recolectados, los materiales son trasladados al galpón de acopio, donde se clasifican y separan. Luego se los prensa, enfarda y acondiciona para la venta. [24]

No sólo trabajan con los residuos sólidos urbanos, sino también con “grandes generadores”. Los grandes generadores son aquellos que por la cantidad y periodicidad con que emiten residuos sólidos reciclables, reciben un tipo de recolección diferenciada. En el caso de CURA, los grandes generadores con los que trabaja son supermercados, shoppings, edificios públicos y grandes comercios de la zona. Éstos permiten que se retiren plásticos bazar y soplado, vidrio, metales ferrosos, etc. Aunque los principales materiales que se retiran son cartón y papel y el plástico PET. [24]

1.2.1.1 Procesos de agregado de valor en CURA

Los residuos ingresan al predio de la cooperativa transportados por la Empresa 9 de Julio. Una vez que el material está dentro del predio de la planta, el trabajo se divide en distintos sectores con cuadrillas de alrededor de 5 a 10 trabajadores por sector. En la Figura 2 se presenta un plano de la planta.

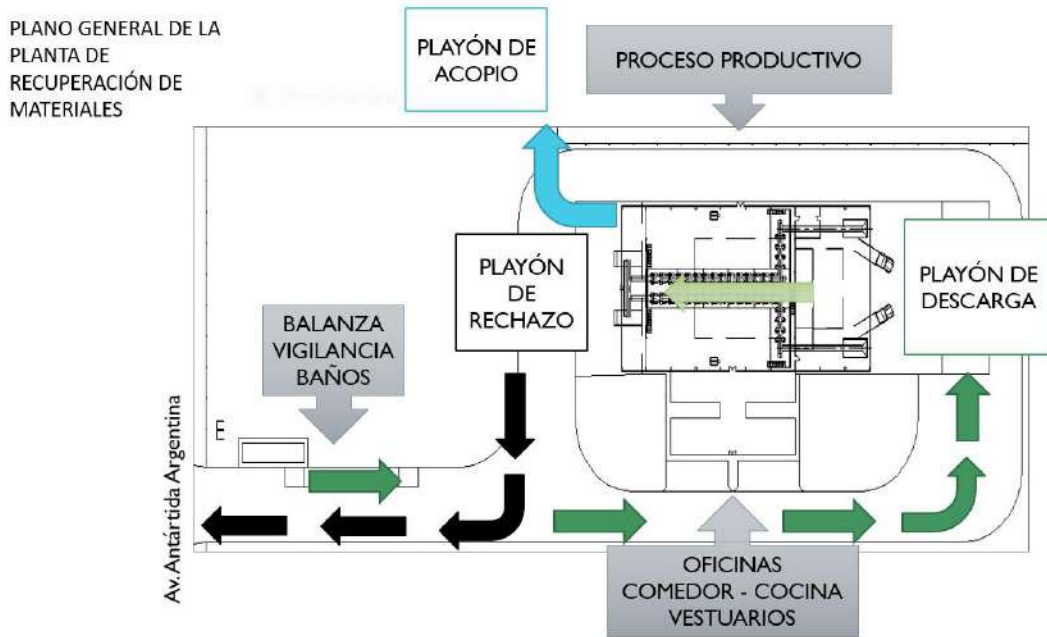


Figura 2. Plano de la Instalación de Recuperación de Materiales. Fuente: Página Oficial de la Municipalidad de General Pueyrredón.

En primer lugar se encuentra el sector de balanza, donde se pesan tanto el material proveniente de la recolección domiciliaria como el de los grandes generadores. [24]

A continuación, mediante una pala mecánica frontal operada por personal de la municipalidad, los residuos son depositados en las tolvas de recepción que alimentan cintas de elevación y transportan los residuos al primer piso hacia las cintas de apertura de bolsas. [23]

Una vez dentro del galpón, se realiza una segunda separación y clasificación de materiales. También se procede a la apertura manual de las bolsas previamente descargadas. Las bolsas abiertas se descargan sobre la cinta de clasificación, allí los trabajadores extraen el material a recuperar. Luego, se deposita mediante las troneras en bolsones o contenedores dependiendo el tipo de material. Posterior a la clasificación, los materiales recuperables siguen distintos cursos de enfardado o el acondicionamiento apropiado para ser vendidos a los distintos intermediarios, mayoristas o acopiadores. [24]

En la Tabla 9 se explicitan los procesos de agregado de valor que se realizan en la Planta.

Tabla 9. Procesos de agregado de valor en la Planta. Fuente: *Cadena de Valor de materiales reciclables en Mar del Plata: aportes para la gestión sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos* [23]

Material Recuperado	Segunda separación	Detalle	Proceso de agregado de valor
Papel y Cartón	- Blanco de primera calidad - Papel de segunda	- Se depositan en troneras - Algunos materiales se terminan de clasificar en Planta Baja - Lo recuperado por el Circuito de Blancos y Cartones se pasa por la cinta de manera independiente y se clasifica para evitar contaminación con RSU	- Segunda clasificación - Prensado - Acopio
PET	PET Cristal PET Verde + PET Celeste	- Clasificación en tronera - No se retiran las tapas, cuellos y etiquetas de los envases debido a que el comprador sólo está interesado en recibirlo clasificado por color	- Segunda clasificación - Compactado y enfardado - Acopio
PEAD	Amarillo Blanco Mezcla	- Clasificación en tronera	- Segunda clasificación - Compactado y enfardado - Acopio
NYLON	-	- Se compacta y se acopia en el exterior de la Planta - Material recuperado de acuerdo a convenios con actores específicos	- Compactado - Acopio
VIDRIO	-	- Se comercializa mezclado y triturado. Bajo la tronera se posiciona un contenedor del Acopiador que le compra y una vez que se llena es retirado por el acopiador	- Segunda clasificación - Acopio en contenedor
METALES	- Acero, Aluminio, Bronce, Cobre, Plomo y Chatarra	Se separan en las cintas de clasificación y depositan en algunos casos en troneras y otros en bolsones. Cuando los metales se encuentren combinados, se desarma en Planta Baja	- Segunda clasificación

En tanto, el material que no es separado por los recuperadores, continúa en la cinta y es transportado hacia el final del recorrido, donde se vuelca en el camión de rechazo. [23]

El camión de rechazo es operado por personal de la municipalidad, recibe y transporta el material no recuperado, derivándolo al Predio de Contingencia como material de rechazo de CURA. Es importante destacar que es esencial la sincronización en el ciclo de cambio de camiones de rechazo con la operación de la planta, ya que la ausencia de camión de rechazo provoca el freno de la cinta y por ende de la operación de las tareas de separación. [23]

1.2.1.2 Composición de los residuos recuperados en CURA

Resulta de interés conocer qué tipo de materiales y cuántos se logran recuperar. A continuación, en el Gráfico 1, se observa la composición porcentual de materiales recuperados en el año 2020. [22]



Gráfico 1. Composición porcentual en peso de los residuos recuperados en CURA [Ton] 2020. Fuente: Datos Abiertos MGP. [22]

En el Gráfico 1 se puede identificar que el material que se recupera en mayor cantidad es el vidrio (35.5%), le siguen el papel (25.65%), el PET cristal (16.25%) y el cartón (10.26%). En menor medida textiles (2.95%), metales (2.22%) y PEAD (2.43%).

1.2.2 Predio de Disposición Final

Según el relevamiento realizado, en el Predio (ubicado en Av. Antártida Argentina N° 9900) realizan tareas de separación y clasificación de materiales. Allí trabajan entre 700 y 800 personas, quienes forman parte de una agrupación conocida como 'Recicladores Cielo Abierto'. Según un referente de la agrupación, la metodología de trabajo es la siguiente: se descargan las bolsas transportadas por los camiones de la empresa 9 de Julio S.A. y se abren todas, bolsas verdes y bolsas negras. Separan lo que es PET, "soplado" (bidones de PEAD), "tute" (botellas de PET y bidones de colores) y "bazar"(PP, PE, baldes) y también

los “sachet” de leche. En el caso de las botellas, los trabajadores separan por un lado las botellas de color (verdes y azules), por otro las transparentes (PET cristal).

Dentro del Predio se encuentran 6 intermediarios habilitados por la Municipalidad, que son quienes compran los materiales. Según la fuente consultada, se logra reunir el 80% del plástico que ingresa allí, sin embargo se desconoce cómo es calculado dicho valor.

Es importante aclarar que, según indicaron, los días martes y viernes, es decir los días de recolección de “bolsas verdes”, reciben aproximadamente un 10% del total de bolsas. Las restantes son llevadas a la cooperativa CURA. Aunque, nuevamente, se desconoce cómo se realiza esa estimación.

1.2.2.1 Situación social dentro del Predio de Disposición Final

De manera de conocer la situación de los trabajadores del Predio, se consultó con una asistente social de la Municipalidad que trabaja allí. Informó que hay un listado de personas para ingresar al lugar, si bien es un espacio público y cualquiera puede ir. El listado se realiza principalmente para tener un control de las personas que entran y salen, y además, para poder contabilizar a los trabajadores del lugar.

El listado está conformado por 1200 personas aproximadamente. Sin embargo, unas 800 son las que realmente van al lugar. Además, la asistente social informó que no todas las personas van todos los días, sino que se estima que unas 200 a 300 personas trabajan por día. Ésta condición cambia en verano, en que se duplica la cantidad de gente.

Hay diferentes situaciones dentro del predio, hay trabajadores que van todos los días, algunos van tres veces por semana. También se da que un trabajador va el día lunes, por ejemplo, y si “trabajó bien” no vuelve hasta el viernes. Además hay gente que vive ahí durante la semana y se va los fines de semana a su casa.

En general, hay diferentes grupos conformados según los materiales que juntan. Hay un grupo que junta plásticos, aunque la mayoría de las personas recolecta materia orgánica (alimentos). Actualmente, un trabajador le informó a la asistente social que quiere comenzar a juntar vidrio.



Figura 3. Recuperadores informales trabajando en el Predio de Disposición Final. Fuente: Trabajador del lugar.

En la Figura 3 se puede ver la metodología de trabajo dentro del Predio. Los camiones recolectores descargan en el lugar, los trabajadores abren las bolsas y juntan los materiales. Pasado un tiempo, un trabajador de la empresa que tiene la concesión del lugar, rota la pila de basura con una pala mecánica.

Una vez que cada trabajador tiene sus materiales, los vende. En general los venden a los intermediarios dentro del Predio, aunque también pueden venderlo a acopios directamente. Sin embargo, la segunda opción es más difícil, porque deben contar con movilidad propia o con fletes que tengan el ingreso permitido.

En el caso de los plásticos se venden por peso y por material. Es decir, los trabajadores juntan, por ejemplo, botellas de PET cristal y el comprador pesa la bolsa. Si bien realizan una buena clasificación por material, el venderlo por peso representa un problema. Para obtener más ingresos, los trabajadores sabotean las bolsas. Por ejemplo, llenan las botellas con agua o colocan piedras dentro, para así aumentar el peso de la bolsa. Esto hace una clara referencia a que la falta de políticas públicas afecta no solo a la situación económica y social de los trabajadores, sino a la rentabilidad del proceso del reciclado ya que se ve claramente perjudicada la limpieza de los materiales.

En cuanto a la limpieza, no sólo influye el hecho de que se encuentran mezclados con materia orgánica, sino que la situación empeora según las condiciones climáticas. En la Figura 4, se puede ver el lugar un día de lluvia, en el que el camión descarga las bolsas sobre el barro del lugar.



Figura 4. Recuperadores informales trabajando en el Predio de Disposición Final. Fuente: Trabajador del lugar.

1.2.3 Importancia de la clasificación de plásticos

En el contexto de reciclado de plásticos, la clasificación representa una parte fundamental del reciclado, ya que la mayoría no son compatibles entre sí. Los plásticos mezclados tienen un valor menor y resultan en productos con malas propiedades y variables, mientras que los clasificados se pueden usar en aplicaciones de mayor valor. Sólo contar con un 1% de un polímero incompatible es suficiente para degradar las propiedades de un lote completo de reciclado.

Un ejemplo representativo es una botella de PVC mezclada entre 10000 botellas de PET, que arruina el lote por completo. Es decir, que el reciclado de botellas de PET requiere una pureza del 99,99%. Sin embargo, es importante aclarar que no todas las combinaciones de polímeros resultan en un grado de incompatibilidad como el dado.

Entonces, para lograr una mayor eficiencia en el reciclado, se debe contar con materiales homogéneos y contaminación mínima. Para ello se los clasifica según sus propiedades físicas, como son:

- *Color*: Es el principal para la separación manual, aunque en algunos lugares se cuenta con métodos automáticos.

- **Densidad:** Cada tipo de plástico tiene una determinada densidad, que puede variar con la pureza. Existe una gran variedad de métodos de separación que utilizan diferencias de densidades, como flotación, ciclones, lixiviaciones, etc.
- **Electromagnetismo:** Se separan materiales ferrosos mediante separadores magnéticos.

En la Figura 5 se presentan diferentes métodos de separación de plásticos.

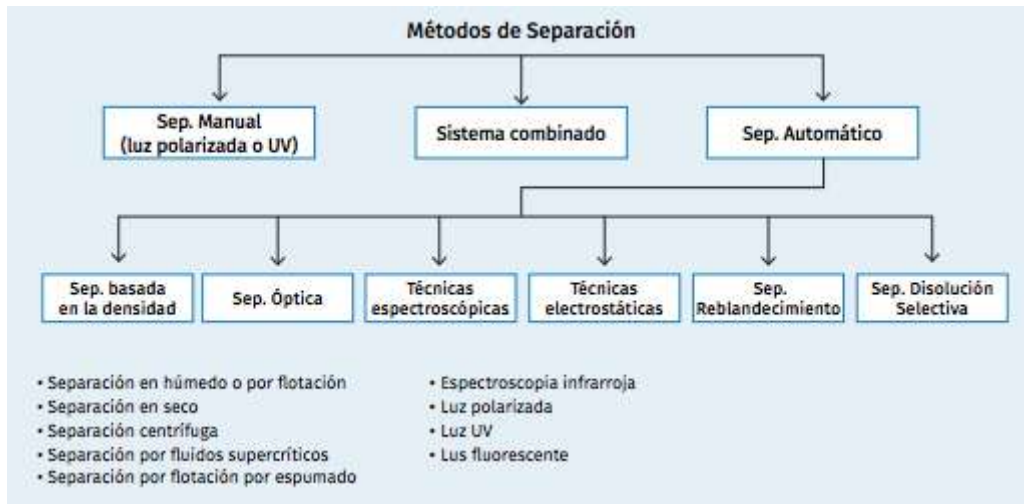


Figura 5. Métodos de separación de plásticos. Fuente: Plastics Technology México. [25]

El método más antiguo es la separación manual. Esta técnica consiste en identificar por forma, color, apariencia, marca registrada a los diferentes plásticos. Tiene la gran ventaja de ser un sistema relativamente barato, sin embargo es importante tener en cuenta la posibilidad del error humano.

Esta técnica se puede facilitar mediante el uso de diversas condiciones de iluminación. La luz ultravioleta resulta útil para diferenciar botellas de PET y PVC. También se puede utilizar un sistema de bajo costo, con una iluminación especial dispersa, que ayuda a eliminar el PVC del PET y distinguir PETG y PS del PET y PVC. [25]

En países desarrollados se han creado tecnologías de clasificación automática. Ésta tecnología realiza una exploración doble con cada pasada, con sensores extremadamente rápidos y fiables que toman los espectros de infrarrojos específicos de varios objetos con una resolución óptima muy alta. El sistema se está utilizando en Bélgica, Canadá, Alemania, Italia, Países Bajos, España, Reino Unido y EE. UU, entre otros. [5]

1.2.3.1 Situación en Gral. Pueyrredón

En ambos circuitos que operan en el municipio, el sistema de separación utilizado es el manual. Como se explicó recientemente, este sistema es el más antiguo y el menos efectivo. La separación depende totalmente del ojo humano y del conocimiento o criterio de cada uno de los trabajadores.

En el caso de la Cooperativa CURA, la separación de plásticos se realiza en 3 grupos: PET Color (verde y celeste), PET Cristal y PEAD (amarillo, blanco y mezcla). Una vez colocados los materiales en la cinta, los trabajadores van eligiendo los plásticos y los colocan en los diferentes grupos.

En cuanto a la situación en el Predio, como se indicó anteriormente, los materiales son clasificados como: PET, “soplado” (bidones de PEAD), “tute” (botellas de PET y bidones de colores, “bazar” (PP, PE, baldes) y “sachet” de leche. Es decir, en este caso se clasifica eligiendo por objeto, y no en busca de determinados materiales.

La situación podría mejorar en el caso de la Cooperativa CURA, si se provee de mejor tecnología de selección. Sin embargo, las condiciones con las que se trabaja en el Predio no permiten *a priori* mejorar el sistema.

Capítulo 2: Impacto en cantidades

2.1 Residuos no recuperables en Gral. Pueyrredón

Posterior a la recolección, la mezcla de bolsas negras y verdes son transportadas a los distintos módulos del Centro de Disposición Final de Residuos y colocados en rellenos sanitarios. Cada relleno sanitario cuenta con un sistema de impermeabilización del suelo que evita que el lixiviado filtre al suelo y se contaminen las napas de agua. Una vez descargados los residuos, se los distribuye con una topadora dentro de la celda de disposición final. Ésto combinado con la compactadora, genera capas de 30cm de espesor. Se estiman 3 pasadas de dicha maquinaria, para lograr una buena trituración y compactación de la capa de residuos, alcanzando una densidad de entre 0,9 y 1 ton/m³. Una vez alcanzado el nivel planteado, se cubre con un manto de suelo compactado, para evitar el ingreso de lluvia, la emanación de olores y la reproducción de insectos y permitir el libre crecimiento de vegetación. [26]

Según el último Informe Anual Ambiental (2018-2019) de la Municipalidad de Gral. Pueyrredón, no se cuenta con datos de la composición de los residuos dispuestos, dado que no se los clasifica al momento del ingreso al relleno sanitario. En el Gráfico 2 pueden observarse las cantidades dispuestas en el período comprendido entre mayo 2018 y abril 2019. [21]



Gráfico 2. Residuos Dispuestos [Ton]. Fuente: Informe Anual Ambiental 2018-2019. Municipalidad Gral. Pueyrredón. [21]

Se observa que la cantidad de residuos dispuestos no presenta grandes fluctuaciones, con excepción del mes de enero. Es lógico pensar que en este mes la cantidad de basura es mayor considerando que la ciudad recibe gran cantidad de turistas. Sin embargo, sería

esperable ver una mayor diferencia entre los meses de diciembre y febrero con julio y agosto, teniendo en cuenta que la recolección de residuos aumenta considerablemente en verano respecto del invierno.

2.2 Residuos recuperables en CURA

Los días martes y viernes se transportan residuos a la Planta de reciclaje Cooperativa CURA. Allí no solo reciben residuos transportados por la empresa Transportes 9 de Julio S.A., sino también de industrias que se encargan de transportar sus residuos recuperables a la planta, del Partido de Mar Chiquita y del Programa de Selección y Reciclado Interno del Municipio de General Pueyrredón. [21]

A continuación, en el Gráfico 3, se observan los datos del Informe Anual Ambiental 2018-2019, con los datos de cantidad de residuos descargados en la Planta de reciclaje en el período mayo 2018 a abril 2019. Es necesario recordar que no todos los descargados en CURA son materiales recuperables, sino que son mezclados al momento de la recolección. [21]

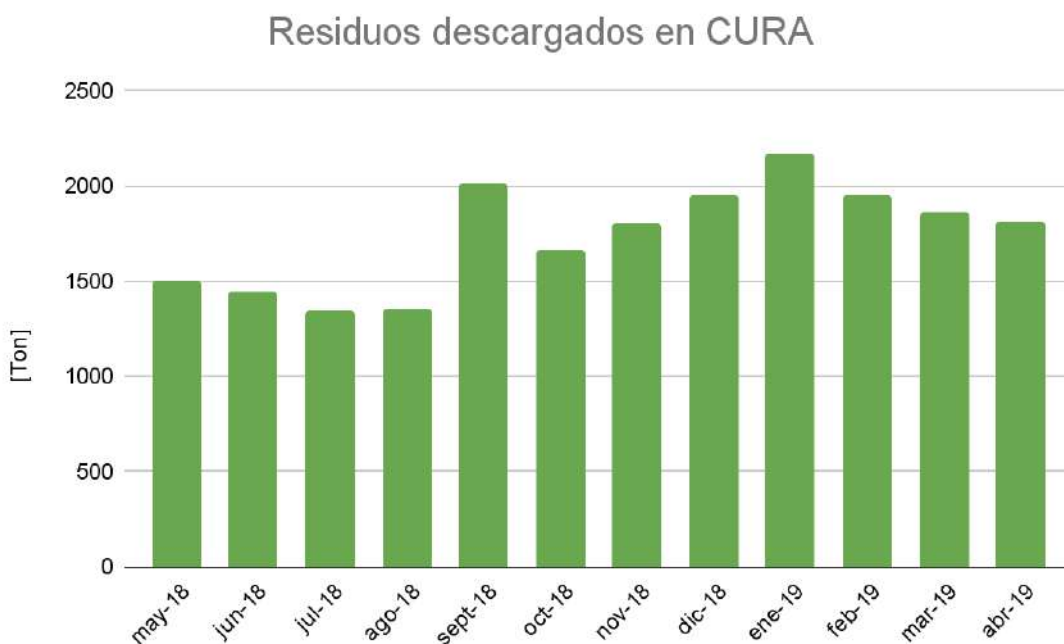


Gráfico 3. Residuos Descargados en CURA [Ton]. Fuente: Informe Anual Ambiental 2018-2019. Municipalidad Gral. Pueyrredón. [21]

Al analizar el Gráfico 3, se aprecia un aumento de la cantidad de residuos descargados en CURA en la época estival, a diferencia de la invernal. Esto puede estar relacionado con el aumento de la recolección en dicha época, que se debe principalmente al aumento temporario de la población al recibir turismo.

Dado que la principal actividad en la planta es la de separación y clasificación, se cuenta con la cantidad de materiales recuperados en el mismo período, según se indica en el Gráfico 4. [21]

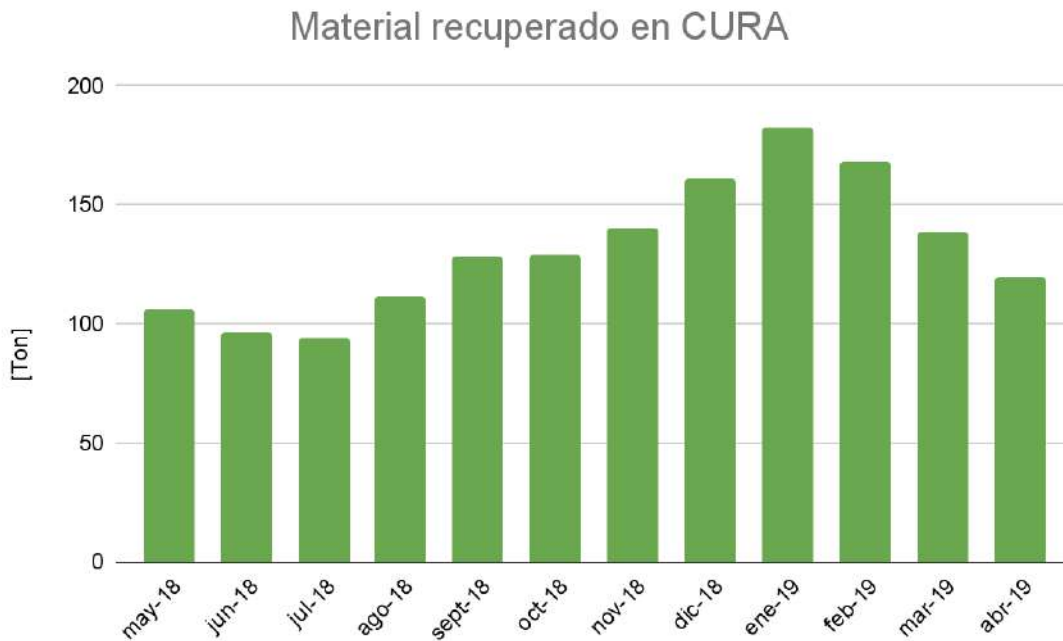


Gráfico 4. Material Recuperado en CURA [Ton]. Fuente: Informe Anual Ambiental 2018-2019. Municipalidad Gral. Pueyrredón. [21]

En el Gráfico 4, se puede observar la misma tendencia que el Gráfico 3 respecto a las diferencias en los meses calurosos de los invernales. Sin embargo, hay una gran diferencia entre las cantidades descargadas en CURA y las recuperadas, listas para la venta.

Si bien los datos anteriores permiten hacer una comparación entre los distintos meses del período analizado, no dan una idea general de la situación en los últimos años. Es por este motivo que se adjuntan a continuación (Gráfico 5) los datos de cantidad de residuos procesados en CURA y los materiales recuperados. Se representan valores mensuales promedio en cada uno de los años comprendidos entre 2013 y 2019. Es necesario aclarar que dicho valor corresponde a un promedio ponderado entre los valores mensuales del primer cuatrimestre de cada año. [21]

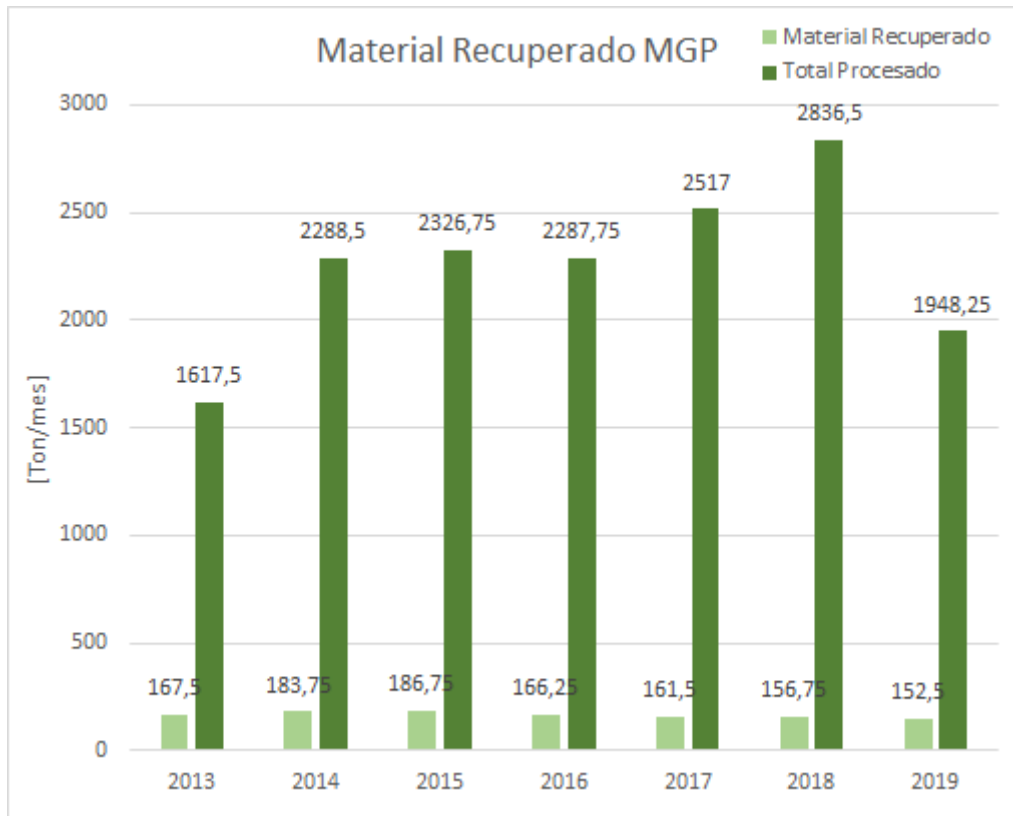


Gráfico 5. Material Procesado y Recuperado en CURA [Ton]. Fuente: Informe Anual Ambiental 2018-2019. Municipalidad Gral. Pueyrredón. [21]

Como se puede observar en el Gráfico 5, la cantidad de material recuperado en la planta no cambia con la cantidad de residuos procesados. En el caso del año 2018 fueron procesados 510 Ton más de residuos que en el 2015, sin embargo fue en ese último que se registró la mayor cantidad de materiales recuperados.

Se nota una gran diferencia al comparar la cantidad de material procesado en CURA con la cantidad que finalmente se recupera. Considerando que la separación no es obligatoria y que la recolección diferenciada no se cumple, ya que se retiran bolsas todos los días de la semana sin discriminar por color, la cooperativa recibe residuos mezclados. Sin embargo, este gráfico no puede tomarse como medida de la separación domiciliaria ya que son valores mensuales y la separación debe realizarse determinados días de la semana.

2.3 Eficiencia de la separación domiciliaria

Tal como fue mencionado anteriormente, la separación domiciliaria no es un programa obligatorio. Es por este motivo que aunque cualquier vecino deposite bolsas verdes o negras en el cesto de la vereda listas para su recolección, sin discriminar el día de la semana, el camión va a llevarse ambas. Es decir, que aunque se dé la separación domiciliaria, dentro del camión compactador se va a mezclar la basura. Esto se debe

principalmente a dos motivos: la no obligatoriedad de la separación domiciliaria y la ineficiencia de la recolección.

En el caso de la separación domiciliaria, se apela únicamente a la responsabilidad social. Esto hace que no se cumpla el programa en su totalidad. Además, no se lleva un censo de cuáles son las zonas que cumplen y cuáles no, de manera de realizar, por ejemplo, una campaña especial para alentar el programa. Al mismo tiempo, hay barrios de la ciudad de Mar del Plata en los que no circulan los camiones de residuos que recolectan residuos diferenciados, a pesar de que muchos vecinos realizan la separación.

En cuanto a la ineficiencia de recolección, se debe principalmente a que no se cumple que los camiones retiren determinadas bolsas. Es decir, algunos que retiren las bolsas negras y otros las verdes. Por lo tanto, el camión debe retirar cualquier bolsa sin discriminar el día. Entonces, aunque algunos vecinos cumplan con la separación en sus hogares, si la persona que vive directamente al lado no lo hace, resulta en vano hacerla ya que se mezclan los residuos dentro del camión.

Gracias al estudio de composición de residuos sólidos domiciliarios de la Ciudad de Mar del Plata realizado en 2014 por la empresa Tecsan, es posible medir la eficiencia de la separación domiciliaria. En el ensayo se realizó un muestreo de los RSU con el fin de determinar la composición y calidad promedio de los RSU de la Ciudad de Mar del Plata. A continuación, en el Gráfico 6, se muestra la composición de los RSU diferenciando entre los días de retiro de bolsas verdes (martes y viernes) y el resto. [27]

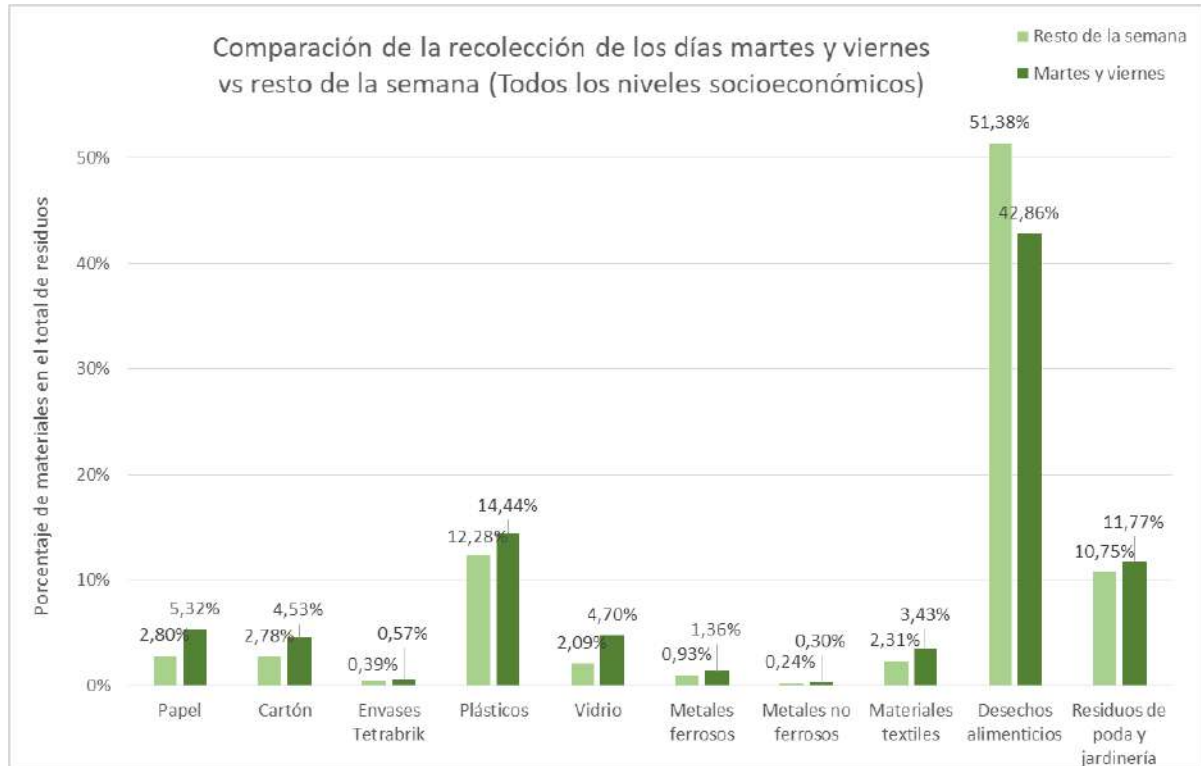


Gráfico 6. Comparación del porcentaje de materiales en el total de residuos, según la recolección de los días martes y viernes y el resto de los días. Fuente: Informe de estudio de composición de residuos sólidos domiciliarios de la Ciudad de Mar del plata Noviembre-Diciembre 2014 [27].

Como se puede observar en el Gráfico 6, no hay grandes aumentos en el porcentaje de materiales reciclables en los días martes y viernes. Esto evidencia la mala separación domiciliar que se da en la ciudad. Es decir, las bolsas negras contienen una cantidad de materiales recuperables muy similar a las bolsas verdes. Por ejemplo, en el caso de los plásticos que representan casi el 50% de los residuos recuperables que se desechan en los domicilios, el aumento en la cantidad porcentual los días martes y viernes es sólo del 2,16%.

2.4 Plástico que se recupera en Gral. Pueyrredón

Los plásticos son los residuos domiciliarios a ser recuperados de mayor proporción dentro de los residuos generados. Representan casi el 14% del total, y representan la mayor parte dentro de los recuperables (medido en peso, en volumen el porcentaje es mayor). Es por eso que se hace un análisis más exhaustivo.

A continuación se analizará el rol de los acopios en la ciudad. Es necesario aclarar que el siguiente análisis se realiza considerando únicamente los residuos plásticos y que los datos se obtuvieron como resultado de un relevamiento propio.

2.4.1 Acopios Relevados

En el caso del Predio, no fue posible conseguir datos de la cantidad de plástico que manejan. La asistente social informó que, durante una jornada laboral de 9hs en un día de verano, llegó a contar 27 camiones de plásticos que salían desde el Predio. Sin embargo, no se puede aproximar con este dato. En primer lugar porque se dio un día de verano, y al considerar que los trabajadores se duplican en esa época, puede que no se junte la misma cantidad que el resto del año. Además, se desconoce si los compradores transportan el material acopiado todos los días y si lo hacen a ese caudal.

Los materiales que se venden en el Predio, son llevados a diferentes acopios de la ciudad. En este caso se consultaron 5 acopios: Fénix, "Pablo Andino", Reciunión, Transporte y Reciclado y por último, "El Polaco".

En primer lugar fueron consultados los dos acopios de la zona del Predio. Por un lado, se visitó la Acopiadora **Fénix** (ubicada en Av. Antártida Argentina N° 7500). Un trabajador del lugar describió su metodología de trabajo: compran plástico a los trabajadores del Predio, luego lo separan y clasifican, lo prensan y lo venden en fardos. Según indicó, venden entre 6 y 12 fardos de plástico por día (cada fardo pesa 600kg) a recicladores de Buenos Aires. Además señaló que venden cualquier tipo de plástico, pero que reciben más dinero por el PET cristal. Por último, remarcó que no reciben bolsas verdes propias de la separación domiciliar.

Por otro lado, se consultó en el acopio "**Pablo Andino**" (ubicado en el barrio Monte Terrabusi). El dueño del lugar describió la actividad que desarrollan: compran bolsones de 25kg de plástico a los trabajadores del Predio. Luego lo separan y clasifican, lo prensan y

venden. También hacen una limpieza, según el estado de los materiales. Los bolsones contienen PET, soplado, "bazar", bidones, sillas. Venden unos 2000 kg diarios. Además indicó que los compradores no distinguen la calidad al momento de la compra. Las personas que trabajan ahí son vecinos del barrio.

Luego se consultó en el acopio **Reciunión S.A.** (ubicado en 12 de Octubre N° 7630). Un trabajador del lugar indicó que compran los materiales a trabajadores informales que recogen residuos de la vía pública y recicladores que se acercan al lugar. Su trabajo consiste en separación y clasificación, y un posterior prensado. Aproximadamente venden 10 toneladas de plástico por mes a recicladores de Buenos Aires. Consideran que se recupera un 20% del material que procesan, sin embargo se desconoce cómo se estima dicho valor. Además indicó que mucho material se desecha a causa de que no hay mercado en la ciudad, por ejemplo el poliestireno.

También se consultó el acopio **Transporte y Reciclado** (ubicado en Tres Arroyos N°251). Un trabajador indicó que sólo recuperan PET y que venden unas 35 toneladas mensuales.

Por último se consultó en el acopio **"El Polaco"** (ubicado en Francisco Canaro y Diarienzo). En el lugar se indicó que compran material a trabajadores del Predio. Trabajadores del lugar indicaron que compran PET, soplado y bidones. Además, su trabajo consta de separar y clasificar los materiales. En el caso del PET, separan las botellas por color (cristal, verde y celeste). También se encargan de compactarlo y luego lo venden. Aproximadamente venden un camión de fardos de plástico por día. De manera de poder utilizar el dato obtenido y llevarlo a números comparables con los datos de los demás acopios relevados, se considera que en cada camión se transportan 6 toneladas. Es decir, venden 6 ton/día, es decir unas 45 ton/mes.

2.4.2 Análisis de datos

Para poder realizar un análisis comparativo se grafican los datos recolectados (Gráfico 7). En el caso de CURA, se utilizan los datos del último Informe Anual Ambiental (2018-2019) y la composición de los materiales recuperados que se observan en el Gráfico 5. Además, se utilizan los datos obtenidos del relevamiento, considerando un valor promedio para llevarlos a una escala mensual, y así poder realizar una comparación entre ellos.

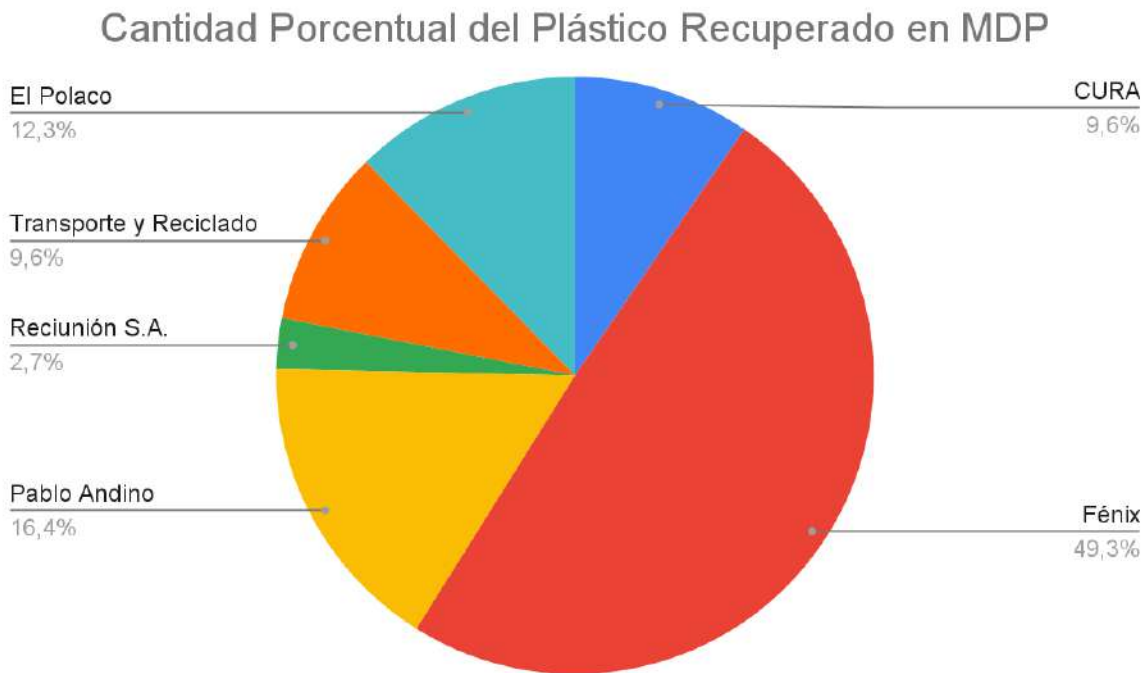


Gráfico 7. Plásticos recuperados en Mar del Plata. Fuente: Elaboración propia con datos propios y del Informe Anual Ambiental 2018-2019 [21].

En el Gráfico 7 se puede observar la cantidad de plástico recuperado en la ciudad de Mar del Plata en valores porcentuales. Específicamente, CURA recupera el 9,6% del total de plásticos recuperados, Fénix el 49,3%, “Pablo Andino” el 16,4%, Reción S.A. el 2,7%, Transporte y Reciclado el 9,6% y “El Polaco” el 16,4%. Es necesario aclarar que las cantidades fluctúan a lo largo del año, sin embargo la tendencia es marcada. En primer lugar se puede notar fácilmente que la Acopiadora Fénix es, sin duda, la que más cantidad trabaja. Seguido por “Pablo Andino”, “El Polaco”, Transporte y Reciclado, CURA y por último, Reción S.A..

Sin embargo, hay que tener ciertas consideraciones en la comparación. En el caso de CURA, recibe los residuos transportados por la empresa 9 de Julio S.A. Por otro lado, las acopiadoras Fénix, Pablo Andino y “El Polaco”, trabajan a partir de plásticos que compran a los trabajadores del Predio, es decir que no tienen ningún tipo de clasificación domiciliaria, sino que se encuentran mezclados con residuos orgánicos.

En el caso de Reción S.A., los plásticos con los que trabajan tienen un proceso de clasificación previa. Si bien una de sus actividades es la separación, los materiales que les llegan tienen un proceso de pre-clasificación, dado que trabajan con recuperadores informales de la vía pública o con personas que les venden determinados materiales.

El dato más relevante que se presenta en el Gráfico 7, es que el trabajo de la planta de recuperación operada por CURA, no tiene gran influencia en el mercado de reciclado de plástico que se da en la ciudad. Si bien cuenta con “privilegios” respecto de los acopios privados, ya que recibe desechos directamente del circuito formal de recolección y subsidios por parte del municipio, no es el principal proveedor de materiales plásticos. Sin

embargo, se realizan las mismas actividades que en los acopios privados, quienes trabajan en condiciones inferiores a las de los trabajadores de CURA y de manera informal.

2.4.3 Recuperación efectiva en Gral. Pueyrredón

2.4.3.1 Cantidades

Como se mencionó anteriormente, los plásticos representan el 14% de los residuos generados en los domicilios y representan la mayor parte de los recuperables. Es decir, en la ciudad se generan, aproximadamente, 3272,85 Ton/mes de plástico (dato de Informe Anual Ambiental 2018-2019). Al comparar este dato con la cantidad total del plástico recuperado en la ciudad, un 11,2% resulta efectivamente recuperado.

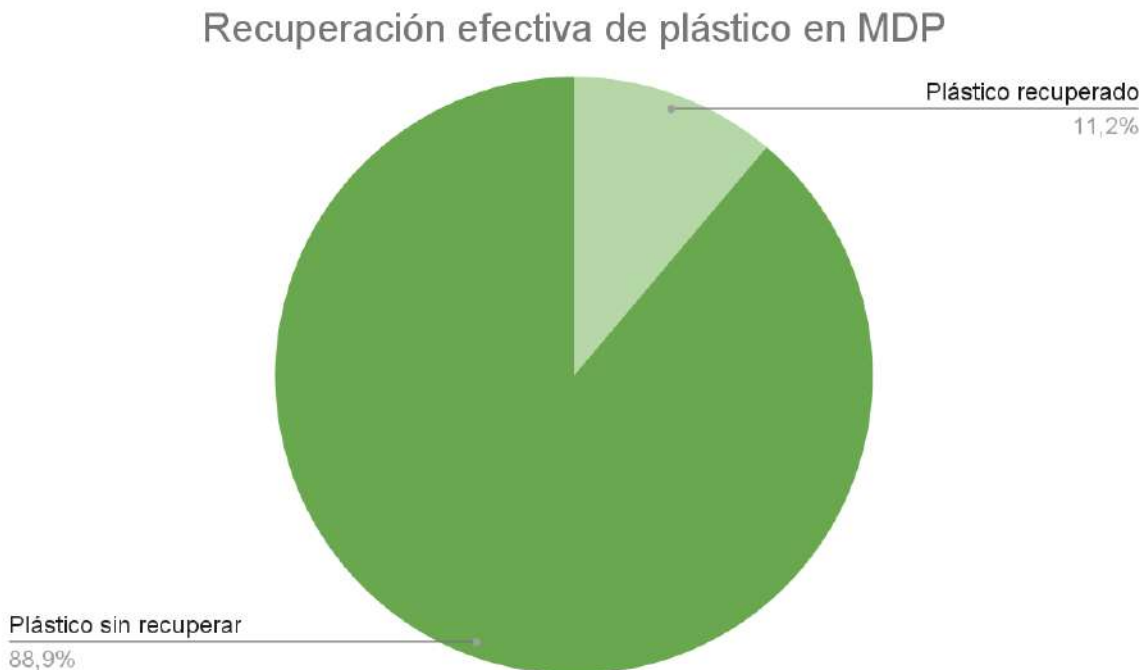


Gráfico 8. Plástico que efectivamente se recupera en Mar del Plata. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el Gráfico 8, sólo una pequeña porción de plástico se recupera en la ciudad. El total de plástico desechado se calcula a partir de la generación per cápita en la ciudad y de la composición de los residuos domiciliarios expuesta en la Tabla 7. En el caso del plástico recuperado, el total se obtiene de los datos del relevamiento realizado.

Se evidencia claramente la gran pérdida de recursos. Es decir, el acopio y reciclado de plásticos representa una actividad que incluye trabajadores, sumado al impacto ambiental. El porcentaje de plástico que se recupera en la ciudad es muy bajo, respecto de la cantidad total de plástico que se tira. Además debe considerarse que el valor de plástico recuperado ya incluye a los grandes generadores, que tienen una recolección diferenciada y, en general, realizan una buena separación.

Según el portal de noticias chequeado.com, en el mundo se producen 78 millones de toneladas de plástico anuales. Del total, el 40% termina en rellenos sanitarios o vertederos, el 32% en el ambiente (ríos, océanos), el 14% es incinerado y sólo se recicla el 14%. Del porcentaje que se recicla, gran parte se utiliza para obtener productos de menor calidad, como es la madera plástica, y sólo una pequeña porción del material entra en el proceso de reciclaje de circuito cerrado, es decir para fabricar productos similares. Entonces, de esas 78 millones de toneladas que se producen, sólo el 2% proviene de plástico reciclado y el 98% restante es plástico vírgen. [28]

En Argentina se recicla el 14,6% del plástico consumido, según datos de Ecoplas. Esto se refleja en la industria recicladora de plásticos que funciona al 40% de su capacidad, por falta de materia prima. Al considerar este último dato, el municipio de General Pueyrredón se encuentra cercano al porcentaje de reciclado de plásticos a nivel país. [28]

2.4.3.2 Materiales

Según el relevamiento realizado, en la mayoría de los acopios se recuperan botellas de PET, “soplado” (bidones de PEAD), “tute” (botellas de PET y bidones de colores) y “bazar”(PP, PE, baldes). En el acopio Transporte y Reciclado separan únicamente PET. De CURA se conoce la clasificación y cantidades de materiales que se recuperan, tal como se muestra en el Gráfico 1.

Inicialmente no se puede hacer una referencia de cuánto material se recupera de cada tipo, sobre todo en los acopios, donde no realizan un relevamiento por material. Podría llegar a asumirse que las cantidades que maneja CURA son potencialmente las mismas que trabajan los acopios que compran a los trabajadores del predio. Esto es porque en ambos casos se parte de los residuos domiciliarios, aunque a CURA lleguen camiones de zonas céntricas, donde se realiza una mejor separación que en las zonas periféricas de la ciudad, cuyos residuos llegan directamente al predio. Sin embargo, no serían datos correctos, ya que no se manejan valores concretos de los materiales recuperados en los acopios. Lo que sí pudo comprobarse durante el relevamiento es que lo que más se recupera es el PET. No sólo hay acopios que sólo trabajan PET, como el caso de Transporte y Reciclado, sino que en el caso de Fénix, por ejemplo, informaron que mayormente venden PET y en menor cantidad PEAD. Según se podría analizar cualitativamente, el plástico que más se recicla es el PET. Esta conclusión es lógica al tener en cuenta que es el plástico que tiene mayor tasa de costo beneficio, ya que tiene un alto valor en el mercado, respecto de un mismo peso. Es decir, un fardo de PET, que cuesta lo mismo transportarlo que un fardo de PP, vale más en el mercado.

De hecho, el PET es uno de los materiales más fáciles de reciclar, suponiendo que la limpieza, separación y clasificación no es un problema. Es un polímero ligero, maniobrable, barato y se utiliza en la mayoría de los envases de aguas y bebidas por su bajo consumo de energía, agua y menor huella de carbono. Además, es fácil de reciclar porque la cadena de polímero tiene buena resistencia térmica, por lo que no hay degradación de la cadena del polímero durante el proceso de reciclaje. Esto permite que el PET se recicle una gran cantidad de veces antes de que se vuelva inutilizable. [29]

Entonces, lo que llega a los acopios tiene que ver exclusivamente con lo que el mercado demande. Esto demuestra claramente que la composición de los residuos no es directamente la misma composición de los plásticos que se recuperan. De hecho, se desechan plásticos que son recuperables, pero si no hay demanda no van a ser recibidos en los acopios. Como es el caso del poliestireno, según el relevamiento realizado.

2.4.3.3 Precios

En la siguiente tabla se distingue el camino del reciclado del PET con su respectivo precio.

Tabla 10. Precios de subproductos del PET reciclado. Fuente: Empresas consultadas relevamiento.

Material	Precio [US\$/Kg]
1. Botellas de PET recuperadas	0,3
2. Botellas de PET enfardadas verde	0,35
Botellas de PET enfardadas cristal	0,45
3. Escamas de PET limpias verde	1
Escamas de PET limpias cristal	1,3
4. Pellets verde	1,2
Pellets cristal	1,5

El primer paso consta de la compra de las botellas recuperadas por parte de un acopio. Éste las selecciona, enfarda y transporta a la planta recicladora. Este proceso es el de menor valor agregado, tal como se observa en la Tabla 10. Luego, la planta muele las botellas y las convierte en escamas listas para vender, siendo el proceso de mayor valor agregado dentro de todo el proceso. Por último, se pelletizan para obtener una forma uniforme. Este producto es la materia prima para la fabricación de diversos elementos plásticos. En general, quienes fabrican los pellets son los mismos que obtienen las escamas.

Al analizar la Tabla 10, se puede concluir que son los recicladores finales quienes más ganancias tienen. Esto se concluye al considerar que compran los fardos a US\$0,35 - US\$0,45 y venden los pellets a US\$1,2 - US\$1,5.

Capítulo 3: Impacto en calidad

La última etapa del proceso del reciclaje le corresponde al reciclador final. En este marco es necesario conocer el procesamiento del reciclaje mecánico. En este caso, el proceso del plástico.

3.1 Recepción de fardos

El primer eslabón en la cadena del reciclaje mecánico es la compra de fardos por parte de empresas que se dedican al reciclado de plástico. Estos fardos pueden ser de botellas de PET, de films de PP, de bidones de HDPE, etc. En general, los acopios son quienes venden los fardos mencionados, tal como se verificó en el relevamiento realizado. En la Figura 6 se muestran los fardos de botellas, films, envases de alimentos y botellas de bebidas.



Figura 6. Fardos de botellas, film, envases de alimentos y botellas de bebida. Fuente: Los plásticos en la economía circular. 6ta edición. [17]

Ahora bien, los precios de los materiales varían según la forma en que se venden, la calidad, la limpieza, etc. Algunas propiedades que hacen variar el precio son [30]:

- *Transparencia y color:* al comprar plásticos de colores, sólo se podrán obtener plásticos de color oscuro luego del reciclado, lo cual limita su utilidad. Es por eso que es conveniente separarlos.
- *Limpieza:* cuanto mayor es la limpieza, mayor es el valor del plástico. Si se cuenta con plásticos impresos se reduce el precio, dado que debe eliminarse la tinta o utilizarlo para obtener plástico oscuro.
- *Resistencia:* se tiene en cuenta la resistencia de los materiales a diferentes exposiciones.
- *Clasificación:* de tenerse los materiales plásticos recuperados separados por colores, o por rígidos y flexibles, o por botellas y films, adquieren mayor valor, dado que ahorran tiempo y gastos a empresas recicladoras.

- *Acondicionamiento*: de manera de minimizar el costo de transporte, es importante que los materiales se encuentren compactados y enfardados.
- *Materiales extraños*: los fardos de materiales plásticos deben estar libres de materiales metálicos y/o etiquetas de papel.

En ese sentido, se consultó a la empresa Reciclar S.A. Desde la parte de compras, indicaron las especificaciones de recepción de envases de PET y PEAD/PP postconsumo:

PET

El material deberá entregarse correctamente clasificado, embalado en fardos (Botellas) o bolsones (Preformas), los que deberán clasificarse por color según se detalla:

- PET cristal
- PET verde
- PET celeste
- PET de envases de aceite comestible
- PET pintura (envases impresos)
- Preformas (Cristal/Verde/Celeste)

PEAD/PP

El material deberá entregarse correctamente clasificado, embalado en fardos (PEAD Soplado) o bolsones/cajas (PP Tapitas), los que deberán clasificarse por color , según se detalla:

- PEAD soplado clasificado por color (Natural, Amarillo o Blanco)
- PEAD soplado tuty (otros colores)
- PP inyección (Tapitas de gaseosa/Etiquetas)
- PEAD inyección

También indicaron que la materia prima entregada será controlada al momento de su recepción. Se determinará el contenido de contaminación, siendo considerado como tal todo aquel material que no sea el propio envase original. Además, los fardos deben contener material de un solo color, caso contrario se considerará como material correspondiente al de menor valor presente en el embalaje.

Una vez recepcionados los fardos, pasan por una rompedora de fardos. Ésta máquina actúa liberando los fardos de las cintas que los contienen y desarmándolos. Este paso es importante, ya que si no se encuentran bien desarmados, pueden entorpecer el proceso productivo.

3.2 Reciclaje mecánico, el proceso productivo

En la Figura 7 se describe el proceso en forma de diagrama de flujo.

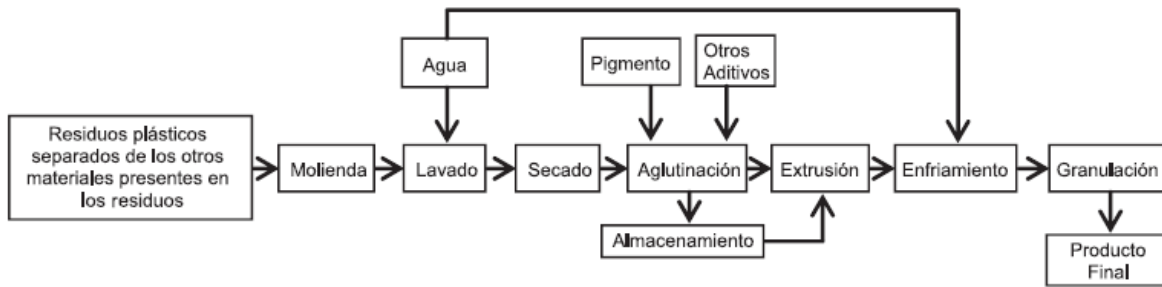


Figura 7. Diagrama de flujo del reciclado mecánico de plásticos. Fuente: Manual de Valorización de los Residuos Plásticos. 5ta Edición [5]

La primera etapa del proceso es la **molienda**. Se transportan los materiales neumáticamente hasta la garganta del molino, el cual posee cuchillas giratorias y fijas. Se reduce el tamaño del material hasta obtener piezas pequeñas de tamaño similar. El tamaño final depende de la tecnología usada, pero el tamaño puede ser desde “escamas” o polvo fino, aunque este tipo de tecnología posee un valor elevado. Es importante tener en cuenta que el material debe estar libre de objetos metálicos, ya que éstos dañan las cuchillas del molino. [31] [32] [33]

Luego viene la etapa de **separación por densidad**. Se realiza a partir del sistema de flotación, donde se aprovecha la diferencia en las densidades de los polímeros para poder separarlos. También se pueden separar plásticos de otros materiales, como por ejemplo en el caso de las botellas de PET, se separa por decantación las tapas de PP y las etiquetas de papel. En este caso, el PET se hunde ya que tiene mayor densidad que el agua y el PP, flota. También existen sistemas automatizados basados en las diferencias de gravedad específica, difracción de rayos x y disolución en solventes. [32] [33]

A continuación viene la etapa de **lavado**. Ésta es una etapa muy importante en el reciclado mecánico ya que permite eliminar las impurezas, con el fin de garantizar un excelente resultado final. Cualquier tipo de contaminación influye directamente sobre las propiedades del producto.

En primer lugar se efectúa un prelavado, momento en el que se eliminan los residuos superficiales. En esta etapa, se puede utilizar un “tanque de prelavado” de manera de eliminar la contaminación intensa de los materiales plásticos.

Luego se realiza una etapa de lavado más profunda, que puede efectuarse en caliente o frío, con agua o en seco. Esto depende del tipo de plástico. Además puede realizarse una limpieza mecánica, utilizando placas vibratorias o bocanadas de aire comprimido. También se puede hacer una centrífuga, no sólo para lavarlos, sino para también secarlos y clasificarlos.

Para elegir el método de limpieza, debe tenerse en cuenta el tipo de producto final que se desea alcanzar. Es decir, la elección del sistema de lavado adecuado depende de la calidad del material y la aplicación final.

Por ejemplo, las botellas PET se lavan con agua caliente para eliminar residuos de etiquetas o suciedad. En cambio, los envases de detergentes se limpian mecánicamente, para eliminar cualquier tipo de contaminación. En el caso de materiales que van a ser utilizados para recipientes de alimentos, reciben otras fases de limpieza para obtener un material de mayor calidad. [34]

Algunas aclaraciones: el uso de detergentes está limitado por una cuestión ambiental, dado que el agua que se utiliza debe ser tratada para ser reutilizada en el siguiente ciclo de lavado. Además se debe tener un sistema de purificación adecuado de aguas residuales para no contaminar el entorno. Por último, el uso de soda cáustica para el proceso de lavado es conveniente, debido a las bajas concentraciones necesarias y porque al quedar remanente en la disolución, se puede reutilizar en otros lavados. [31]

Posteriormente se llega a la etapa de **secado**. En esta etapa se busca eliminar los restos de humedad luego del proceso de lavado. Para ello pueden usarse secadores centrífugos (tambores diseñados para extraer la humedad por las paredes externas del equipo), de aire en contracorriente caliente o frío (circula entre el material picado). También existen sistemas de procesos simultáneos, es decir los que combinan los dos mencionados anteriormente. [32]

Esta etapa corresponde a la última del proceso de obtención de escamas. Puede considerarse un último paso, el tamizado de las escamas. Esto se realiza para eliminar fragmentos gruesos o muy finos de plástico, siempre respondiendo a las especificaciones del cliente. [31] En las Figuras 8 y 9 se muestran escamas de PET y PP de distintos colores.



Figura 8. Escamas de PET cristal, verde y celeste. Fuente: Imagen obtenida de la web.



Figura 9. Escamas de PP. Fuente: Imagen obtenida de la web.

No sólo se comercializan escamas de PET o PP, también puede ser de PS, PEAD, etc. Este producto puede utilizarse en los diferentes procesamientos de polímeros como son moldeo por inyección, extrusión, compresión o termoformado, de los cuales se obtiene un producto listo para el consumo. Otra opción es convertirlo en pellets, a partir del proceso de extrusión, para luego actuar de materia prima en otros procesos productivos.

Para la obtención de pellets, la etapa siguiente al secado es la **aglutinación**. No solo se completa el secado, sino que se reduce el volumen de material que va a ingresar a la extrusora. El proceso se realiza en una aglutinadora, que es una máquina rotativa, en la cual la fricción de los fragmentos contra la pared del equipo provoca el aumento de la temperatura, formándose una masa plástica. [35]

En esta etapa además, se adicionan distintos **aditivos**. Los más importantes para el reciclado son agentes de estabilización térmica y UV, de manera de evitar una degradación temprana. También los agentes de acople, que facilitan el proceso de mezclado y permiten obtener productos homogéneos y con buen desempeño mecánico.

- *Estabilizadores*: los plásticos son susceptibles al envejecimiento causado por la temperatura, el ambiente y la radiación. Dicha degradación influye no sólo a nivel visual/estético, sino también en el desempeño mecánico. Con el fin de reducir la velocidad de las reacciones de degradación se utilizan aditivos de estabilización frente al calor, la radiación y el procesamiento.
 - Estabilización térmica: Entre los aditivos de estabilización térmica y de procesamiento se destacan los fenoles con impedimento estérico (conocidos como antioxidantes primarios) y los fosfitos (antioxidantes secundarios), que además, tienen un efecto sinérgico.
 - Estabilización frente a radiación:
 - Absorbedores UV: Aditivos que absorben UV y lo liberan en forma de calor. Por ejemplo, benzofenonas y benzotriazoles.
 - Sistemas complejos: Previenen la degradación produciendo excitación de las especies cromóforas con la radiación UV que permite su transformación en otros tipos de energía menos perjudiciales. La mayoría son compuestos de níquel.
 - Trampas de radicales: Este tipo de agentes de estabilización acoplan especies reactivas (llamadas radicales) a su estructura, de manera de inactivarlas y así evitar el proceso de degradación. El grupo de compuestos más representativo son las aminas con impedimento estérico.
- *Compatibilizantes de mezclas*: Su función es crear una interfase de unión entre dos polímeros parcial o totalmente disímiles, evitando la formación de dos o más fases inmiscibles en la mezcla de proceso. Existen dos mecanismos básicos: la modificación superficial de uno de los polímeros con algún aditivo que promueva la reacción de acople con el otro polímero; o utilizar un agente adicional que suscite la interacción química y/o física entre los componentes de la mezcla. Por ejemplo, silanos y titanatos o polímeros funcionalizados, cuya naturaleza depende de la clase de los componentes a homogeneizar. [36]

También pueden agregarse otros agentes por ejemplo absorbentes de olor, agentes antiestáticos, antioxidantes, retardantes a la llama, absorbedores de humedad, modificadores de impacto, modificadores de viscosidad, cargas o colorantes. Estos son los que también se utilizan en el procesado de material virgen. [37]

A continuación la masa plástica ingresa a la etapa de **extrusión**. Se denomina extrusión al proceso de transformación en el que un material fundido es forzado a pasar a través de un cabezal, para producir objetos de sección transversal constante y longitud indefinida (por este motivo se lo denomina proceso continuo). El proceso se lleva a cabo en una extrusora, las más utilizadas son de simple o doble tornillo.

El plástico ingresa al proceso en forma sólida, y sale de la extrusora en estado fundido. En este caso, la extrusora actúa como una bomba, ejerciendo presión para hacer pasar al polímero a través de la boquilla del cabezal. Dentro de la extrusora se produce la fusión o plastificación del material, presurización del fundido, mezclado, desgasificado y conformado.

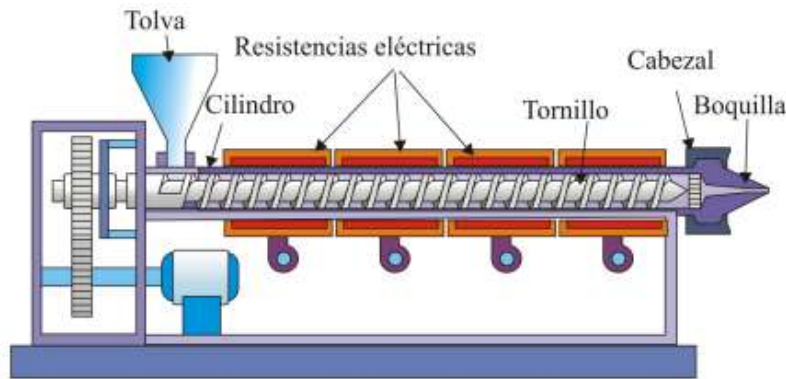


Figura 10. Diagrama de una extrusora simple tornillo. Fuente: Tecnología de polímeros [38]

En la Figura 10 se observa un diagrama general de una extrusora simple tornillo. Pueden distinguirse los componentes de la extrusora, que son una tolva de alimentación, cilindro, resistencias eléctricas, tornillo, cabezal y boquilla. El material ingresa por la tolva de alimentación en estado sólido y es el tornillo quien plastifica, presuriza y mezcla el material, girando en el interior del cilindro calentado por las resistencias eléctricas. En la parte del cilindro más alejada a la tolva de alimentación se coloca el cabezal, que contiene a la boquilla, la encargada de darle la forma final al fundido. [38]

Luego se realiza la etapa de **enfriamiento**. Las fibras/filamentos pasan por un baño de agua fría, momento en el que solidifica el material. Una vez enfriado, pasa por un **granulador**, obteniéndose “pellets”. [32]

3.3 Calidad del material reciclado

La mayoría de las propiedades mecánicas de los polímeros reciclados son inferiores a las de los materiales vírgenes. Esto se debe a que las cadenas del polímero pueden romperse debido al calentamiento repetido, a la fricción con las paredes de la extrusora, a la exposición de rayos ultravioletas o a la exposición a tensión.

Con el fin de realizar un control de calidad, la Universidad de California desarrolló un protocolo de prueba. Éste proporciona métodos de prueba que son consistentes, confiables, prácticos, válidos, reproducibles y económicamente viables. Incluye, además, estándares de calidad que permiten, a cada empresa, evaluar la calidad de los materiales plásticos reciclados que producen.

El protocolo de prueba garantiza la precisión de los datos e indica las propiedades de prueba específicas que los proveedores suelen elegir con fines de control de calidad, para garantizar que el reciclado cumpla con los estándares de la empresa. [39]

3.3.1 Plan de prueba

El plan de prueba es una parte fundamental dentro del protocolo. Se establecen los niveles de calidad aceptables por la empresa. El plan identifica los procedimientos de prueba clave, el orden en el que se ejecutarán las pruebas, el método para tomar muestras de los materiales plásticos y la forma en que se informan los resultados. Con el plan se da una uniformidad en los ensayos de prueba y estandarización para los resultados.

Se establecen planes según sea el producto de plástico reciclado, ya sean botellas, bolsas, láminas, etc. [39]

3.3.2 Garantía de calidad del laboratorio

Dentro del protocolo se identifican el número de muestras necesarias para cada prueba y la frecuencia de toma de muestras. El laboratorio que se utiliza para probar los materiales debe tener suficiente garantía de calidad incorporada en sus procedimientos mediante el uso de normas y procedimientos de ASTM al realizar las pruebas. Es fundamental la documentación de los resultados de las pruebas, que además deben mantener un formato uniforme y coherente.

Las pautas de garantía de calidad se implementan en las instalaciones de fabricación del material, con documentación y pruebas del producto a medida que se produce. La documentación se necesita en el momento de clasificación del material, durante la extrusión/pelletización y durante el almacenado de los pellets. Las pruebas se realizan a los pellets almacenados.

Las pautas recomiendan cinco grados de calidad para el material. El fabricante puede elegir qué grado de material producir. Los distintos niveles de calidad requieren diferentes cantidades de documentación y pruebas a lo largo del proceso de fabricación. [39]

- **Grado 1:** Es una calidad de polímero casi virgen que presenta una película sin lentes ni geles² de más de 0,010 pulgadas y menos de 15 geles visibles por pulgada cuadrada. Es aceptable para fabricar bolsas de basura. Los estándares de garantía de calidad son iguales a las de grado 3.
- **Grado 2:** Esta es una película de buena calidad que se puede convertir fácilmente en película soplada y no tiene lentes ni geles duros que sean visibles. Además, no hay geles blandos de más de 0,020 pulgadas. Sin alteraciones visibles del flujo. Menos de 65 geles visibles por pulgada cuadrada. Es aceptable en aplicaciones de

² “Los geles son pequeñas masas de plástico que contienen productos de polimerización cruzada entre moléculas vecinas. Como las uniones entre estas moléculas son de carácter químico, no son reversibles y por lo tanto no son susceptibles de fundirse por exposición al calor.” Fuente: Serrano, *El control de la formación de geles en el proceso de extrusión*, 2005. <https://www.plastico.com/temas/El-control-de-la-formacion-de-geles-en-el-proceso-de-extrusion+3041437>

láminas y películas más gruesas. Los estándares de garantía de calidad son iguales a las de grado 3.

- **Grado 3:** Es una calidad de película aceptable que se puede convertir fácilmente en película soplada, no tiene lentes pero sí geles que son visibles, aunque a un nivel moderado. La película presenta geles duros con diámetros mayores a 0,015 pulgadas, geles blandos mayores a 0,032 pulgadas y sin alteraciones visibles del flujo. Los números y frecuencias de recuento de gel tienen valores máximos de 65 a 70 geles por 50000 pulgadas cuadradas. Nota: los geles blandos se pueden deformar con una ligera presión aplicada. Es aceptable en aplicaciones de láminas y películas más gruesas. Las prácticas estándar de garantía de calidad se realizarán cada diez cajas de material, cuando se agreguen materiales plásticos y aditivos adicionales al plástico reciclado. Las pruebas a realizar son: Melt Index, Densidad, Melt Flow, Humedad, Olor y Color. Además, se deben realizar inspecciones y evaluaciones adicionales de geles duros y blandos de una muestra de película extruida de 1 milésima de material reciclado al 100%.
- **Grado 4:** La película no tiene lentes, ni geles duros de más de 0,00015 pulgadas ni blandos de más de 0,032 pulgadas. Los geles tienen ligeras alteraciones visibles del flujo. Es aceptable para ser utilizado en aplicaciones de madera plástica y en envases rígidos. No es aceptable para su uso en aplicaciones de bolsas de basura, porque presenta una película que tiene una gran cantidad de geles que hacen que la apariencia sea inaceptable. En este caso, se requiere que el material reciclado esté certificado para contenido post consumo. Además, se deben realizar pruebas para determinar la resistencia a la corrosión bajo tensión.
- **Grado 5:** Este grado puede usarse para aplicaciones de baja calidad y no es apropiado para envases de alimentos. La película tiene mala calidad y presenta una película que tiene lentes, geles de más de 0,032 pulgadas y alteraciones visibles del flujo alrededor del gel. Es aceptable para ser utilizado en aplicaciones de madera plástica y algunos envases de embalaje rígidos que no se utilizan para materiales a base de aceite. No es aceptable para usarse en aplicaciones de bolsas de basura. En este caso, se requiere que el material reciclado esté certificado para contenido post consumo. Además, se deben realizar pruebas para determinar la resistencia a la corrosión bajo tensión.

En la Tabla 11 se pueden observar los diferentes ensayos a llevar a cabo para los materiales reciclados de grado 1, 2 y 3.

Tabla 11. Ensayos experimentales a llevar a cabo para los materiales reciclados de grado 1, 2 y 3.
Fuente: Post consumer Resin Quality Assurance and Testing Protocol [39].

Ensayo	Método y condiciones	Frecuencia típica de ensayo	Rango aceptable de resultado	Manipulación de muestras
Melt Index	ASTM D1238-88	Cada 5 cajas o según lo acordado. Promedio de 3 muestras	dentro de la misma muestra: +/- 15% dentro del total de muestras: +/- 30%	Retirar 200 gr de material. Seguir la norma.
Melt Flow Ratio	ASTM D1238-88 Condition E	Una vez por campaña	Cambio de MFR de preextrusión a postextrusión <10%	Retirar 200 gr de material. Seguir la norma.
Gravedad específica	ASTM D792-91 o ASTM 1505	Cada 5 cajas o según lo acordado	+/-1%	Retirar 200 gr de material. Seguir la norma.
Densidad		Cada hora		
Nivel de humedad	ASTM D-4019-88	Cada 5 cajas o según lo acordado	<750ppm	Retirar 200 gr de material. Seguir la norma.
Uniformidad de pellets		Cada 5 cajas o según lo acordado	+/-10%	Retirar 200 gr de material. Contar la cantidad de pellets por gramo de muestra. Hacer 5 repeticiones por prueba.
Recuento de geles	ASTM D 3351	Cada 5 cajas o según lo acordado	La cantidad y los tamaños aceptables de geles se enumeran en las especificaciones para los grados de calidad 1, 2 y 3.	Tomar una muestra extruida de 0.001 x 2 pulg. (Mínimo) Hacer recuento de gel y tipos de gel.
Temperatura de fusión		Cada hora		Medido en la extrusora.
Nivel de antioxidantes	TBD	Según lo solicitado por la evaluación		
Resistencia al impacto	ASTM D 1709-91	Una vez por lote o cada 12 hs	Según requerimiento del interesado	Seguir la norma.
Resistencia al desgarro	ASTM D 1922-89	Una vez por lote o cada 12 hs	Según requerimiento del interesado	Seguir la norma.

3.3.2.1 Métodos de prueba

Melt Index/Melt Flow

El Melt Index, es un indicador de la viscosidad del material, siendo la viscosidad la resistencia de los materiales a fluir. Por lo tanto, el polímero con un melt index alto indica un material con alto flujo, mientras que uno bajo, refleja que el plástico es muy viscoso.

Se mide en g/10 min. Es definido como la cantidad de material (en gramos) que fluye a través del orificio de un dado capilar en 10 minutos, manteniendo constantes presión y temperatura estándares. El ensayo se realiza en un reómetro capilar, donde se calienta el material hasta una determinada temperatura. Luego, aplicando una determinada presión, se fuerza al material fundido a fluir a través del orificio de un capilar durante 10 minutos. Posteriormente se mide la cantidad de material que fluyó en ese tiempo. El procedimiento para ejecutar la prueba se detalla en ASTM D1238.

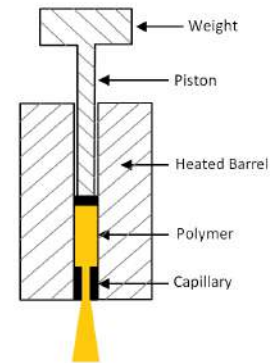


Figura 11. Prototipo ensayo Melt Flow Index. Foto de la web.

Una vez obtenido el índice del material, es fácilmente comparable con valores de referencia. Se deben tener en cuenta los valores aceptables que se muestran en la Tabla 11. [39]

Gravedad específica/Densidad

La gravedad específica es la relación entre la densidad de los materiales y la del agua desionizada a 23°C. Se pueden utilizar varios métodos para medir la densidad de un material plástico. En el caso de la norma citada en la Tabla 9, el ensayo implica pesar la muestra de plástico en el aire y luego en agua mientras se sumerge. La densidad es la relación de los dos, ya que la masa de la muestra mientras está sumergida en agua es igual al volumen de agua desplazado por el material.

Una vez obtenido el valor de gravedad específica, es fácilmente comparable con valores de referencia. Se deben tener en cuenta los valores aceptables que se muestran en la Tabla 11. [39] También puede compararse el valor de la densidad, con la del polímero virgen.

Nivel de humedad

Existen dos métodos principales de medición del nivel de humedad en polímeros: por titulación y por evaporación. El primero hace referencia al método de Karl Fisher, que es el método de comprobación estándar de ASTM. Opera bajo el principio de que el agua tendrá una reacción química única en contacto con una mezcla particular de agentes químicos. La muestra se disuelve o suspende en un disolvente adecuado que no contiene agua (suele emplearse metanol seco) y se añade el reactivo, que contiene yodo, con una bureta

automática. El agua de la muestra reacciona con el reactivo, hasta que se ha consumido en su totalidad, y se detecta yodo libre en la disolución. [39] [40] [41]

Existen dos métodos diferentes basados en la reacción con el yodo: uno es la titulación volumétrica y el otro es un método de titulación coulombimétrica. En el primero, el yodo se disuelve en el reactivo y el contenido de agua es determinado midiendo la cantidad de yodo consumido como resultado de la reacción con el agua. En la titulación coulombimétrica, el yodo es producido por la electrólisis de un reactivo de Karl Fischer que contiene al ión yoduro. El contenido de agua en una muestra puede ser determinado midiendo la cantidad de electricidad que se requiere para la producción de yodo durante la titulación. [42]

Sin embargo, el método de Karl-Fisher no es adecuado para usarlo en la industria durante la producción de 24 horas del día, los 7 días de la semana. Como alternativa ASTM ha establecido el estándar ASTM D6980. Este método es muy sencillo, se debe medir la masa del polímero al inicio de la medición, colocando la muestra sobre un contenedor. Posteriormente, se coloca el contenedor en una base con calefacción dentro de una pequeña cámara con sensor y lector. Al elevar la temperatura, comienza la evaporación del agua y suena una alarma cuando el sensor ya no detecta un cambio significativo de peso en el material. Luego se vuelve a pesar. La diferencia entre las masas, define el contenido de agua. [40] [41]

Uniformidad de pellets

Según el protocolo, se deben retirar 200 gr de muestra. Se deben contar la cantidad de pellets que forman 1 gr, y debe repetirse el ensayo 5 veces.

Recuento de geles

El recuento de geles se realiza una maquinaria con una cámara CMOS. El tamaño de los puntos que se pueden detectar depende de los píxeles de la cámara y del ancho del film a analizar. Está vinculado a un software avanzado que permite seleccionar el tipo de manchas que desea detectar para que, por ejemplo, las manchas de pigmento puedan distinguirse de los geles. [44] La cantidad de geles determina el grado de reciclado, según se indicó anteriormente.

Resistencia al impacto

En la Tabla 11 se hace referencia a la norma ASTM D1709-91. Ésta hace referencia al ensayo “tipo dardo”. El principio básico del ensayo es someter a la muestra al impacto de una masa conocida (dardo) que cae desde una altura determinada. Se emplea para medir la energía que se requiere para romper una película por el impacto de un dardo en caída libre bajo condiciones específicas. La energía se calcula a partir de la ecuación de energía potencial gravitatoria $E=m.g.h$. Una vez obtenido el valor, se debe comparar con valores de referencia. [45]

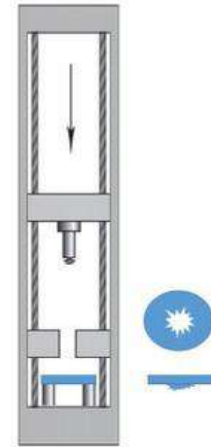


Figura 12. Prototipo ensayo de impacto tipo “dardo”. Foto de la web.

Otro ensayo muy común para medir la resistencia al impacto es el ensayo Charpy. Éste ensayo se realiza en probetas de prueba del material a analizar. El ensayo consiste en golpear la probeta con una masa de peso conocido, acoplada al extremo de un péndulo de longitud conocida. Se deja caer la masa desde una determinada altura, la cual se controla la velocidad de aplicación de la carga en el momento del impacto. La energía absorbida de la probeta se determina a través de la diferencia de energía potencial de la masa antes y después del impacto. [46] Una vez obtenido el valor, se debe comparar con valores de referencia.

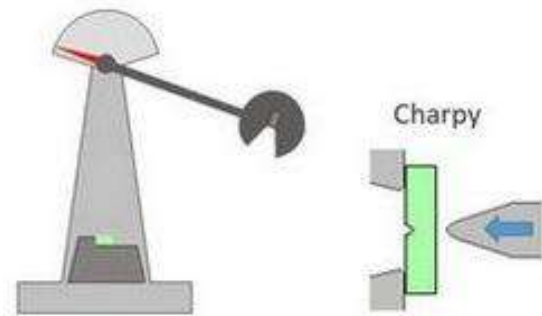


Figura 13. Prototipo ensayo de impacto tipo Charpy. Foto de la web.

Resistencia al desgarro

En el caso de la norma establecida en la Tabla 11, hace referencia a un ensayo para películas. El ensayo se realiza por el método Elmendorf. La preparación de la muestra consta de cortar las películas en forma rectangular y realizar una hendidura en el centro del borde perpendicular a la dirección a ensayar. Básicamente se eleva un péndulo hasta cierta altura y luego se suelta para partir en dos partes la película de muestra al caer el péndulo, y se registra la energía que ocasionó el rasgado, es decir, la resistencia que ofrecen las películas plásticas al desgarro. [47]

Para el caso de medición de la propiedad en probetas, se puede realizar el ensayo en una máquina de tracción. El ensayo determina la fuerza necesaria para propagar el desgarro de un corte en una probeta con una hendidura definida. La muestra se coloca en los agarres del probador, que luego ejercen una fuerza de tracción uniforme hasta el punto de ruptura. Esta fuerza se puede dividir por el grosor de la muestra para llegar a la resistencia al desgarro de esa muestra en particular. [48]

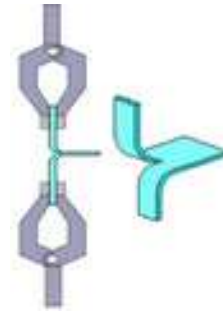


Figura 14. Prototipo ensayo de desgarro. Foto de la web.

3.3.2.2 Otras alternativas

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Es un ensayo que determina las propiedades térmicas de los polímeros (temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión, calor de fusión y calor específico). En este ensayo se coloca una pequeña muestra en una pequeña cámara y se calienta a un ritmo constante. Se mide la energía en la cámara a medida que se calienta la muestra. Si la muestra sufre un cambio de fase la cantidad de energía en la cámara cambia. El cambio de energía se registra e identifica la temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión. Cada plástico tiene sus temperaturas características. [39]

Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Este ensayo se usa para identificar plásticos y además proporciona información cuantitativa sobre aditivos. Ésta técnica proporciona información sobre la estructura química y requiere una pequeña cantidad de material. Se debe colocar una muestra de plástico en forma de película o lámina delgada en una cámara que permite que un haz de luz la atraviese. El haz de luz varía de baja frecuencia a alta frecuencia y se registra la reflectancia resultante. [39]

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Esta técnica se utiliza para identificar características microscópicas de polímeros y rellenos. Es un método para obtener imágenes de alta resolución de superficies. Es una técnica que se utiliza de forma rutinaria para caracterizar la morfología del polímero y las superficies fracturadas. La SEM se puede utilizar para identificar la adhesión entre polímeros y refuerzos o aditivos de relleno. [39]

Análisis Termogravimétrico (TGA)

Es una técnica que se utiliza para determinar cuantitativamente el porcentaje de relleno. Es un método muy útil para determinar cantidades de contaminantes en plásticos reciclados. Se mide la masa de la muestra mientras ocurre un cambio de temperatura a velocidad constante. Las curvas térmicas resultantes muestran la pérdida de peso del

material, medido en porcentaje en peso, y la temperatura. El cambio de masa a una determinada temperatura, refleja el tipo de material que se trata. [39]

Capítulo 4: Alternativas

El reciclado mecánico no es la única opción para el manejo de los residuos plásticos. Existen otras alternativas de manera de aprovechar los recursos, evitar el uso excesivo de los rellenos sanitarios y disminuir la contaminación ambiental. Entre las alternativas usadas a nivel mundial y a escala industrial se encuentra la recuperación energética y el uso de plásticos como materia prima en la coquería, altos hornos de hierro y hornos de cemento.

4.1 Recuperación energética

En este tipo de alternativa se utilizan los residuos plásticos como combustible para generar energía eléctrica y calefacción, a través de la combustión, aprovechando el poder calorífico de los plásticos. Este proceso se realiza con tecnología limpia, que filtra los gases nocivos para el medio ambiente. [49]

La recuperación energética cierra el ciclo de la energía para los productos plásticos. Es decir, para producir un producto plástico se usa energía del gas o petróleo como materia prima, luego se producen envases plásticos que se destinan al uso industrial o comercial. Una vez que los envases se desechan, dado que ya no pueden volver a entrar al ciclo de reciclaje, se envían como materia prima del proceso de combustión, donde se obtiene energía. A modo de ejemplo, la combustión de un pote de yogurt de poliestireno es equivalente a la energía consumida por una lámpara incandescente de 40 watts durante una hora. [50]

Entonces, se puede ver a los plásticos como un reservorio de energía al igual que combustibles sólidos, debido a su alto poder calorífico. En la Figura 15, se puede distinguir el poder calorífico de los residuos plásticos, respecto de otros materiales.

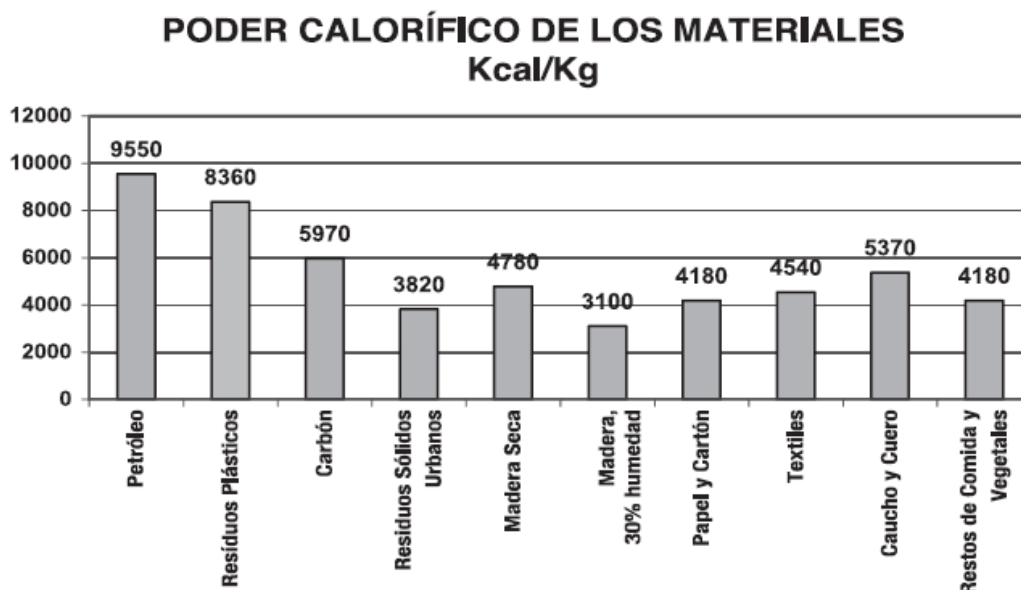


Figura 15. Poder calorífico de materiales. Fuente: Manual de Valorización de los Residuos Plásticos. [5]

El proceso más utilizado es el sistema de combustión con parrilla de combustión o rejilla móvil. En una caldera de vapor se emiten gases calientes de combustión que son utilizados para calentar agua y producir vapor para el funcionamiento de turbinas (esto es para generar electricidad) o son enviados para proveer calefacción.

El otro método es el sistema de lecho fluidificado. En este, los RSU se queman en un lecho fluidificado con el aire de combustión. Este sistema requiere que los RSU sean pretratados mediante molinos o trituradores para reducir su tamaño para poder mantener el lecho fluidificado. [5]

Características de la recuperación energética:

- Consideraciones ambientales: Luego de extraer el calor de los gases, se los purifica en un sistema de alta tecnología. Se reduce el volumen de los RSU en un 85-90%, que son las cenizas producidas en la combustión. Éstas cenizas son utilizadas luego para la construcción de rutas o una capa de cobertura en los vertederos.
- Contribución a la disminución de gases de efecto invernadero: Aproximadamente se evita la emisión de una tonelada de CO₂ por cada tonelada de RSU tratados en las plantas de combustión con recuperación de energía. Los factores son:
 - + Evita emisiones de gas metano de los rellenos sanitarios. Estas emisiones tienen 23 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono.
 - + Evita la emisión de CO₂. Esta se hubiese generado al quemar combustibles fósiles.
- Consideraciones económicas: las plantas actuales tienen capacidad para procesar entre 1000 y 2000 toneladas por día de RSU. Una cuarta parte de la inversión está destinada a la purificación de gases emitidos por la chimenea.

4.1.1 Situación en el mundo

4.1.1.1 Europa

Europa es donde más se lleva a cabo la recuperación energética. Cuentan con un total de 492 plantas de recuperación, dentro de los cuales el 28% están destinadas a combustión con generación de energía. Aproximadamente 90 millones de toneladas de RSU se usan como combustible. [12]

En la Figura 15 se observa gráficamente cómo se distribuye, porcentualmente, la recuperación energética, el reciclaje mecánico y el uso de vertederos en los diferentes países europeos.

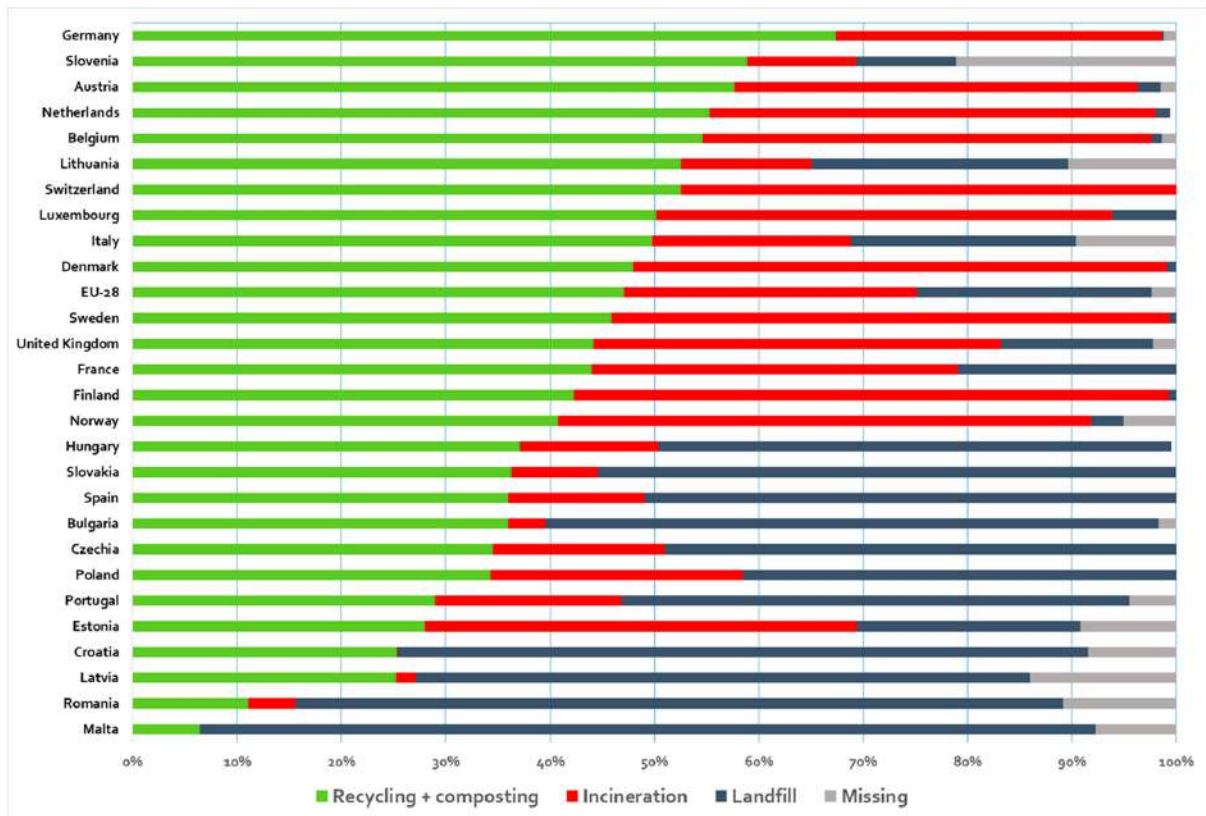


Figura 16. Tasa de reciclaje, recuperación energética y depósito en vertederos de residuos plásticos post consumo en Europa, 2018. Fuente: Waste-to-Energy in the EU: The Effects of Plant Ownership, Waste Mobility, and Decentralization on Environmental Outcomes and Welfare. [51]

En la Figura 16 se observan grandes diferencias entre los distintos países europeos. En el caso del porcentaje de incineración, aquellos con alto porcentaje son Finlandia, Alemania, los Países Bajos, Bélgica, Dinamarca y Austria. [51] Es importante destacar que aquellos con mayor uso de esta técnica, son los que cuentan con políticas públicas que impiden el uso de vertederos como alternativa para la eliminación de residuos (Finlandia, Noruega, Bélgica, Luxemburgo, Dinamarca, Suecia, los Países Bajos, Alemania, Austria y Suiza) [12]

La realidad de las plantas es diferente en cada país de Europa. En el caso de Alemania, se pueden encontrar plantas que dependen tanto de capitales públicos como de privados. En Dinamarca la mayoría de las plantas son propiedad de las autoridades locales. En Suecia, las empresas privadas que cotizan en bolsa controlan las plantas más grandes y eficientes. En Austria, son las empresas controladas por el municipio quienes gestionan las principales plantas. [51]

4.1.1.2 Japón

Japón es un país con muy pocos recursos naturales para producir energía y cuenta con poco territorio para establecer rellenos sanitarios. Debido a la escasez de petróleo y gas, fue necesario buscar alternativas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos. Por este motivo, este país recurre fuertemente a la recuperación energética. [12]

De hecho, Japón dominó más del 60% de la industria de Asia y el Pacífico para la incineración de residuos en el año 2019, contando con 380 plantas con este fin. En los últimos años, se ha producido un importante crecimiento en el número de plantas de incineración de residuos, debido al aumento en la generación de éstos y a que se superó la capacidad de los vertederos.

Es importante destacar que Japón recicla el 84% de sus residuos plásticos y se estima que el 60% de estos residuos son incinerados. A partir de 2018, la electricidad generada por residuos industriales (17248 GWh) era muy superior a la generada a partir de residuos municipales (1719 GWh). Esto demuestra la importancia de la generación de energía a partir de los desechos industriales. [52]

4.1.2 Plantas en EEUU, Europa y Japón

En la Figura 17 se muestra un prototipo de las plantas de recuperación energética usadas en Europa, EEUU y Japón.

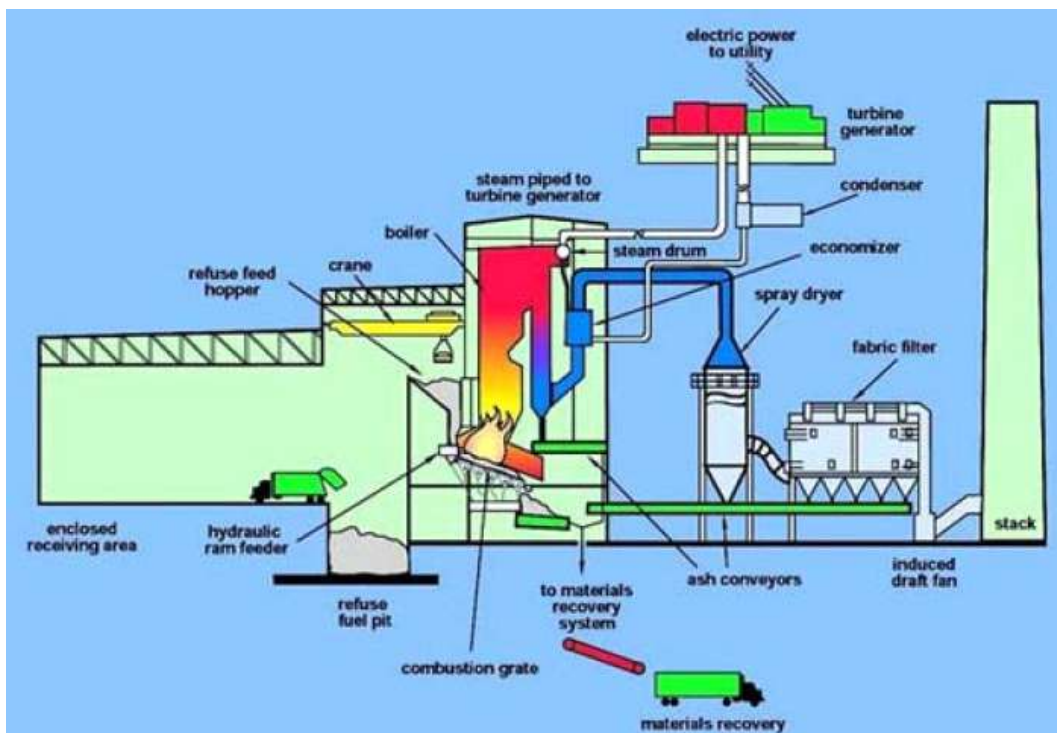


Figura 17. Prototipo de planta de recuperación energética en EEUU, Europa y Japón. Fuente: Recuperación energética de los residuos plásticos. [50]

Se pueden definir diferentes etapas/idades dentro de la planta: [50]

1. Control y registro de los residuos: Se pesan y se registran los residuos que ingresan en la planta. De manera de controlar la combustión, se registran los residuos plásticos que forman parte de la corriente de residuos.
2. Reducción de tamaño, selección e inspección de los residuos: Se realiza una clasificación de los residuos.
3. Descarga y tolva de residuos: Se descargan los residuos en una tolva. Tiene como finalidad mezclar o homogeneizar los residuos antes de ingresar al horno.

4. Sistema de alimentación: una vez homogeneizados, se transportan los residuos al horno utilizando grúas.
5. Horno de combustión: En primer lugar se seca el residuo, y luego se quema. Luego se completa la combustión en unas cámaras. Los gases residuales se queman en una cámara de post combustión.
6. Sistemas de recuperación de energía: Se recupera la energía como electricidad, calor o vapor, dependiendo del mercado local.
7. Remoción de cenizas y otros residuos sólidos: Se recolectan y transportan las cenizas. Luego se tamiza y selecciona y se usa como carga en la construcción de caminos, mezcla con cemento, etc. En el caso de que queden residuos, se los separa y envía a un relleno sanitario especial.
8. Sistema de control de la contaminación ambiental: Consta de precipitadores electrostáticos o filtros de manga para separar físicamente el polvo de los metales pesados. Además, los óxidos de nitrógeno y dioxinas se separan por filtros especiales o de carbón activado.
9. Chimenea: El gas tratado se expulsa por la chimenea. Allí se colocan analizadores, que miden la cantidad de impurezas que se emiten al ambiente, para cumplir con las normas ambientales de cada país.

4.1.3 Impacto ambiental de la recuperación energética

Para poder tener claro cuál es el impacto ambiental de la recuperación energética (Waste to Energy/WtE) se puede comparar las emisiones a la atmósfera que se originan en éstas, con las que se originan en plantas que usan combustibles fósiles para la generación de energía.

En la Tabla 12 se muestran las emisiones a la atmósfera que se generan en plantas que utilizan carbón, petróleo, gas natural y las plantas WtE, en kilogramos por megawatt hora producido.

Tabla 12. Emisiones a la atmósfera de plantas WtE comparadas con plantas que utilizan combustibles fósiles. Fuente: Recuperación energética de los residuos plásticos. [50]

Tipo de combustible	Emisiones a la atmósfera		
	Dióxido de Carbono [kg]	Dióxido de Azufre [kg]	Óxidos de Nitrógeno [kg]
Carbón	1020	5,9	2,7
Petróleo	758	5,4	1,8
Gas Natural	515	0,045	0,77
Waste to Energy	380	0,36	2,45

Como se puede observar en la Tabla 12, si bien las plantas WtE generan contaminantes, lo hacen en menor medida que aquellas plantas que utilizan combustibles fósiles.

Dependiendo de la calidad de los RSU, es probable que se deba hacer una selección o clasificación previa, de manera de separar metales, papel y cartón, etc. Es importante destacar que los residuos plásticos cumplen un rol fundamental en el WtE porque aportan gran parte del calor de combustión que permite el funcionamiento de la central térmica. [50]

4.2 Coquería

En Japón existen plantas de preparación de residuos plásticos para la coquización. Del proyecto participan las municipalidades, quienes aportan los residuos plásticos. [53]

El proceso consta de diferentes partes: [53]

1. Desarmado de los paquetes
2. Separación manual de materiales extraños
3. Trituración primaria
4. Pasaje por mesa vibratoria y separación magnética para eliminar materiales inorgánicos y aceros
5. Trituración secundaria
6. Fabricación de pellets a partir de un proceso de extrusión

La separación es una etapa fundamental, ya que metales, sustancias inorgánicas y restos alimenticios no pueden ingresar al horno de coquización. Por otro lado, se deben conformar los pellets ya que, para la carga adecuada de los hornos, deben tener un tamaño uniforme.

Una vez obtenidos los aglomerados, se incorporan a la mezcla de carbones. Dado que la coquización es un proceso que se realiza sin aire, los materiales plásticos se descomponen térmicamente a 1100-1200°C, produciendo hidrógeno e hidrocarburos. La distribución del plástico en el proceso de coquización es la siguiente el 40% son hidrocarburos, que siguen el circuito de la planta de subproductos de la coquería; el 20% pasa a formar parte del coque necesario para la producción de arrabio en los altos hornos y el otro 40% se convierte en el gas de coquería que se utiliza dentro de la planta siderúrgica para calentar hornos y para generar electricidad.

A partir de estudios realizados se determinó que de utilizarse 1% de residuos plásticos, el coque obtenido no presenta variaciones importantes respecto a la resistencia mecánica en frío ni a la resistencia post-reacción.

Dentro de este proceso se debe tener especial atención a los cloruros. Los residuos municipales contienen PVC. Los cloruros generan corrosión prematura de los equipos

utilizados y además puede darse la formación de dioxinas y furanos³. Sin embargo, se determinó experimentalmente que el cloruro proveniente de los residuos plásticos se convertía a licores amoniacales (92%); coque (7%) y gas de coquería (1%).

Es decir, el uso de residuos plásticos aporta a la coquería sustituyendo al carbón y aportando para generar coque, gas de coquería y los subproductos del proceso. [53]

4.3 Altos Hornos de Hierro

Es otra forma de recuperar energía utilizando residuos plásticos. En este caso, los materiales plásticos son mezclados con coque para la reducción del mineral de hierro. [50] Esta es una tecnología utilizada en Alemania, Austria y Japón. [53]

El uso de residuos plásticos en el alto horno se realiza a partir de la inyección de los mismos por las toberas, reemplazando el carbón pulverizado o fuel oil. En este caso, ocurre la combustión con aire de los plásticos, para aportar calor y gas reductor al proceso del mineral de hierro. [53]

En la Tabla 13 se puede ver una comparación entre las composiciones químicas del carbón pulverizado, el fuel oil y los residuos plásticos.

Tabla 13. Composiciones químicas del carbón pulverizado, el fuel oil y los residuos plásticos. Fuente: Un aporte de la industria del acero a la comunidad. [53]

Elementos	Carbón pulverizado	Fuel Oil	Residuos plásticos
Carbono	79,6	85,9	77,81
Hidrógeno	4,32	10,5	11,99
Azufre	0,97	2,23	0,9
Cenizas	9,03	0,05	4,9
Cloro	0,2	0,04	1,4
Potasio	0,266	0,001	0,048
Sodio	0,082	0,001	0,092

Los datos expuestos en la Tabla 13 corresponden a valores experimentales obtenidos por Stahlwerke Bremen (fabricante de acero). El carbón pulverizado es lo que se usa masivamente en la actualidad como material de inyección en reemplazo del coque. El fuel oil era utilizado, sin embargo dejó de usarse por los costos.

Con los datos expuestos, se observa que el carbón aporta alta ceniza, álcalis y baja cantidad de hidrógeno. Por otro lado, el fuel oil aporta hidrógeno, muy baja cantidad de

³ Las dioxinas y los furanos son contaminantes ambientales muy dañinos para la salud.

<https://www.elagoradiario.com/agorapedia/que-son-las-dioxinas-y-los-furanos/>

cenizas y elevado azufre. Por último, los residuos plásticos tienen bajo azufre y bajo álcalis, pero se debe tener especial cuidado con el aporte de cloro. [53]

4.4 Hornos de Cemento

En los hornos para fabricación de cemento, los plásticos se utilizan como combustibles alternativos. Para ello, se muele el plástico a una granulometría pequeña, de manera de alimentar al horno en combinación de los combustibles tradicionales. Generalmente se los introduce mediante inyección con transporte neumático.

4.5 Situación en Argentina

En Argentina no se utiliza la tecnología de recuperación energética. Si bien es un país que cuenta con gran extensión territorial para la disposición de rellenos sanitarios, hay zonas pobladas densamente (por ejemplo Ciudad de Buenos Aires o el conurbano bonaerense) en las que debería considerarse esta alternativa, ya que los rellenos sanitarios están por saturarse.

En la Ciudad de Buenos Aires se prohibía la valorización energética, según dictaba la ley N°1845. Pero en marzo del año 2018 se modificó para permitir esta práctica. Con ello, asegura que los residuos reciclables se aprovechen al máximo y que las emisiones de gases a la atmósfera cumplan con las regulaciones en vigencia. [12]

En el caso de las demás alternativas, la única utilizada en Argentina es en el proceso de fabricación de cemento. Es decir, se utiliza como combustible alternativo en el horno de cemento. Actualmente se recupera la energía de aproximadamente 3.000 Ton/año de plásticos utilizando ésta práctica. [49]

Capítulo 5: Conclusiones

5.1 Conclusiones

En primer lugar es importante destacar que el municipio no tiene un relevamiento sobre la situación de los acopios de la ciudad. No se cuenta con información sobre las cantidades de material que se recuperan, ni las condiciones en que se realiza la recuperación. Esto dificultó el trabajo, ya que no se pudo contar con datos claros. Además, los acopios no cuentan con datos precisos ni registros de las cantidades que procesan y que finalmente venden.

Se demostró que, a nivel municipal, se inserta en el mercado del reciclado el 11,2% de los plásticos desechados. Un valor similar se refleja a nivel nacional, en el que se recicla el 14%. Por ende, el dato obtenido del relevamiento dentro del municipio se encuentra dentro de lo esperable.

En cuanto a la planta de recuperación de materiales operada por la Cooperativa CURA, se pudo comprobar que, si bien cuenta con determinados “privilegios” respecto del resto de los acopios, no genera un gran aporte al mercado del plástico reciclado. Como se mencionó en el Capítulo 2, sólo representa el 9,6% del plástico que se recupera en la ciudad.

Respecto de la situación en el Predio de Disposición Final, si bien trabajan con residuos que contienen tanto materia orgánica como materiales recuperables, son los que abastecen a la mayoría de los acopios relevados. Si no estuviesen los trabajadores informales dentro del Predio, la mayoría de los plásticos que se recuperan en la ciudad serían colocados en el relleno sanitario, desperdiciando una gran cantidad de materia prima para el reciclado. Es decir, una de las principales actividades para preservar el medio ambiente recae en personas que trabajan en la informalidad y que tienen un nivel socioeconómico bajo.

En este marco es importante destacar las malas condiciones con las que trabajan en el Predio. Como se pudo observar en las imágenes del presente trabajo, los recuperadores juntan los materiales sobre el barro. Además, la falta de políticas públicas afecta no sólo a la situación económica y social de los trabajadores, sino a la rentabilidad del proceso del reciclado. Esto se evidencia en el momento en que los trabajadores colocan piedras o botellas llenas con agua dentro de las bolsas para aumentar el peso y obtener más dinero. Este acto afecta al reciclado, ya que la limpieza es una parte fundamental en el proceso de reciclado mecánico.

En cuanto a la separación domiciliar, si bien es un programa que está en vigencia desde el año 2012, no es una actividad obligatoria. Además, en años anteriores era común ver publicidades o campañas en la vía pública acerca de la importancia de la separación y de cómo realizarla, pero actualmente no hay programas de difusión sobre la actividad. De hecho, en los acopios relevados se hizo énfasis en que la mala separación de los residuos en los domicilios se da por falta de educación en la población. Si bien en la página oficial del municipio sí explican cuáles son los residuos que deben colocarse en cada una de las bolsas, no todas las personas tienen acceso. La ineficiencia del sistema de separación

quedó demostrada gracias al estudio realizado en 2014 por la empresa Tecsan, donde se evidencia que en los días martes y viernes (días de recolección diferenciada) se desecha una cantidad de materiales recuperables muy similar al resto de los días. No se han implementado planes de contenerización diferenciada, que podría mejorar notablemente el proceso de separación.

Por parte de la recolección, se puede concluir que es totalmente ineficiente. Como fue informado, no se tiene en cuenta los días estipulados de retiro de las bolsas verdes. Ni tampoco se cuenta con camiones que retiren bolsas exclusivamente verdes o negras. Entonces se mezclan los residuos y eso afecta claramente al reciclado de los materiales. Si bien el cumplimiento de la separación no es total, una parte de la población sí la cumple, pero su actividad se ve totalmente afectada por las políticas de recolección. La mezcla de los diferentes materiales recuperables atenta con la viabilidad técnica y económica del proceso de reciclado en el municipio de General Pueyrredón. Esto genera simultáneamente un gran perjuicio económico y ambiental, ya que casi el 90% de los plásticos quedan dispuestos en el relleno sanitario.

Existen muchos tipos de materiales y en particular tipos de plásticos para los que, al no haber mercado, no hay incentivos para su recuperación. Esto podría revertirse implementado una política integral que aborde la problemática considerando el destino final y las posibles aplicaciones de todos los tipos de materiales recuperables, permitiendo su correcta separación, y estableciendo circuitos específicos de reprocesamiento. A esto se le debe sumar una política activa de promoción de las actividades de compostaje, ya que los residuos orgánicos representan más del 50% del total de los residuos, y se gastan grandes recursos en su recolección para que luego contaminen los materiales reciclables, generen lixiviados y gases de efecto invernadero en los vertederos. No se requieren grandes recursos para implementar estas políticas, ya que los beneficios económicos que se obtendrían en el corto plazo implican un ahorro sustancial en los fondos actualmente involucrados en el tratamiento de los residuos.

Por último, es importante mencionar que se cumplió con el objetivo propuesto. Se analizaron las políticas municipales respecto del tratamiento de residuos sólidos urbanos, haciendo especial énfasis en los plásticos. Además, se analizó cómo la separación domiciliar impacta sobre una potencial materia prima para la industria local.

Bibliografía

- [1] Ley N° 13592 Constitución Nacional Argentina. Gestión integral de los residuos sólidos urbanos.
- [2] Vesco. *RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: Su gestión integral en Argentina*. Tesis de grado. Universidad Abierta Interamericana. Agosto, 2006.
- [3] Grupo de Investigación de Economía Ecológica. *La basura: consecuencias ambientales y desafíos*. Abril, 2016. Disponible en:
<https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1611-la-basura-consecuencias-ambientales-y-desafios> (visitado 15/6/2021)
- [4] *El problema de los residuos y su solución*. 2011. Disponible en:
<https://planetica.org/el-problema-de-los-residuos-y-su-solucion/> (visitado 05/07/2021)
- [5] ECOPLAS. *Manual de Valorización de los Residuos Plásticos. 5ta Edición*. Buenos Aires. Marzo, 2011.
- [6] Ecombes. *¿Cómo funciona la cadena del reciclaje?* Disponible en:
<https://ecoembesdudasreciclaje.es/como-funciona-la-cadena-del-reciclaje/>
(visitado 24/08/2021)
- [7] Carabajal, Prado, Ruiz, Zonco. *Reciclaje de plásticos*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- [8] Noticias Parlamento Europeo. *Gestión de residuos en la UE: hechos y cifras*. Disponible en:
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180328STO00751/gestion-de-residuos-en-la-ue-hechos-y-cifras-infografia> (visitado 02/08/2021)
- [9] Planeta Recicla. *¿Cómo se recicla en Europa?* Disponible en:
<https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/como-se-recicla-en-europa>
(visitado 03/08/2021)
- [10] Herrero, Salvarregui, Svaguzza. *El Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos en Localidades de la Provincia de Buenos Aires*. La Plata, 2001.
- [11] ARPET (Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET). *Reciclado de PET*. Disponible en: http://www.arpet.org/p_sobre_PET.html (visitado 25/08/2021)
- [12] ECOPLAS. *Los plásticos en la economía circular. 6ta edición*. Buenos Aires, 2020.
- [13] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Informe del Estado de Ambiente 2019*. Argentina, 2020
- [14] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Etapas de la gestión integral de residuos sólidos urbanos*. Argentina. Disponible en:
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu/etapas> (visitado 24/6/2021)

- [15] Ministerio del Interior y Transporte. *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Argentina.
- [16] Revista Digital Conciencia Eco. *¿Qué es el compostaje?* 2013. Disponible en: <https://www.concienciaeco.com/2013/07/19/que-es-el-compostaje/> (visitado 24/6/2021)
- [17] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Argentina. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/estrategia-nacional> (visitado 16/6/2021)
- [18] Devicenzi. *Producción de basura: cuál es la realidad en Argentina y qué se podría hacer*. Artículo Sitio Cronista. Marzo, 2018. Disponible en: <https://www.cronista.com/responsabilidad/Produccion-de-basura-cual-es-la-realidad-en-Argentina-y-que-se-podria-hacer-20180302-0075.html> (visitado 15/11/2021)
- [19] Gobierno Argentina. *Informe Situación de la basura en la Provincia de Buenos Aires*. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/provincia_de_buenos_aires_0.pdf (visitado 15/11/2021)
- [20] Defensoría de la Provincia de Buenos Aires. *Informe Basurales a Cielo abierto. La problemática en la Provincia de Buenos Aires*. 2019.
- [21] Municipalidad General Pueyrredón. *Informe Anual Ambiental 2018-2019*. Mar del Plata, 2019.
- [22] Datos abiertos mgp. Disponible en: <https://datos.mardelplata.gob.ar/?q=search/type/dataset> (visitado 26/08/2021)
- [23] Gonzalez Insua. *Cadena de Valor de materiales reciclables en Mar del Plata: aportes para la gestión sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos*. Revista de Estudios Marítimos y Sociales. Enero, 2021. Mar del Plata, Argentina.
- [24] Sitio Oficial Cooperativa Cura. Disponible en: <https://faccyr.org.ar/c-u-r-a/> (visitado 28/06/2021).
- [25] Méndez Prieto, Cedillo García. *Cómo separar los plásticos para su reciclado*. Enero, 2018. Disponible en: <https://www.pt-mexico.com/articulos/como-separar-los-plasticos-para-su-reciclado> (visitado 16/08/2021)
- [26] Municipalidad General Pueyrredón. *Informe Anual Ambiental 2011-2012*. Mar del Plata, Junio, 2012.
- [27] Pontiggia. *Informe de estudio de composición de residuos sólidos domiciliarios de la Ciudad de Mar del Plata Noviembre-Diciembre 2014*. Mar del Plata, 2014.
- [28] Roig. *Plástico: ¿alcanza sólo con reciclar?*. Artículo chequeado.com. 2021. Disponible en: <https://chequeado.com/el-explicador/plastico-alcanza-solo-con-reciclar/> (visitado 17/11/2021)

- [29] Todo en polímeros. El plástico más fácil de reciclar-parte I. 2019. Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/2019/02/11/el-plastico-mas-facil-de-reciclar-parte-1/> (visitado 17/11/2021)
- [30] Reciclarsa, Cairplas. *Plásticos reciclables*. Disponible en: <http://reciclarsa.com.ar/plasticos-reciclables/> (visitado 12/10/2021)
- [31] Ojeda. *Producción de escamas de PET*. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/12/produccion-de-escamas-de-pet.html> (visitado 12/10/2021)
- [32] Dpto. de Química Orgánica, Universidad Valladolid. *Reciclado mecánico*. Disponible en: https://web.archive.org/web/20150316151652/http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm#Reciclado%20mec%C3%A1nico (visitado 12/10/2021)
- [33] Sbarbati Nudelman. *Residuos plásticos en Argentina. Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular*. Primera edición. Buenos Aires, 2020.
- [34] Sitio Oficial AreYouR. *CLEANING AND DECONTAMINATION OF PLASTIC WASTE*. Disponible en: <https://www.areyour.org/en/> (visitado 16/08/2021)
- [35] *Plásticos*. Disponible en: <https://reciclario.com.ar/indice/plastico-2/> (visitado 13/10/2021)
- [36] Cruz Bernal. *Un vistazo a los aditivos para reciclaje*. 2006. Disponible en: <https://www.plastico.com/temas/Un-vistazo-a-los-aditivos-para-reciclaje+3052439?pagina=1> (visitado 13/10/2021)
- [37] *Aditivos para plásticos reciclados*. Disponible en: <http://www.polimerus.com/page/aditivos-para-plasticos-reciclados> (visitado 13/10/2021)
- [38] Beltrán, Marcilla. *Tecnología de polímeros*. Universidad de Alicante.
- [39] Chico State University, *Postconsumer Resin Quality Assurance and Testing Protocol*. California, 2005.
- [40] Todo en Polímeros, *Medición de la humedad*. 2018. Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/2018/04/30/medicion-de-la-humedad/> (visitado 26/10/2021)
- [41] *Determinación de humedad en plásticos*. Disponible en: https://www.tecinstrumental.com/contenidos/2019/02/19/Editorial_3238.php (visitado 26/10/2021)

[42] Universidad de Alicante, *Determinación de agua mediante el método Karl-Fisher*. Disponible en:

<https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis-termico/determinacion-de-agua-mediante-el-metodo-karl-fischer.html> (visitado 26/10/2021)

[43] ANMAT. Determinación de agua. Acta 01-14. Anexo I.

[44] *Evaluación de polímeros*. Disponible en:

<https://www.labtechengineering.com/es/group/polymer-evaluation-es/> (visitado 27/10/2021)

[45] *Ensayos tipo dardo*. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/caida-de-dardo.html> (visitado 29/10/2021)

[46] Ortega. *Prueba de impacto: ensayo Charpy*. Departamento de Física de Materiales, Facultad de Ciencias Físicas Universidad Complutense de Madrid, España. 2006.

[47] Berenice Martínez. *Importancia de la interpretación de resultados de las Técnicas de Ensayos Físicomecánicos básicas en la evaluación de películas para invernadero, manejando normas acreditadas*. Centro de investigación en química aplicada, Satillo, México. 2014.

[48] *Resistencia al desgarro*. Disponible en:

<https://www.mexpolimeros.com/resistencia-al-desgarre.html> (visitado 30/10/2021)

[49] Ecoplas. *Sustentabilidad: Recuperación Energética de los plásticos y sus beneficios*. Disponible en:

<https://ecoplas.org.ar/2017/12/01/sustentabilidad-recuperacion-energetica-de-los-plasticos-y-sus-beneficios/> (visitado 4/11/2021)

[50] Plastivida, Entidad Técnica Profesional Especializada en Plásticos y Medio Ambiente. *Recuperación energética de los residuos plásticos*. Boletín Técnico Informativo N° 32. Argentina, 2009.

[51] Levaggi L., Levaggi R., Marchiori, Trecroci. *Waste-to-Energy in the EU: The Effects of Plant Ownership, Waste Mobility, and Decentralization on Environmental Outcomes and Welfare*. Artículo Sustainability. 2020. Disponible en: www.mdpi.com/journal/sustainability (visitado 5/11/2021)

[52] Mordor Intelligence. *Japan waste to energy market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021-2026)*. Disponible en:

<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/japan-waste-to-energy-market-industry> (visitado 30/08/2021)

[53] Madías. *Un aporte de la industria del acero a la comunidad*. Artículo, Dossier Tecnológico. 2013. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/277559032> (visitado 4/11/2021)