

**CONVENIO**

**Municipalidad de La Plata – Universidad Nacional de La Plata  
para el diseño de un**

**PLAN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS  
URBANOS**

**2º Informe parcial  
Facultad de Ciencias Exactas  
Marzo 2008**

Los siguientes informes han sido elaborados por la Facultad de Ciencias Exactas, a requerimiento del Convenio con la Municipalidad de La Plata, para el diseño de un Plan Integral para el Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos.

Como miembros del equipo ejecutor han participado:

Dr. Guido Mastrantonio (coordinador)

Dra. María Susana Cortizo

Lic. Lorena Falco

Lic. Leticia Legarto

Sr. Facundo Méndez

Srta. Analía Martínez

## **Índice**

### **Capítulo 1: La actividad de recuperación y reciclado de materiales desde los RSU. El caso del Partido de La Plata. 5**

*Magnitud y caracterización de la recuperación urbana de materiales. 6*

*La actividad de recuperación. 8*

*La actividad de acopio. 9*

*La actividad de clasificación y acondicionamiento de material. 10*

*Empresas de reciclado. 11*

*El principio de asociación. 11*

*El principio de regionalización. 12*

*El principio de tecnificación. 13*

*Conclusiones. 14*

### **Capítulo 2: Sistema biohidrometalúrgico para la recuperación de pilas agotadas 15**

*Introducción 15*

*La Problemática en la Ciudad de La Plata 16*

*Alternativas de solución 16*

*Descripción de las pilas comunes y alcalinas 17*

*Pilas alcalinas o de cinc/dióxido de manganeso (Zn/MnO<sub>2</sub>) 17*

*Fundamentos del proceso propuesto 18*

*Descripción del sistema 20*

*Biorreactor 20*

*Reactor de lixiviación 20*  
*Reactor de recuperación 20*  
*Ventajas de la producción biológica de ácido sulfúrico 20*  
*Conclusiones 21*

### **Capítulo 3: Reciclado de Polímeros Plásticos 22**

*Situación actual del plástico en Argentina. 22*  
*Clasificación de los Polímeros (plásticos) según su uso tecnológico. 24*  
*Etapas para Reciclar el Plástico. 25*  
*Tipos de Reciclado Existentes. 26*  
*Aprovechamiento Energético 27*  
*Diferentes propuestas para el Reciclado de los distintos tipo de Plásticos. 27*  
*Reciclado de Envases de PET. 27*  
*Reciclado de Polietileno y Polipropileno (Polioefinas). 29*  
*Reciclado de Poliestireno. 30*  
*Reciclado de Policloruro de Vinilo 31*  
*Conclusiones. 32*

### **Capítulo 4: Estado actual y potencialidades de la recuperación de materiales celulósicos en el Partido de La Plata. 34**

*Generalidades del problema. 34*  
*Breve descripción del proceso de reciclado de MC. 34*  
*Caracterización del proceso llevado adelante en La Plata. 36*  
*Alternativas tecnológicas. 36*  
*Conclusiones. 37*

### **Referencias. 39**

### **Anexo I: Proyecto de Ley para el Tratamiento y Disposición Final de Pilas y Baterías 41**

*CAPÍTULO I: Disposiciones generales 41*  
*CAPÍTULO II: Sujetos obligados 41*  
*CAPÍTULO III: Gestión de pilas y baterías usadas 41*  
*CAPÍTULO IV: Requisitos para la comercialización 42*  
*CAPÍTULO V: Certificación 43*  
*CAPÍTULO VI: Autoridad de aplicación 43*  
*CAPÍTULO VIII: Disposiciones complementarias 44*

### **Anexo II: Detalles técnicos de funcionamiento de planta piloto de biolixiviación de pilas agotadas (PlaPiMu – CIC – UNLP) 45**

*Materiales y Métodos 45*

*Caracterización del reactor Air-Lift 46*

*Seguimiento de la producción de ácido y crecimiento bacteriano, mantenimiento de cepas 48*

*Resultados y discusión 48*

*Funcionamiento y productividad del reactor 50*

*Reactor de Lixiviación 52*

*Conclusiones 54*

## **Capítulo 1: La actividad de recuperación y reciclado de materiales desde los RSU. El caso del Partido de La Plata.**

Como parte de las consideraciones incluidas en el presente informe, se incorporan los siguientes aportes que son el resultado de racionalizar los muchos datos obtenidos en terreno y como consecuencia del contraste con el material y referencias previas, para otorgar un marco de referencia conceptual suficiente, que sirva como herramienta general de análisis. No pretende ser un planteo acabado, sino más bien un resumen de conceptos generales, que se utiliza para el adecuado abordaje de las problemáticas específicas que luego se tratan.

Estas ideas se formulan sobre la base que existe un consenso, compartido por los municipios, las empresas de servicios de recolección, la sociedad en general y el mismo CEAMSE, que el actual sistema de gestión municipal y provincial de los RSU, fundamentado exclusivamente en la recolección indiferenciada y el enterramiento en predios del CEAMSE es un sistema obsoleto. En este sentido, también hay un consenso respecto de la necesidad de potenciar los circuitos de reciclado de materiales, hoy implementados con una capacidad restringida pero con mucho potencial de desarrollo.

La Ley prevé una modificación paulatina estableciendo los criterios de la transición. Sin embargo, no está claro hacia donde se modificará exactamente el sistema, ni cuales serán los actores que finalmente aportarán a la gestión integral. Entonces, es un hecho que la minimización del enterramiento y la fortificación de los circuitos de recuperación y reciclado son elementos fundamentales en un nuevo sistema de gestión.

Por otro lado, no está establecido cual será el papel que ocuparán las empresas de la economía social, hoy responsables de una proporción importante de la gestión de RSU por fuera del circuito de gestión municipal, ni tampoco si el modelo de gestión estará determinado por criterios de mercado y competencia comercial o por criterios asociativos y manteniendo un esquema de servicio público. Es aquí en donde aparecen la mayoría de los puntos en disputa entre las diferentes iniciativas puestas en juego en este proceso de transformación.

En este análisis del proceso, es necesario poder distinguir entre aquellas definiciones que son presupuestos de consenso, aun con matices, y aquellos elementos que efectivamente distinguen entre posiciones que a partir de dicho consenso pretenden construir desde dos paradigmas diferentes: uno que permita validar en una nueva etapa un esquema de producción y consumo, tal como ha sido desarrollado fuertemente por pura preponderancia de los criterios de mercado y otro que sostenga un profundo cuestionamiento a dichos esquemas, intentando marcar la necesidad de modificación tanto de los sistemas de gestión de los residuos urbanos, como de producción y consumo de bienes y servicios, que es desde donde, primariamente, surge la problemática de la basura, tal como la entendemos en la actualidad.

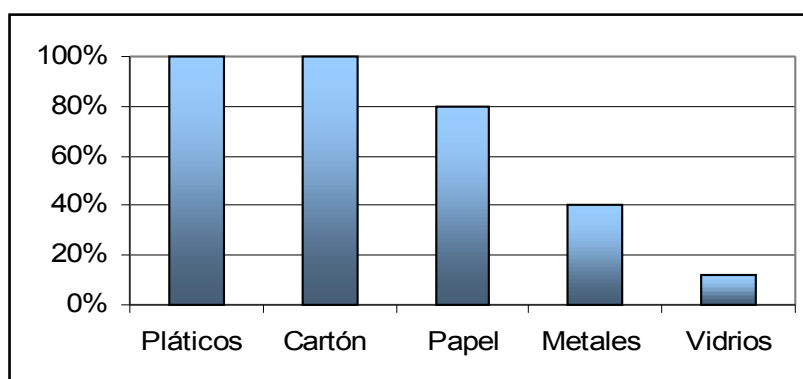
Esto significa, en un punto de partida, que es necesario encontrar herramientas generales de análisis que nos permitan resolver con coherencia los problemas particulares. En este sentido, vale una primera definición, en donde se necesita proponer la naturaleza económica de la problemática de los residuos y su gestión, acompañada por aspectos ambientales, sociales o de salud pública, según sea la óptica abordada en cada caso. Esto debe ser primordial: el problema de la basura es en primera instancia un problema económico, siendo económicas las razones que determinan los efectos indeseados de su mala gestión y son de naturaleza económica las medidas que pretendan abordar razonablemente los problemas originales.

En el ámbito municipal, es restringido el marco de gestión que permite encontrar la mejor respuesta en el plano económico. Sin embargo, no es menor el aporte que puede hacerse desde el municipio a favor de los que se denomina el ámbito de las organizaciones de la economía social (cooperativas, organizaciones de cartoneros y recicladores, etcétera). Es aquí donde probablemente surjan uno de los puntos en disputa en cuanto a los marcos de referencia para el sistema de gestión de residuos que se viene.

### **Magnitud y caracterización de la recuperación urbana de materiales.**

La actividad de recuperación de materiales desde los residuos urbanos constituye una actividad que paulatinamente se ha ido consolidando como un ámbito de trabajo que contribuye efectivamente a la gestión de los RSU. Por lo tanto, en cualquier sistema moderno de gestión municipal, debería considerar las tres áreas que aportan en su resolución: la gestión estatal, la gestión privada y la gestión social. Esta última categoría puede cuantificarse con cierto grado de certeza, aunque en la práctica no exista un marco de contención que permita, entre otras cosas, un censo preciso.

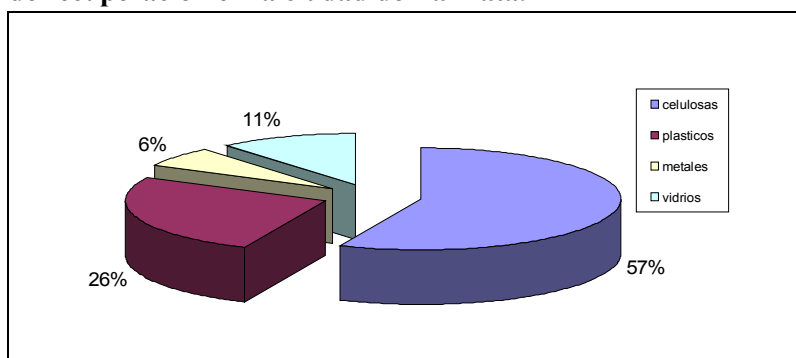
**FIGURA 1: Proporciones relativas de los materiales colectados por los recuperadores urbanos, según datos obtenidos de la actividad de recuperación en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.**



Según datos recientes, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires los recuperadores urbanos (RU) separan aproximadamente 800 tns/día de residuos, con una proporción importante de plásticos y materiales celulósicos (Figura 1).

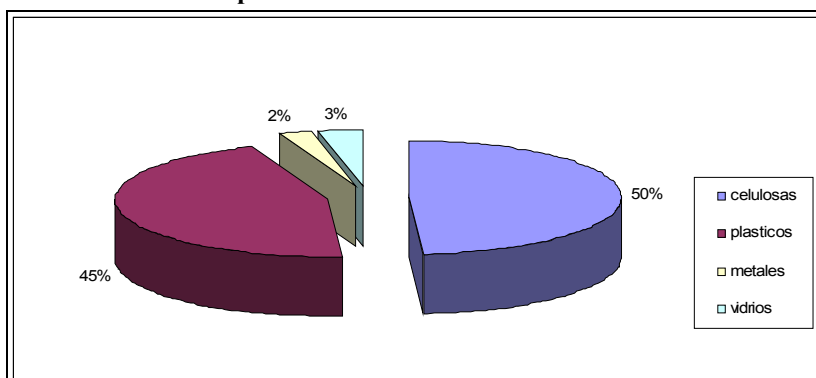
En comparación, en el Partido de La Plata se estima que la actividad de los RU implica una fuerza de trabajo que involucra a cerca de cuatro mil personas, con una capacidad para recuperar desde casi todas las zonas más urbanizadas del partido, desde 100 y hasta 120 toneladas diarias de material. Esto constituye entre un 13% y un 16% del total de los residuos gestionados por el Sistema Municipal.

**FIGURA 2: Proporciones relativas de los materiales colectados por Recuperadores Urbanos, según datos obtenidos de la actividad de recuperación en la ciudad de La Plata.**



Comparando esta proporción con los porcentuales obtenidos por las experiencias de reciclado de residuos en ciudades mucho más pequeñas mediante la exclusiva gestión municipal (en el mejor de los casos del orden del 30%), habla de un nivel de eficiencia muy importante para el Partido de La Plata. Considérese que en La Plata esta actividad se desarrolla en forma casi exclusivamente autónoma, con muy escaso apoyo institucional y en condiciones técnicas y logísticas muy desfavorables.

**FIGURA 3: Proporciones relativas del valor de los materiales colectados por los recuperadores urbanos, según datos obtenidos de la actividad de recuperación en la ciudad de La Plata.**



Tomando como referencia una de las Cooperativas de RU que se encuentran actualmente en actividad, se constata que los plásticos tienen una proporción prevalente, en peso, respecto del total de los materiales recuperados (Figura 2). Cuando se realiza una comparación de los valores relativos de mercado, se encuentra que los materiales celulósicos representan la mayor proporción de las utilidades en la actividad de recuperación (Figura 3). Estos valores se obtienen de un pequeño pero significativo muestreo realizado en el ámbito de organizaciones de Recuperadores Urbanos del Partido.

La gestión social entonces, efectivamente se encuentra articulada en diferentes etapas, que en sus eslabones con mayor valor agregado de la cadena de valor del proceso de reciclado de materiales, incorpora una actividad industrial de mediana escala en la que participan en forma mixta empresas de la economía social (cooperativas y otro tipo de organizaciones asociativas) y de la actividad privada (sociedades anónimas o de responsabilidad limitada). Sin embargo, es en las primeras etapas correspondiente a la actividad de los RU, donde se encuentran los elementos más críticos, además de incorporar los procesos de menor valor agregado. Sin embargo, es en estas etapas en donde se despliega un nivel más importante de complejidad organizativa y en donde el aporte de las organizaciones de la economía social es el único que sostiene la actividad en este nivel.

Se debe entender que, dentro de parámetros que pretendan un cambio de modelos de producción, consumo y de gestión de residuos, son estos modelos de asociación y organización del trabajo los que permiten alcanzar todos los **intersticios** que requiere la interacción con la ciudad en cada uno de sus niveles, sobre todo las primeras etapas de relación directa con el habitante de las ciudades. En este sentido, entender el papel fundamental de las organizaciones de la economía social, permite rechazar *a priori* la posibilidad de delegar en la actividad privada la gestión de los residuos en muchos de sus niveles, entendiéndose empresas de responsabilidad anónima o de responsabilidad limitada, con capitales concentrados.

Asumiendo este razonamiento, la competencia en igualdad de condiciones de las empresas de la economía social, con las empresas de gestión privada en aquellas etapas en donde se ve fortalecida la cadena de valor, juega en contra con lo planteado anteriormente, pues restringe el desarrollo y por lo tanto la eficacia de las empresas sociales. Éstas últimas deben contar con mecanismos de compensación que permitan prevalecer sobre las primeras, en la medida que son las que garantizan el comienzo del ciclo.

Las empresas de gestión privada podrán, en forma reducida, encontrar algunos nichos que no impidan la expansión de las cooperativas y su actividad.

### **La actividad de recuperación.**

En la primera etapa, de recuperación de materiales desde los residuos, existe una variedad de formas organizativas que desde la actividad familiar hasta formas de mayor complejidad, que cuantificada constituyen una considerable fuerza de trabajo activa como ya se ha dicho. Sin embargo, cuenta con escasa capacitación y capacidad logística, más no organizativa.

Las limitantes para aumentar esta proporción de recuperación se encontrarían en dos factores: por un lado, la disposición en forma indiferenciada, resta eficiencia a la recuperación, por el hecho de requerirse un esfuerzo adicional para la separación del material desde una mezcla de residuos de diferentes valor y



naturaleza. Huelga decir que este factor además aporta una serie de riesgos laborales asociados con la manipulación de residuos patogénicos o peligrosos, sin la capacitación y el equipamiento adecuado.

Por otro lado, existe una competencia explícita entre el sistema de recuperación diferenciada de residuos y el sistema de recolección indiferenciada con destino al CEAMSE. En la práctica, con menor infraestructura y herramientas logísticas, la actividad de los recuperadores se desarrolla en una disputa en franca desventaja por los residuos con la empresa de recolección. Además, el hecho de mantenerse en un ámbito de informalidad, la actividad de los recuperadores no es vista por parte de la población como un servicio público, dificultando su tarea en las calles.

En el Partido de La Plata existe una cantidad importante de carreros (en un número cercano a los 1200 carros organizados), que con cierto grado de coordinación zonifican la ciudad y sobre la base de un “mapa de la basura” han diseñado un circuito que hoy ya se encuentra muy consolidado. Existe además una menor cantidad de actividad no organizada que termina de llenar los circuitos de menor valor.

### **La actividad de acopio.**

El material recuperado en su mayor parte es absorbido por el siguiente eslabón del circuito, que constituyen los acopiadores. En el Partido de la Plata existen una media docena de grandes establecimientos acopiadores y varias decenas de pequeños acopiadores que adoptan formas organizativas diversas.

Grandes acopiadores de la zona sur del Gran Buenos Aires, absorben buena parte del material recuperado en el Partido de La Plata. Es interesante constatar por ejemplo, que la única planta de fabricación de papel reciclado del Partido, actúa a su vez como acopiador y dinamizador de los flujos de recuperación de los materiales celulósicos, pero para los Partidos del Gran Buenos Aires. Como contrapartida, los materiales celulósicos recuperados en el Partido de La Plata se destinan en gran parte para su procesamiento en plantas del Gran Buenos Aires. Esta dinámica, que encarece costos y distorsiona el propósito original de recuperación eficiente, se origina en la particular estructura organizativa de la cadena de recuperación de materiales, fuera del alcance de cualquier iniciativa reguladora del Estado.

La clasificación del material suele completarse en la etapa de acopio y por esta razón, los trabajadores que participan de las primeras etapas del proceso, los cartoneros, obtienen escasos réditos. Esto limita fuertemente el desarrollo económico y logístico de las organizaciones de recuperadores, responsables del proceso inicial. En este punto es necesario reconocer entonces que para un futuro esquema, los sistemas de acopio, como tarea diferenciada de la clasificación y acondicionamiento de material, debería integrarse a la etapa anterior de recolección y recuperación, no siendo un mero receptor de su actividad.

## **La actividad de clasificación y acondicionamiento de material.**

Actualmente, este es el componente más débil de la cadena de valor. En el Partido existen no menos de cuatro organizaciones cooperativas. Cada una de ellas, con mayor o menor apoyo estatal (Municipio y Provincia) y con diferente grado de consolidación, pero siempre con enormes deficiencias de infraestructura, se intentan ubicar en un lugar de la actividad que permita organizar de mejor manera la recuperación, clasificación y acondicionamiento del material, logrando una actividad integral que podría ser la base de un sistema moderno de gestión social de los residuos recuperables.

Los mayores problemas de estas organizaciones derivan de la falta de articulación con el territorio o los grandes generadores de materiales recuperables (establecimientos industriales o edificios públicos). La otra gran carencia son las deficientes herramientas técnicas y de infraestructura, lo que les impide alcanzar niveles adecuados en la calidad del material recuperado.

La primera de las dificultades, la falta de articulación, deriva justamente del hecho que el sistema actual esta pensado en un esquema de recolección y enterramiento. Los RU se encuentran en permanente disputa por los generadores, sin mecanismos preestablecidos que permitan generar el circuito consolidado alternativo a la recolección destinada a la disposición final de RSU.

La segunda de las dificultades, la falta de infraestructura y tecnificación, se resuelve con una adecuada política de fortalecimiento de estas organizaciones. La capacitación y la adquisición de maquinaria no necesariamente onerosa (lavadoras, chipeadoras, balanzas, prensas, líneas de clasificación), multiplicaría enormemente la capacidad de estos emprendimientos para procesar material y para entregarlo a la siguiente etapa en cantidades y condiciones de calidad adecuada para un emprendimiento viable.

Es indudable que estamos en presencia de un paulatino aumento de los precios relativos de los materiales recuperables, respecto de los mismos materiales obtenidos desde las materias primas vírgenes. Pero en cualquier caso, un fortalecimiento de las etapas de recuperación y clasificación de residuos, no debería funcionar según una lógica en donde los materiales que finalmente se reciclen sean solo aquellos que tengan un valor de mercado compatible con una actividad comercial.

Esto por dos razones: por un lado los precios de mercado son muy variables, imprimiendo una inestabilidad muy fuerte a las cadenas de valor. Esto es incompatible con un sistema que pretenda la recuperación en forma estable y masiva. Por otro lado, las empresas del ámbito de la economía social funcionan con una lógica en donde el lucro directo es sólo una de las variables de factibilidad y no siempre la más importante, de manera que en un sistema en donde prevalezca la competencia de diferentes oferentes, finalmente la actividad sería absorbida por emprendimientos de gestión privada, con menor ocupación de

mano de obra y con una relativa ineficiencia en tanto su capacidad para procesar el total de los materiales disponibles.

### **Empresas de reciclado.**

La mayor parte del material recuperado debe ser incorporado a la cadena productiva mediante algún proceso que involucra un establecimiento industrial de magnitud mediana o grande. La mayor parte del material se procesa y recicla actualmente en empresas ubicadas fundamentalmente en la zona sur del conurbano bonaerense, incluyendo el material celulósico. Se insiste en el hecho que la capacidad ya instalada en el Partido para el reciclado de papel, se corresponde a un porcentaje cercano al 20% de lo que se recupera en La Plata, pero ese porcentaje está cubierto por material traído justamente del Gran Buenos Aires. Por otro lado, en el Partido existe solo una cooperativa con potencial para el procesado de material plástico, con capacidad muy limitada. No existen emprendimientos a nivel industrial para el reciclado del vidrio, metal u otros materiales recuperables.

Según cálculos globales actualizados para las grandes urbes de la Argentina, se recicla alrededor del 25% del papel y cartón posible de ser recuperados, mientras que en el caso de los plásticos se recicla sólo cerca del 5% del total posible de ser recuperado. En este sentido, es la actividad vinculada a la recuperación, acondicionamiento y reciclado del plástico la que tiene mayores posibilidades de expansión e incluye a la gran cantidad de material de rechazo (como el scrap), proveniente de los procesos industriales. Actualmente, según datos muy generales recopilados para el Partido de La Plata, la cantidad de materiales recuperados en el rubro plásticos, alcanza entre el 45% y el 60% del total presente en los RSU, seguida de cerca por los materiales celulósicos, que es del orden de entre el 35% y el 75% del total. Estos valores, aunque con un grado de incerteza importante, muestran una actividad bastante intensa.

Tanto el acopio, acondicionamiento y reciclado de material son factibles, en la medida que se integre en redes regionales, incorporando las capacidades existentes en el Partido y fuera de él. Aunque las organizaciones de recuperadores y recicladores hoy adoptan esquemas relativamente elementales, es posible pensar en rumbos de acción que puedan viabilizar un mayor grado de complejidad en vistas al proceso en ciernes. Estos rumbos podrían estar estructurados sobre la base de tres principios: el principio de **asociación**, el de **regionalización** y el de **tecnificación**.

### **El principio de asociación.**

Las políticas de gestión económica de los residuos, implican tres niveles de participación: el del productor de bienes de consumo (al mismo tiempo productor de residuos), el del consumidor (y productor de residuos) y el del recuperador. En el marco de análisis que nos ocupa, la inclusión del sector de recuperadores y recicladores del ámbito de la economía social en los sistemas integrados de gestión de los

residuos, implica necesariamente un conflicto con aquellos intereses de mercado que verán la posibilidad de lucro, presente o futuro, en esta actividad.

Al día de hoy, la actividad de los cartoneros, recuperadores, clasificadores, acopiadores y recicladores, abarca a cerca de un quinto de la gestión de los RSU en la mayoría de las grandes ciudades. Con esta cifra coinciden la mayor parte de los funcionarios municipales, aunque no siempre reconozcan el papel de esta actividad como gestión de los RSU.

Desde las políticas de estado, es muy diferente considerar el trabajo del cartonero como un problema social, que debe ser solucionado mediante una reconversión de esta actividad en otras “más formales”, capacitando en otros oficios, o considerarlo como un problema laboral y económico que determine una jerarquización de las tareas de recuperación, generando un marco normativo que la promueva, aportando higiene y seguridad, otorgándole un estatus de oficio.

Desde el punto de vista de las organizaciones de recuperadores y recicladores, la **asociación** estará dada en dos planos: por un lado, por iniciativas que involucren acciones sobre los generadores de residuos. El “mapa de la basura” es una herramienta que las organizaciones pueden aprovechar muy bien y que hoy sólo ellas conocen. La organización espontánea de los vecinos o las propuestas centralizadas, en las iniciativas de clasificación en origen por ejemplo, tienen la enorme desventaja de no considerar en su justa medida la eficiencia del proceso, haciéndolo inviable económicamente.

Por otro lado, cada relación que sea posible establecer entre diferentes miembros de una red de recuperadores, va a redundar en la identificación de nuevos recursos (fuentes de recuperado, recursos humanos, infraestructura, tecnologías), que puedan ser aprovechados por uno u otro miembro de ella. La formación de redes por parte de los recuperadores, debería ser una premisa al momento de evaluar los beneficios.

Finalmente, establecer mecanismos de integración entre los recuperadores y los generadores de residuos de tipo industrial, debe ser un problema más complejo, que involucra intereses sociales y políticos, además de los económicos. Sin embargo, puede ser interesante explorar el ámbito de las empresas recuperadas y emprendimientos autogestionados que, aunque numéricamente menor, puede significar el hallazgo de nuevas fuentes de materiales recuperables, potenciando tanto a los productores de residuos como a los recuperadores en el ámbito de la economía social.

### **El principio de regionalización.**

El que un sistema integral de recuperación sea viable, depende de muchas variables. En la práctica, la viabilidad se evalúa considerando el valor relativo respecto al mismo material desde fuente virgen, lo que dirá si hay beneficio neto o no.

Para un criterio absoluto de mercado, el VALOR relativo de un material recuperable es casi equivalente al PRECIO relativo de éste. El beneficio está determinado por el lucro directo. Esto no permite evaluar beneficios relacionados tanto con los ámbitos de la economía social, como con valores asociados a la dimensión colectiva del problema: instauración de sistemas inclusivos, saneamiento de los ambientes urbanos y semiurbanos, minimización del enterramiento, sustitución de importaciones y otros. Sin embargo, para que sea posible evaluar los beneficios en forma integral, se necesita un diseño con alcances sobre grandes porciones de territorio. Esto puede significar, por ejemplo que sea razonable el subsidio estatal o que se consoliden circuitos viables sobre materiales reciclables de escaso valor agregado.

La municipalización del problema de la basura, planteado como propuesta política desde varios de los partidos del Gran Buenos Aires y explicitada en la ley vigente, en verdad no es ajena a lo que significa en términos de encarecer e inviabilizar cualquier propuesta que conciba a la recuperación y reciclaje de materiales como parte fundamental del sistema de gestión de residuos. La municipalización dificulta la formación de redes amplias, en donde puedan potenciarse las cadenas de valor de los materiales reciclados. En un sistema municipalizado, el reciclaje será posible sólo con un gran esfuerzo, un gasto neto y sobre un porcentaje, en el mejor de los casos, no mayor al 20% del total de los residuos urbanos.

Un escenario de esta naturaleza reserva el negocio para el momento en que sea necesario y liquida la posibilidad de un fuerte desarrollo económico de la recuperación y reciclaje tal como se piensa desde el ámbito de la economía social.

### **El principio de tecnificación.**

Las redes de recuperación de materiales reciclables deben apropiarse de tecnologías que permitan diversificar tanto las maneras en que se acopian, clasifican y acondicionan estos materiales, como los productos del reciclado.

Es indudable que una búsqueda del aumento del valor agregado en los productos del reciclado, permitirá viabilizar los emprendimientos. También aumentará la posibilidad de hacer más complejas las redes, haciéndolas menos vulnerables a los embates del mercado. Se hacen necesarias herramientas de gestión económica, ingeniería de sistemas, diseño racional de sistemas de transporte (una proporción muy importante de los costos fijos del reciclado esta dada por los costos del flete), considerando la administración integral de los recursos.

Esto debería imprimir una mayor velocidad en la consolidación de las redes, favoreciendo el intercambio entre recuperadores y la incorporación a otros nichos económicos en donde se plantee una disputa con productos o insumos provenientes de materia prima virgen.

La mayor parte de la tecnología necesaria para la optimización de los procesos de recuperación o el aumento del valor agregado de los productos del reciclado ya es disponible, sin embargo se necesitan mecanismos eficientes de transferencia y de acondicionamiento de aquellas a cada contexto particular.

## **Conclusiones.**

Los datos que den cuenta de la factibilidad del esquema que aquí se presenta son todavía escasos. En general, el discurso dominante ha desplazado la discusión sobre estos temas hacia otros derroteros, de manera que se hace necesario enfocar y desencadenar una discusión que permita disponer de herramientas de análisis adecuadas para las experiencias que, por ahora, se van desarrollando con más o menos éxito hacia la construcción de una alternativa a las estrategias puramente de mercado.

Las Ley vigente exige la disminución de por lo menos un 30% de los residuos en disposición final en un mediano plazo. Este valor debería ser fácilmente alcanzado mediante un diseño que considere un fortalecimiento de los actores ya existentes, una rejerarquización de la actividad de las empresas de la economía social y un rediseño de los circuitos de generación y recolección de los residuos. La recolección y disposición final de los RSU son considerados actualmente como un servicio público subsidiado. Esto debería seguir así, incluso al incorporar los circuitos de recuperación y reciclado como parte fundamental del sistema, más allá de la cadena de valor generada en la producción de material comerciable. El sistema deberá tener adecuados mecanismos de subsidio y compensación, para garantizar la estabilidad del mismo.

Es muy probable que un sistema eficiente no sea homogéneo para todo el partido, debiendo incorporar las particularidades de cada una de las regiones existentes en el territorio del Partido. Para zonas residenciales podría implementarse una recolección diferenciada puerta a puerta que no podrá aplicarse en zonas céntricas, existirán programas de recolección diferenciadas implementadas en los edificios de la administración pública, etc.

El fortalecimiento de las empresas de la economía social no sólo debe considerarse como un enorme aporte a la integración social de estas organizaciones, sino como una garantía de un éxito del sistema de gestión integral, en la medida que la lógica de funcionamiento de estos emprendimientos incorpora valiosos elementos a la hora de evaluar la factibilidad del sistema. Este fortalecimiento debería sustentarse en tres ejes: integración y aporte de mecanismos de asociación de las organizaciones, tecnificación y capacitación y finalmente integración de la actividad del Partido al ámbito de todo el conurbano.

Los siguientes informes, intentan abordar la problemática de algunos residuos peligrosos y el reciclado de materiales, en el marco de lo que aquí se ha presentado.

## Capítulo 2: Sistema biohidrometalúrgico para la recuperación de pilas agotadas

### Introducción

En nuestro país aún no existen políticas adecuadas de recolección selectiva de residuos, lo que dificulta mucho el proceso de reciclado de muchos desechos sólidos que podrían reutilizarse como envases de vidrio, papeles, plásticos, latas, etc. Entre todos estos residuos se encuentran las pilas, que al mezclarse en los rellenos sanitarios con líquidos provenientes de residuos orgánicos, y con el agua de lluvia, produce un líquido altamente contaminante que termina en las napas de agua subterránea, de las cuales luego se recoge agua para consumo humano.

Una vez utilizadas, las pilas se convierten en residuos tóxicos. En nuestro país, en la mayoría de los casos siguen los cauces habituales de la basura, es decir son tiradas en enormes rellenos sanitarios o basurales. Cualquiera de los caminos que siga la pila-basurero, relleno sanitario o incineración- causan enormes problemas ambientales. Por ejemplo, si se produce una filtración de lixiviados en un relleno sanitario o en un basural con la siguiente contaminación de aguas subterráneas, una sola pila botón puede contaminar más de 600.000 litros de agua, una sola pila alcalina puede contaminar 175.000 litros de agua, una de cinc-aire, 12 mil; una de óxido de plata, 14 mil, y una pila común 3.000 litros. El mercurio, el cadmio u otros metales no se destruyen con la incineración, y frecuentemente son emitidos a la atmósfera, agravando la situación.

Actualmente no existen antecedentes de plantas de reciclado de metales provenientes de pilas comunes y alcalinas en nuestro país, por lo que grandes cantidades de las mismas tienen como destino final los rellenos sanitarios diariamente, ya que son las más utilizadas en diversos artefactos y no son recargables, por lo que su vida útil es relativamente corta. Según la ley nacional 24.051, las pilas agotadas deberían considerarse como residuos peligrosos, y ser tratadas como tales por su contenido de metales tóxicos tales como níquel, cadmio, mercurio, zinc, manganeso, cobalto y otros.

En el presente informe, se describe una posible solución a una problemática que aporta una de las componentes más importantes en cuanto a los riesgos a la salud derivados de la gestión inadecuada de residuos sólidos urbanos, como lo es la de la disposición final de las pilas usadas.

Sin embargo, cualquier incorporación de tecnología en los sistemas de gestión de residuos peligrosos en general, o de pilas agotadas en particular, es inviable si al mismo tiempo no se implementan los marcos normativos que permitan coordinar la totalidad del esquema de producción y consumo, con los sistemas de tratamiento de dichos residuos. Se propone como una posible alternativa el Proyecto de Ley que se incorpora como Anexo I.

## **La Problemática en la Ciudad de La Plata**

Según una encuesta realizada por un grupo de investigadores del INIFTA, en el marco del proyecto de extensión universitaria “Impacto Ambiental del uso de Pilas y Baterías en el Partido de La Plata” realizado en el año 2001, en nuestra ciudad se consumen aproximadamente unos 3 millones de pilas por año, lo que equivale a unas 45 toneladas de pilas alcalinas que por año que se disponen en relleno sanitario.

Aunque aun no se cuentan con datos más actualizados, este número se incrementa año tras año, por lo que es importante que se considere la posibilidad de implementar urgentemente procesos para el tratamiento de estos residuos.

### **Alternativas de solución**

Son varias las alternativas que se han propuesto e implementado en diversos lugares para encarar adecuadamente la problemática de las pilas agotadas. Entre ellos, la recolección diferenciada ha sido una de las acciones más difundidas que, desconectadas de tratamientos posteriores, han derivado en problemas aún mayores, esto es, la concentración de pilas en contenedores sin medios adecuados de contención, constituyéndose en pasivos ambientales de enorme riesgo.

La inertización también se ha propuesto e implementado, observándose varias tecnologías que de una u otra manera resuelven el problema de los pasivos ambientales, al menos temporalmente. Entre los procesos de inertización se han utilizado la encementación y la vitrificación. Una de las problemáticas más importantes que derivan de estas tecnologías, es la falta de garantías a largo plazo de que esta inertización sea realmente eficiente, trasladando el problema a un futuro no bien delimitado. Por otro lado, la generación de volúmenes importantes de residuos sólidos, requieren de la búsqueda de sitios especiales de disposición final que deben garantizar el mantener indemne dichos residuos.

Como una alternativa superadora, se propone un proceso biohidrometalúrgico que ya es utilizado en varias plantas comerciales del mundo para recuperar metales de minerales de baja ley, para los cuales sería costoso aplicar los métodos tradicionales de la minería. Dicho proceso es simple, seguro y económico, y puede aplicarse al tratamiento de las pilas y baterías agotadas, que actualmente son tiradas a los rellenos sanitarios junto con los residuos domiciliarios comunes, con el riesgo ambiental que eso acarrea.

Este proceso debidamente funcionando, permitiría resolver la problemática planteada. Consta de tres etapas, delimitadas por los productos de cada una de ellas. Los objetivos propuestos son a) Optimización y puesta en marcha de un reactor biológico con *Acidithiobacillus thiooxidans* para la producción de medio lixivante. b) Armado y optimización de un sistema de biolixiviación de pilas agotadas. c) Recuperación de metales del lixiviado obtenido.



## Descripción de las pilas comunes y alcalinas

### Pilas tipo Leclanché, o de cinc/carbono (Zn/C), o “Pilas secas”

Basadas en la oxidación del cinc en medio ligeramente ácido, están compuestas por zinc metálico, cloruro de amonio y dióxido de manganeso. Son las llamadas pilas comunes. Sirven para aparatos sencillos y de poco consumo.

De uso común y generalizado en diferentes artefactos, algunas de ellas riesgosas por su contenido de mercurio. Se encuentran en el mercado en distintos formatos tales como A, AA, AAA. Categoría: Y29, Y34, Y35 categorías Y, según la Ley N° 24.051, de Residuos Peligrosos.

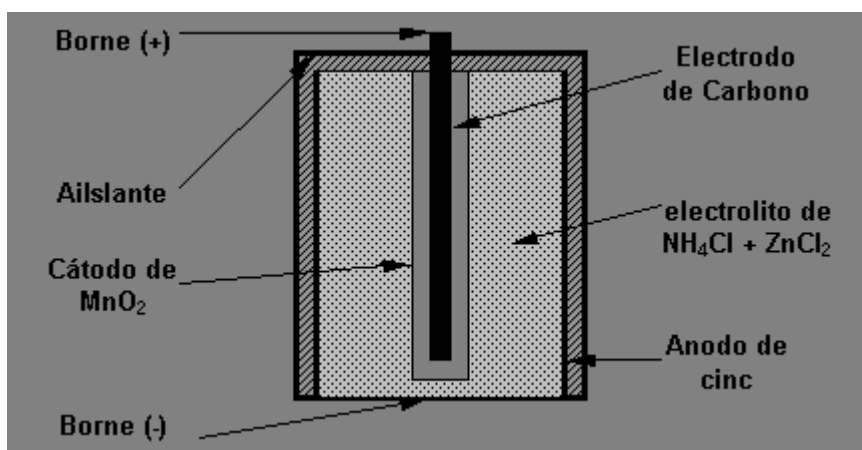
Las reacciones de descarga de la pila son:

**Ánodo: Zn / Cátodo: MnO<sub>2</sub>+ C / Electrolito: NH<sub>4</sub>Cl + ZnCl<sub>2</sub>**

**Reacción Anódica: Zn + 2HO<sup>-</sup> ----> ZnO + H<sub>2</sub>O + 2e**

**Reacción Catódica: MnO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + 2e ----> MnO + 2HO<sup>-</sup>**

**Zn + MnO<sub>2</sub> ———> ZnO + MnO**



**FIGURA 4: Esquema de una pila seca de Zn-C**

### **Pilas alcalinas o de cinc/dióxido de manganeso (Zn/MnO<sub>2</sub>)**

La diferencia con la pila seca es el electrolito utilizado, en este caso, hidróxido de potasio, en vez de cloruro de amonio, y el cinc está en polvo. Son las de larga duración. Casi todas vienen blindadas, lo que dificulta el derramamiento de los constituyentes. Sin embargo, este blindaje no tiene duración ilimitada.

De uso común y generalizado en diferentes artefactos, algunas de ellas riesgosas por su contenido de mercurio. Se encuentran en el mercado en distintos formatos tales como A, AA, AAA. Categoría: Y29, Y34, Y35 categorías Y, según la Ley N° 24.051, de Residuos Peligrosos

Las reacciones de descarga de una pila alcalina son:

**Ánodo: Zn / Cátodo: MnO<sub>2</sub> + C / Electrolito: KOH (30%)**

**Reacción anódica: Zn<sup>0</sup> + 4HO<sup>-</sup> ----> Zn(OH)<sub>4</sub><sup>2-</sup> + 2e**

**Reacción catódica: 2MnO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + 2e ----> Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2HO<sup>-</sup>**



**Figura 5: Esquema de una pila alcalina**

### **Fundamentos del proceso propuesto**

Las bacterias utilizadas son *Acidithiobacillus thiooxidans* y *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Estas son bacterias autótrofas y acidófilas que debido a su metabolismo generan medio ácido. Este ácido sulfúrico biogenerado y sus componentes intermedios pueden utilizarse para lixiviar metales. *A. thiooxidans* no sólo tolera, sino que genera mayores concentraciones de ácido que cualquier otro organismo, con la posibilidad de generar un ácido sulfúrico con componentes reductores como los politionatos.

El ácido sulfúrico biogenerado disuelve los componentes de las pilas, que pueden ser recuperados por métodos físico-químicos. Las técnicas biohidrometalúrgicas permiten el ciclo de los metales con procesos semejantes a los ciclos biogeoquímicos naturales.

La ventaja de la utilización de microorganismos autótrofos es que sólo requieren un medio mínimo (pocos gramos de sales por litro) para su crecimiento. Otra ventaja es que estas bacterias no son patógenas para los hombres ni animales, y su carácter de acidófilas permite trabajar con tecnología menos sofisticada para evitar contaminaciones con otros microorganismos.

Los *Acidithiobacillus sp.* comprende bacilos Gram negativos con flagelación polar que pueden

obtener energía de la oxidación de compuestos reducidos de azufre, como azufre elemental, sulfuros y tiosulfatos, con la consiguiente formación de ácido sulfúrico. El número de electrones implicados en la oxidación desde sulfuro hasta sulfato es de 8 ( $2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2SO_4^{2-} + 4H^+$ ).

Los *Acidithiobacillus sp.* son bacilos pequeños (0,5x0,7x1,8  $\mu m$  en promedio, aunque variable según la especie, cepa y condiciones de cultivo). El intervalo de pH en que pueden vivir varía entre 0,5 y 0,9 según la especie. La temperatura óptima para su cultivo está entre 28 y 32°C. Los *Acidithiobacillus sp.* son capaces de crecer de forma autótrofa utilizando el dióxido de carbono del aire, como única fuente de carbono.

Una de las características más notables del género es su alta resistencia a los metales pesados y la posibilidad de adaptación a concentraciones cada vez mayores de los mismos en pocas generaciones. La defensa frente a los metales pesados puede desarrollarse por precipitación extracelular, por formación de complejos extracelulares, por impermeabilidad al transporte a través de la membrana, y por reducción del transporte o a través de la síntesis de metalotioneinas.

Las cepas tienen una alta potencialidad para adaptarse, y con esta característica son utilizadas en los sistemas de lixiviación de contacto. En este caso el azufre será el soporte y sustrato para la formación del biofilm, y es utilizado como fuente de energía por las bacterias. El proceso de biolixiviación en este caso es indirecto.

La biopelícula se forma cuando las poblaciones microbianas están encerradas o adheridas a una matriz que facilita la adherencia de unas células con otras o a superficies. La unión de las bacterias a las superficies es un proceso en dos fases: una fase de unión reversible y otra irreversible. La primera fase involucra la interacción entre células y la superficie en la forma de adsorción. Existe un equilibrio físico-químico entre la concentración de células en la solución y aquellas en la superficie del sólido. Posteriormente las bacterias secretan sustancias poliméricas extracelulares y forman una matriz haciendo la unión irreversible.

Luego de la formación de un vínculo estable, la interacción entre células libres y las adheridas disminuye. La desorción sólo es posible cuando fuertes fuerzas mecánicas son aplicadas al biofilm y en ese caso se desprenden agregados de células y matriz más que células individuales.

La matriz de la bio-película está compuesta por polisacáridos. Todo este complejo se logra en un reactor biológico en donde se colocan las bacterias oxidantes del azufre, un medio de cultivo y su sustrato, el azufre.

## **Descripción del sistema**

### **Biorreactor**

El sistema biohidrometalúrgico consiste en un reactor biológico tipo air lift. Los reactores tipo air-lift se distinguen por la circulación del fluido en un patrón cíclico claramente definido, están contruidos principalmente por dos tubos cilíndricos concéntricos, el aire ingresa por el tubo ascendente al que llamamos riser, y desciende por el descendente o downcomer. El reactor se inocula con una cepa de *Acidithiobacillus thiooxidans* que forma un biofilm sobre un lecho azufre elemental con el cual se rellena el reactor, que actúa como sustrato y soporte. Los detalles técnicos se incorporan como Anexo II.

### **Reactor de lixiviación**

El medio ácido generado se envía a un segundo reactor de lixiviación, que consta de un recipiente cilíndrico de polipropileno en el cual las pilas son puestas en contacto con el medio ácido reductor, agitando con paletas impulsadas por un motor de velocidad variable.

### **Reactor de recuperación**

Una vez completada la etapa de lixiviación, lo que sigue es la recuperación de los metales disueltos en el ácido como sulfatos. Se dispone de varias alternativas para esta etapa. Una de ellas es la electrólisis con electrodos de acero inoxidable, depositando óxido de manganeso en el ánodo, y zinc en el cátodo. Otra posibilidad es la cristalización de sulfato de zinc y sulfato de manganeso, previa eliminación de los otros metales que se encuentran en concentraciones minoritarias, como por ejemplo, el mercurio, cadmio y otros. Las diferentes variantes de recuperación final, necesitan de una última etapa de desarrollo que dependerá de la disposición final de la planta a implementarse.

### **Ventajas de la producción biológica de ácido sulfúrico**

La producción biológica de ácido sulfúrico por *Acidithiobacillus thiooxidans* está basada en la oxidación del azufre, que esencialmente es el mismo proceso para la producción comercial del mismo. El azufre se encuentra en muchos minerales en forma de sulfuros, aunque también existen depósitos de azufre elemental formados por la acción bacteriana sobre el sulfuro de hidrógeno.

Tanto la producción comercial como la biológica comparten los impactos ambientales de la extracción del azufre. Las ventajas de la producción biológica de ácido sulfúrico residen en una menor (casi nula) emisión de óxidos de azufre a la atmósfera, y el trabajo con soluciones diluidas, evitando así los

peligros que acarrea transportar y manipular ácido sulfúrico concentrado.

## **Conclusiones**

Según las experiencias de caracterización del biorreactor a escala piloto, tanto en lo que se refiere a parámetros de funcionamiento, como a los de recuperación de metales, se encuentran valores compatibles para sistemas de tratamiento masivo de pilas.

Estos sistemas ya se encuentran probados para pilas alcalinas. Nosotros hemos obtenido resultados de extracción de casi el 70% del manganeso y el 94% del zinc en el tratamiento de pilas comunes al nivel de planta piloto, obteniendo una solución de sulfato de manganeso y sulfato de zinc como principales componentes. Para esta escala, en un total de 30 días de experiencia, se lograron procesar 2,612 Kg de pilas. El diseño de planta piloto permite reescalar procesos que se verifican en laboratorio, para proyectar procesos a escala industrial con una cierta certeza de funcionamiento.

Entonces, se ha logrado encontrar una nueva aplicación a este sistema biohidrometalúrgico, que es el del procesado de pilas comunes y alcalinas. Los tiempos empleados en esta experiencia se pueden optimizar y reescalar a partir de mejoras en el equipamiento utilizado, condiciones de operación tanto del birreactor como del reactor de lixiviación. Se debe considerar además la separación y recuperación de los metales extraídos de la solución obtenida, así como del estudio de los residuos que quedan al final del proceso y su disposición final.

Se puede entonces afirmar que el sistema propuesto es apto para la extracción de los principales componentes metálicos de pilas comunes y alcalinas, debiéndose reescalar hasta sistemas reales, adecuados para su uso en el ámbito municipal. A gran escala, el tratamiento de pilas permite la recuperación de metales en estado elemental o en sus sales, que constituyen insumos industriales con un valor económico que subsidia en parte el costo de funcionamiento del sistema. Actualmente, es de esta manera que son concebidos las plantas de tratamiento funcionando actualmente en países de Europa o Estados Unidos.

### **Capítulo 3: Reciclado de Polímeros Plásticos**

La recuperación y reciclado de productos debe plantearse como una estrategia seria de una política de gestión de residuos. Esta Gestión de Residuos deberá contemplar: costo de recuperación, energía necesaria para su recuperación, precio del transporte y nuevas líneas de comercialización. El caso de los materiales plásticos, utilizados en todas las áreas de consumo, son, posiblemente, los que con mayor amplitud se transforman en productos manufacturados destinados a pequeños períodos de uso (ejemplo: embalaje).

Como consecuencia, cada día es mayor la cantidad de residuos de estos materiales, creando problemas ambientales y un despilfarro irracional de recursos. Estas razones son motivo suficiente para **Recuperar y Reciclar**, de alguna forma, los residuos de plásticos.

#### **Situación actual del plástico en Argentina.**

La industria del reciclado está creciendo rápidamente impulsada por el alto costo de la materia prima virgen y por la demanda del PET en China. La tecnología y los procesos de reciclado mejoran continuamente con lo que se logra una mejora muy importante en la calidad de los materiales reciclados. En nuestro País hay más de 49 plantas de reciclado y un total de más de 91, incluyendo las plantas que acopian, separan, muelen y lavan el plástico, entre otros procesos.

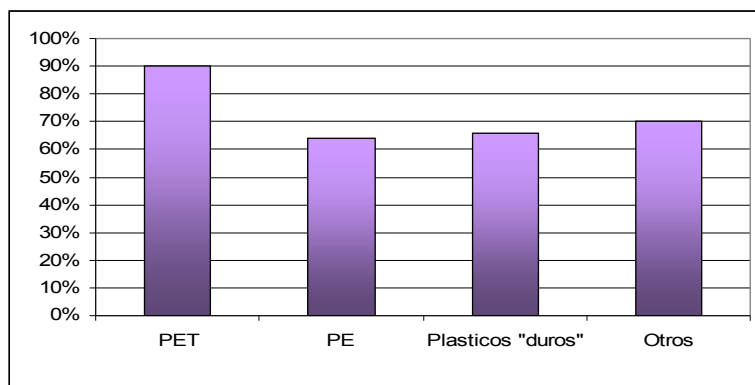
De las 1.060 ton/día de residuos plásticos generados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, unas 860 toneladas se dirigen al sistema CEAMSE, es decir más del 80%. La casi totalidad de este material que arriban al CEAMSE son enterradas. Las plantas de separación que han comenzado a actuar en ese relleno, sólo recuperan un pequeño volumen - 10 ton. diarias - que entregan a acopiadores del GBA.

Las 200 ton/día de plásticos recuperados, corresponden a un 25% del total de materiales recuperados, en donde prevalecen el Polietilenteftalato (PET) y el Polietileno (PE) (Figura 6). De estas 200 ton/día de plásticos recuperados, el 75% - unas 150 ton. Diarias - se dirige al GBA por medio de camiones de acopiadores o por tren. El 25% restante - unas 50 ton. Diarias - se entrega a acopiadores situados en la propia Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

El hecho que los plásticos representen la proporción más importante en valores de mercado respecto del total del valor de los materiales recuperados, significa un incentivo adicional sobre este tipo de materiales, por encima de los demás, en términos de establecerse un estímulo interesante que tracciona fuertemente la recuperación de materiales plásticos. Este incentivo, debería verse incrementado

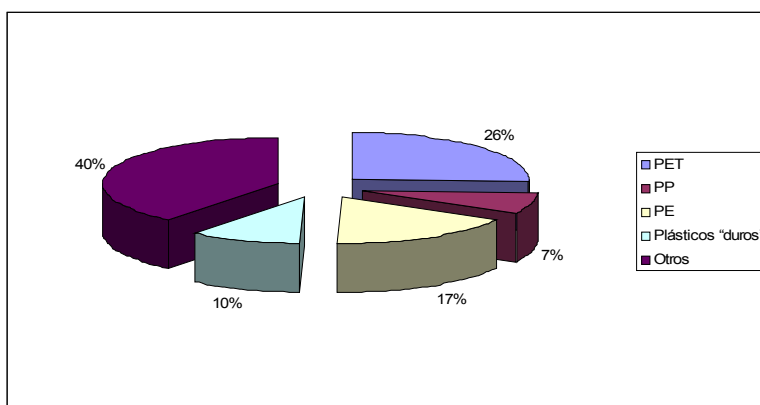
paulatinamente, sin un techo estimado, promovido por el aumento creciente de los valores del petróleo y sus derivados.

**FIGURA 6: Proporciones relativas de los materiales plásticos colectados por los recuperadores urbanos, según datos obtenidos de la actividad de recuperación en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.**



Respecto de las proporciones de los diferentes materiales plásticos recuperados, se puede observar en la ciudad de La Plata, proporciones comparables a los valores descriptos para la actividad en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Figura 7), con la salvedad de una menor proporción de recuperación de PET, de valor creciente en el mercado.

**FIGURA 7: Proporciones relativas del peso de los materiales plásticos colectados por los recuperadores urbanos, según datos obtenidos de la actividad de recuperación en la ciudad de La Plata.**



Es interesante hacer notar que estos resultados provienen de la actividad totalmente desregulada por parte de organizaciones más o menos estructuradas, en donde los incentivos más importantes es por un lado el valor de mercado de los materiales a recuperar, y por otro la facilidad de acceso a ellos. Es por ello, por ejemplo, que sigue siendo una actividad importante la recuperación de materiales celulósicos (papeles y cartones), aunque su costo relativo es notablemente menor, en relación al total de las ganancias posibles, pues se facilita el acceso a grandes cantidades con poco esfuerzo logístico.

Es dable suponer que para una actividad regulada, en donde se apliquen fuertes incentivos relacionados con factores no asociados a los valores de mercado y si al interés social de la mejor disposición final de RSU, estas proporciones deberían modificarse fuertemente. Sin embargo, los valores descriptos constituyen un buen punto de partida desde donde planificar.

Sobre este breve diagnóstico es que se pretende describir las alternativas viables para la recuperación de materiales plásticos desde los RSU.

### **Clasificación de los Polímeros (plásticos) según su uso tecnológico.**

Para establecer un marco de trabajo adecuado en la visualización de las tecnologías de recuperación y reciclado de materiales plásticos, se puede describir una clasificación de ellos según las siguientes categorías:

✓ **Termoplásticos:** Son materiales que pueden ablandarse por calentamiento y endurecerse por enfriamiento en un proceso físico reversible, lo que produce una modificación en su forma. Ej.: caucho natural, polietileno, poliestireno, poliamidas, policloruro de vinilo y sus copolímeros, copolímero estireno-acrilonitrilo.

✓ **Termorígidos:** Son polímeros entrecruzados que se obtienen mediante la generación de puentes entre las moléculas de polímero. Este entrecruzamiento es el responsable de sus propiedades mecánicas. No se observa un cambio apreciable en su deformabilidad con los cambios en la temperatura. Ej.: resinas fenol-formaldehído o urea-formaldehído.

✓ **Fibras:** Son materiales que presentan una alta resistencia a la tracción. Ej.: fibras naturales (seda) y sintéticas (poliésteres, nylon, poliuretanos)

✓ **Elastómeros:** Son materiales que exhiben una respuesta elástica cuando son deformados mediante una simple elongación. Cuando la fuerza que provoca la deformación es liberada el material retoma su forma original (bandita elástica) Ej.: caucho natural y elastómeros sintéticos como el copolímero butadieno-estireno (75:25) (SBR) y el de butadieno-acrilonitrilo (BUNA).

✓ **Adhesivos:** Estos materiales permiten la unión de dos superficies mediante diferentes tipos de proceso: mecánico (fluyendo entre dos superficies rugosas), químico (por reacción de ciertos grupos químicos primarios formando un nuevo enlace químico). Ej.: cianoacrilatos, productos fenólicos, gomas de siliconas y epoxi.

✓ **Materiales cubrientes:** Son materiales utilizados como protectores, por ejemplo en pinturas, pisos, en barnices, esmaltes, lacas, etc.

### **Clasificación de los Polímeros (plásticos) según su densidad.**

Una de las variables más interesantes, por su sencillez, para diseñar un sistema de recuperación de materiales plásticos, es la de la densidad. Teniendo en cuenta este dato, los distintos tipos de polímeros



pueden separarse mediante un proceso físico basado en sus diferencias en densidad. Este principio puede aplicarse a sistemas sencillos y de poca tecnología, aunque muy eficaces, para la separación post origen de los materiales encontrados en los RSU.

Polímero	Siglas	Número Símbolo	Estructura	Densidad (g/ml)
Polietileno baja densidad	LDPE	4	Lineal con ramificaciones	0,92 – 0,94
Polietileno muy baja densidad	LLDPE		Lineal con menos ramificaciones	0,92 -0,94
Polietileno de alta densidad	HDPE	2	Lineal sin ramificaciones	0,95
Polipropileno	PP	5	Lineal	0,93 – 0,94
Policloruro de Vinilo	PVC	3	Lineal	1,39
Polietilentereftalato	PET	1	Lineal	1,385
Poliestireno	PS	6	Lineal	1,04 - 1,065
Otros		7		1,190(PMMA) 2,28 (Teflón)

En agua destilada ( $\delta = 1,0$  g/ml), se separan PE y PP que flotan del resto. Estos dos polímeros, a su vez, podrían separarse en un segundo recipiente conteniendo una mezcla etanol/agua de composición tal que su densidad sea 0,93 g/ml, aunque esta separación es algo menos específica por las pequeñas diferencias en densidad de los materiales mencionados. El PS se puede separar de los restantes polímeros en un tercer recipiente conteniendo agua salada de densidad 1,2 g/ml.

Cabe destacar que la información indicada en la tabla anterior corresponde a los polímeros “puros”, es decir en ausencia de aditivos que podrían modificar su densidad.

### **Etapas para Reciclar el Plástico.**

Reciclar es cualquier proceso donde los materiales de desperdicio o post-consumo son colectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas. Es un proceso que nos ayudará a resolver algunos de los inconvenientes planteados por los residuos urbanos a la sociedad.

Para lograr este proceso ante todo es necesario superar algunos inconvenientes, el principal problema es la falta de conocimiento y capacitación específica de la sociedad en general.

**A) Recolección:** Todo sistema de recolección diferenciada que se implemente descansa en un principio fundamental, que es la separación en el origen.

**B) Centro de reciclado:** Aquí se reciben los residuos plásticos mixtos compactados en fardos que son almacenados a la intemperie. Existen limitaciones para el almacenamiento prolongado en estas condiciones, ya que la radiación ultravioleta puede afectar a la estructura del material, razón por la cual se aconseja no tener el material expuesto más de tres meses.

**C) Clasificación:** Luego de la recepción se efectúa una clasificación de los productos por tipo de plástico y color. Si bien esto puede hacerse manualmente, se han desarrollado tecnologías de clasificación automática, que se están utilizando en países desarrollados. Este proceso se ve facilitado si existe una entrega diferenciada de este material, lo cual podría hacerse con el apoyo y promoción por parte de los municipios.

## **Tipos de Reciclado Existentes.**

### **Reciclado Mecánico**

El reciclado mecánico es el más difundido en la opinión pública en la Argentina, es un proceso físico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial (scrap) es recuperado, permitiendo su posterior utilización.

El reciclado mecánico necesita grandes cantidades de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos para poder garantizar la calidad del producto final. Los residuos plásticos domiciliarios suelen estar compuestos por plásticos livianos, pequeños, fundamentalmente provenientes de los envases, pueden estar sucios y presentar sustancias alimenticias. Todo esto disminuye la calidad final del producto proveniente del reciclado mecánico, ya que se obtiene un plástico más pobre en propiedades comparado con la resina virgen. Por este motivo es importante disponer de alguna metodología que permita el control de calidad del producto final.

### **Reciclado Químico**

Se trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son transformadas en su materia prima original que puede ser utilizada para fabricar nuevos productos plásticos.

El reciclado químico tiene como objetivo la optimización de recursos y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación. Dando origen a productos finales de muy buena calidad.

El reciclado químico contribuirá con la optimización y ahorro de los recursos naturales al reducir el consumo de petróleo crudo para la industria petroquímica. Su principal desventaja es el alto costo involucrado. Existen diferentes procesos para el Reciclado Químico. Los más importantes son:

✓**Cracking:** Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

✓**Hidrogenación:** En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

✓**Gasificación:** Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

✓**Solvólisis:** Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.

✓**Metanólisis:** Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen.

Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la solvolisis y la metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. Otros, como ya se ha dicho, tienen menos requerimientos respecto de la materia prima a utilizar, aunque a grandes rasgos, dan lugar a materiales que en general son comparativamente de menor valor agregado que los primeros.

### **Aprovechamiento Energético**

Este método de reciclado se basa en la destrucción total de los materiales plásticos por incineración. Su principal desventaja es que tiene fuerte oposición de la sociedad debido a las indicaciones del Protocolo de Kyoto, este sugiere la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al 20% para el año 2010.

Por otro lado la legislación de la Provincia de Buenos Aires en cuanto al control de la calidad de Aire es muy estricta, lo que desfavorece la utilización de este método.

### **Diferentes propuestas para el Reciclado de los distintos tipo de Plásticos.**

#### **Reciclado de Envases de PET.**

El PET corresponde al Nombre Técnico del Polietileno Tereftalato o Politereftalato de etileno. Sus monómeros son dos compuestos derivados del petróleo: Etileno y Paraxileno. El PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, es menos denso que el agua, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales como por ejemplo, el PVC.

Su empleo actual es muy diverso; como envase, quizás el uso más conocido, se emplea en bebidas carbónicas, aceite, aguas minerales, salsas, detergentes y productos de limpieza, productos cosméticos, productos químicos, lubricantes y productos para tratamientos agrícolas. En forma de film, se emplea en contenedores alimentarios, láminas, audio / video y fotografía, blisters, films "High-Tech", embalajes especiales, aplicaciones eléctricas y electrónicas. Además, existe un amplio sector donde este material se emplea en la construcción de diversos elementos; fibra textil, alfombras, tuberías, perfiles, piezas inyectadas, construcción, automoción, etc.

**Fórmula – [-CO-C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>-CO-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-]**



El PET es un plástico de alta calidad que se identifica con el número uno, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según sistema de identificación SPI. El reciclado de los envases de PET se consigue por dos métodos; el **Químico** y el **Mecánico**, a los que hay que sumar la posibilidad de su **recuperación energética**.

El primer paso para su reciclado es su selección desde los residuos procedentes de recogida selectiva o recogida común. El PET junto con el PS posee una densidad menor que la del agua por lo que pueden ser separados de otros compuestos plásticos por flotación

El proceso de **recuperación mecánica** del PET se divide en dos fases. En la primera se procede a la identificación y clasificación de botellas, lavado y separación de etiquetas, triturado, separación de partículas pesadas de otros materiales como polipropileno, polietileno de alta densidad, etcétera, lavado final, secado mecánico y almacenaje de la escama. En la segunda fase, esta escama de gran pureza se grancea; se seca, se incrementa su viscosidad y se cristaliza, quedando apta para su transformación en nuevos elementos de PET.

El **reciclado químico** se realiza a través de dos procesos **metanólisis** y la **glicólisis**. Estos se llevan a cabo a escala industrial. Básicamente, en ambos, tras procesos mecánicos de limpieza y lavado, el PET se deshace o depolimeriza; se separan las moléculas que lo componen para, posteriormente, ser empleadas de nuevo en la fabricación de PET.

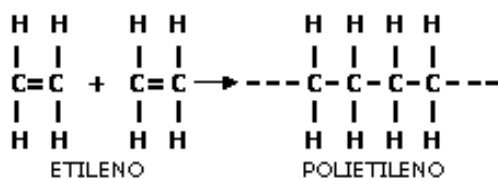
En comparación, el reciclado mecánico es menos costoso, pero se obtiene un producto final de menor calidad para un mercado más reducido con un mayor volumen de rechazos. Con el Método Químico se obtiene PET puro incoloro destinado a bebidas refrescantes, agua, aceites y vinagres, etc.



Este reciclado se facilita con el empleo de envases de PET transparente, ya que sin pigmentos tiene mayor valor y mayor variedad de usos en el mercado, evitando los envases multicapa, así como los recubrimientos de otros materiales, que reducen la reciclabilidad del PET, aumentando el empleo de tapones de polipropileno o polietileno de alta densidad y evitando los de aluminio o PVC que pueden contaminar grandes cantidades de PET, así como la inclusión de etiquetas fácilmente desprendibles en el proceso de lavado del reciclador, evitando sistemas de impresión serigráfica que provocan que el PET reciclado y granulado tenga color, disminuyendo sus posibilidades de uso, mercados y precio, así como las etiquetas metalizadas o con pigmentos de metales pesados que contaminan el producto final.

Alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruído en hojas para termoformado, inyectado / soplado (stretch blow-molded) en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo.

### Reciclado de Polietileno y Polipropileno (Polioefinas).

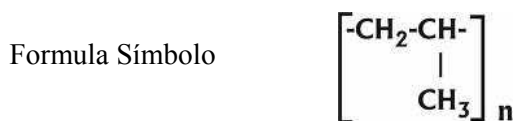
El Polietileno se produce a partir del ETILENO que es un derivado del Petróleo o del Gas Natural. La reacción General de Polimerización es:



<b>Aplicaciones del polietileno</b>	
 <b>PEAD</b>	 <b>PEBD</b>
Caños Envases soplados, botellas (Detergentes, lavandinas, artículos de limpieza, etc) Bidones, Tambores, Cajones Bolsas supermercado	Película Termocontraible Strech Film, Envasamiento automático Bolsas industriales, Film para Agro, Bolsas de Uso General Cables eléctricos

Existen distintas variedades del polietileno dependiendo de su aplicación final. Pero dos son las formas más conocidas en el mundo: el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polietileno de Baja Densidad (PEBD) – del cual se producen dos tipos: PEBD Convencional y PEBD Lineal –. Para facilitar su identificación para su posterior clasificación y reciclado, se han creado los símbolos que son utilizados internacionalmente.

Al Polipropileno se lo conoce con la sigla PP. Este plástico se caracteriza por el alto grado de dureza y brillo superficial, la resistencia a la abrasión y a los golpes, la elevada rigidez y, generalmente tiene una excelente resistencia a los agentes químicos. La temperatura de empleo puede alcanzar los 110°C. Las aplicaciones del PP se encuentran en la industria alimenticia y automotriz y en artículos para el hogar.



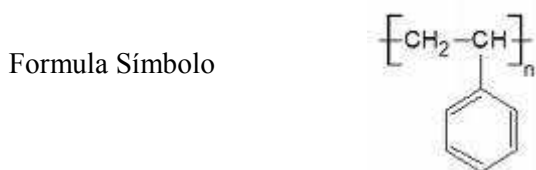
En industria alimenticia se lo encuentra en envases realizados con film biorientado: snacks, golosinas, galletitas y panificados. También en envases rígidos fabricados por inyección o termoformado: manteca, margarina, quesos, postres, yogurt, alimentos envasados para microondas, envases para helados. En tapas inyectadas para todo tipo de alimentos. Bidones para agua mineral y botellas sopladas para jugos.

En la industria automotriz se lo encuentra como material de paragolpes, frentes de tableros, baterías, parantes internos, baguetas externas e internas, revestimientos internos y otras autopartes. En artículos para el hogar se lo encuentra en muebles de jardín, juguetes, recipientes herméticos, envases de videocassettes, film para envasar cassettes de audio, video y cigarrillos, envases de productos de limpieza, electrodomésticos, macetas, correas para bolsos, manijas, etcétera

El reciclado químico se realiza a través de la pirolisis o Cracking Catalítico. En este tipo de tecnología de reciclado termoquímico, se propuso para promover el cracking a temperaturas mas bajas además de reducir el consumo de energía y elevar el porcentaje de conversión. Este proceso da como resultado una fracción gaseosa y otra fracción líquida alifática que contiene varios compuestos con diferentes números de carbono, a su vez estos pueden ser re utilizados por las industrias petroquímicas para la producción de nuevos compuestos.

### Reciclado de Poliestireno.

A diferencia de materiales como el PET, que son más amigables con el medio ambiente, el poliestireno expandido es uno de los materiales menos amigables. Esto se debe a que la polimerización del estireno no es reversible.



Esto no quiere decir que el poliestireno expandido no pueda ser utilizado nuevamente, de hecho una de las posibilidades que existen es volver a utilizarlo en la producción de poliestireno expandido. Existen

además otras posibilidades como por ejemplo en la construcción como componente del hormigón liviano, rellenos de terrenos, etc.

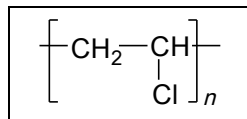
Algunas de las distintas formas de reciclado del poliestireno expandido son:

- Reuso del embalaje doméstico (mudanzas, almacenaje, jardinería, decoración).
- Molido de piezas de poliestireno expandido recolectadas. La molienda de PS se utiliza en la fabricación de hormigón liviano o en el aflojamiento de suelos, jardines, estadios.
- Volver al Poliestireno (PS): Con poliestireno expandido desgasificado se pueden fabricar piezas por inyección (macetas, carretes de películas, artículos de escritorio, etc.). Se rescata así la energía "intrínseca" del plástico. Esta energía (que es la acumulada durante todo el proceso industrial a partir del petróleo en el material), siempre es mayor a la obtenida por combustión.

### Reciclado de Policloruro de Vinilo

El policloruro de vinilo (PVC) es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, preservación de alimentos, electrónica, automotores, salud, artículos de uso diario entre otros.

Fórmula:



Las principales ventajas que presentan los PVC son el ser liviano, ignífugo, resistente a la intemperie y a la corrosión, transparente, no tóxico, inerte (al contenido), con buenas propiedades de permeabilidad y resistencia al impacto, con una buena relación costo/beneficio. Finalmente no es atacado por bacterias, insectos u hongos.

Se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco. Para su uso en distintas aplicaciones se le agregan dos tipos de aditivos: **funcionales** y de **proceso**. Los **aditivos funcionales** modifican o aumentan las propiedades inherentes a los plásticos y protegen los mismos de factores externos, como la luz solar, el fuego, microorganismos, etc. Entre ellos podemos mencionar: plastificantes, absorbedores de luz UV, modificadores de impacto, cargas y pigmentos, fungicidas, aromatizantes.

Los **aditivos de procesos** facilitan el procesamiento del PVC, evitando la adherencia de éste a las partes metálicas de las máquinas, impidiendo la degradación y propiciando el flujo. Entre estos tenemos: estabilizadores térmicos, lubricantes, antioxidantes, agentes deslizantes.

El agregado de estos aditivos permite lograr desde artículos rígidos (caños, perfiles de ventanas)

hasta muy flexible (contenedores para suero y sangre); opacos, translúcidos o cristales, pigmentados en la gama de colores que se desee, etc.

El PVC es un material ampliamente reciclado en todo el mundo. Es posible diferenciar los residuos generados por la industria transformadora, de los residuos generados en las ciudades. En los primeros lo habitual es reutilizar el material sobrante (scrap), convirtiéndolo en materia prima que será reutilizada en nuevas producciones.

En el segundo caso (RSU) debe existir una buena organización por parte de las autoridades locales que garanticen la recolección selectiva a partir de los RSU. En ellos los derivados de PVC son minoritarios, dado que en el MERCOSUR, por ejemplo, el 65% del consumo de PVC se destina a productos cuya vida útil supera los 50 años, tales como tubos y conexiones, cables, perfiles etc., dado que el PVC resiste bien el envejecimiento y la intemperie.

El PVC puede ser reciclado de tres maneras: mediante reciclado mecánico, mediante reciclado químico y mediante recuperación energética. El reciclado mecánico es el sistema más utilizado. Los residuos son seleccionados, lavados, molidos, reactivados de ser necesario y transformados en nuevos productos. El material así recuperado es empleado en la fabricación de innumerables productos, como tubos, perfiles, mangueras, laminados, artículos de inyección.

En el reciclado químico los residuos son sometidos a procesos químicos, bajo las condiciones de temperatura y presión necesarias para descomponerlos en productos más elementales como aceites y gases. Actualmente este proceso es aplicado solo en países tales como Alemania y Japón. La recuperación energética consiste en la incineración controlada de los residuos, bajo condiciones técnicamente avanzadas para la recuperación de la energía contenida en el material. Esta tecnología es aplicada en toda Europa, EUA y Asia, pero poco utilizada en América del Sur.

## **Conclusiones.**

La gran dificultad observada para el reciclado de los materiales plásticos encontrados en los RSU es debida principalmente a las grandes diferencias en propiedades que los mismos presentan así como a la escasa disponibilidad tecnológica para el reciclado de estos materiales.

El principal objetivo es el reciclado de todos los plásticos o de aquellos que se encuentran en mayor porcentaje dentro de los RSU. Este es un objetivo ambicioso, pero puede pensarse en un plan que considere las siguientes etapas:

Para una adecuada separación de estos materiales en base a su naturaleza química (vinculado a sus



propiedades) es necesario que exista una normativa legal que indique claramente la naturaleza específica del material en cuestión, aplicando la simbología internacional correspondiente a cada uno. La existencia e implementación de la misma claramente facilitarían la separación discriminada de los plásticos. Dado que actualmente esta normativa no existe en nuestro país, una posible alternativa, sería una separación previa teniendo en cuenta sus diferentes densidades, tal como se indicó.

Una vez lograda dicha separación, cada tipo de plástico podría reciclarse mediante alguna de las metodologías específicas propuestas. Sin embargo debe destacarse que para lograr este objetivo debe implementarse su articulación con las diferentes empresas interesadas en el reciclado y aprovechamiento de cada tipo de material. La cercanía de La Plata con el Polo Petroquímica de Ensenada, abre una cantidad interesante de alternativas aun no exploradas.

Ninguna de estas etapas entonces esta exenta de la necesaria intervención del Estado en cada una de sus instancias Nacional, Provincial y Municipal.

## **Capítulo 4: Estado actual y potencialidades de la recuperación de materiales celulósicos en el Partido de La Plata.**

### **Generalidades del problema.**

En el universo de los materiales encontrados en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), alrededor del 60% en peso de los actualmente recuperables, lo constituyen papeles, cartones y otros similares (Figura 2), que llamaremos genéricamente como materiales celulósicos (MC). Valuados por su valor de mercado, esta proporción se reduce a la mitad (Figura 3). En un universo estimado de 120 toneladas diarias de materiales recuperados en el Partido de La Plata, se corresponde con más de 2.000 toneladas mensuales de MC que, sólo en el Partido, se incorporan a procesos de fabricación de papel y cartón reciclado. Esta cantidad constituye un porcentaje muy elevado (de entre un 80% y un 95 %) de los MC encontrados en el total de los RSU, considerados en su globalidad

Aproximadamente, cada 2 toneladas y media de papel, cartón y desechos similares (material celulósico), se necesita 1 m<sup>3</sup> de espacio. Esto implica que, en el Partido de La Plata y en las condiciones actuales, con una escasa intervención por parte del estado y motorizado fundamentalmente por la actividad de los Recuperadores Urbanos, se está derivando por fuera del sistema CEAMSE, una cantidad de 2.000 m<sup>3</sup> mensuales para la disposición final, con el consiguiente costo ahorrado de transporte y espacio en vertedero. En el proceso de maduración de los residuos, el volumen necesario para la disposición final es bastante menor, dado que los MC finalmente se degradan, siendo una de las principales fuentes de metano y dióxido de carbono de los vertederos.

Por otro lado, considerando la comercialización ponderada de los distintos MC, sus diferentes calidades y valores de mercado, significan el movimiento mensual de casi seiscientos mil pesos (\$ 600.000), sólo en su primera etapa y en condiciones muy precarias. Estos recursos corresponden en su totalidad a una fracción de la remuneración como retribución por el trabajo precarizado de los RU. Por supuesto, este valor no representa en su verdadera dimensión la magnitud económica del reingreso de MC al circuito productivo completo.

### **Breve descripción del proceso de reciclado de MC.**

El reciclado de material celulósico es un proceso que se utiliza desde hace largo tiempo, casi desde el comienzo de la implementación de las tecnologías de fabricación de papel desde celulosa virgen, al reincorporarse al proceso buena parte de los sobrantes de corte que se obtenían en estas primeras plantas. La masificación del reciclado como un proceso industrial comienza hacia mediados de la década del cincuenta, mediante tecnologías que no han avanzado sustancialmente desde su implementación, estableciéndose paulatinamente parámetros de calidad que son los que han ido dando lugar a mejores productos.

Comparando los procesos de reciclado de MC, respecto de los procesos de fabricación de pasta de celulosa desde material virgen (madera), por cada tonelada de producto, el ahorro de agua es de algo más de 25 mil litros.

Las ventajas de la fabricación de papel desde materiales celulósicos utilizados, es que estos ya no tienen lignina en su composición, si presente en la madera. Esta sustancia de composición polifenólica y estructura indefinida, es la causa de la necesidad de implementar una serie de procesos de deslignificación y blanqueo. Estos procesos implican que la fabricación de pasta de celulosa sea una actividad ambientalmente agresiva. Es decir, se necesita de procedimientos adicionales que impidan la liberación al ambiente de sustancias con una carga contaminante importante, fundamentalmente compuestos organoclorados, entre ellos las dioxinas y los cloroguayacoles, clasificados como Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) y sometidos a severas restricciones por normativas y tratados internacionales. Esta circunstancia no es menor, pues es justamente una de las causas de la enorme conflictividad pública de los grandes emprendimientos de fabricación de pasta de celulosa en las costas del Río Uruguay.

La materia prima del reciclado del papel es el llamado recorte de papel, entendiéndose por recorte, todas las calidades de papel, cartones, cartulinas, impresas o no, que no pueden usarse como tales y que requieran de una previa transformación para su reemplazo en la fabricación de nuevos papeles. En La Plata, los productos que hoy se obtienen, son una gama de papeles de calidad baja y media que se pueden clasificar en cinco rubros fundamentales: Papeles Kraft, Sulfitos, Estracillas, Cartones y Cartulinas.

El proceso de obtención de fibra, para el empleo de las mismas en la fabricación del papel, comienza con la central de recortes. El hidro-pulper, es la maquina cuya función consiste en desmenuzar el recorte de papel, donde además se produce el primer proceso de depurado de pasta, ya que cuenta con una trampa extractora de sustancias más pesadas y de un dispositivo al cual se adhieren alambres, piolines, plásticos y otros elementos que deben eliminarse para una adecuada formación de láminas.

La masa es bombeada, desmenuzada en una concentración del 1,5% en fibra de celulosa, hacia una pileta de almacenamiento, previo paso por depuradores centrífugos. De allí pasa a un separador centrífugo, para luego ser enviada por bombas, a un espesador donde se eleva la concentración a entre un 3 y un 6 %, dependiendo de las necesidades operativas de la planta industrial. Luego habrá un proceso de deshidratación donde se le confiere a la pasta una sequedad de aproximadamente el 35 % en fibra de celulosa, de allí pasa a los tornillos precalentadores.

El desfibrador produce el amasado de la pasta y dispersa todo tipo de partículas bituminosas tales como cera, parafinas, etc. Luego mediante calentamiento se aumenta la concentración, de esta pileta se bombea a través de un grupo de despastilladores y refinadores de pasta de maquina, para ser incorporada al

circuito de papel. La maquina de papel recibe dicha pasta y mediante sucesivos procesos de dispersión, prensado y secado va obteniéndose el papel con la calidad requerida.

La cantidad de ciclos de procesado de la fibra de celulosa, depende de la longitud inicial de aquella. En general, se puede deducir un total de siete ciclos en promedio, lo que implica que durante el proceso de fabricación de papel, una pérdida de material de alrededor del 14% desde la masa inicial de material celulósico, suponiendo que la materia prima se constituye con una mezcla estable de papel virgen y papel reciclado. En este sentido, una de las cuestiones de interés en el proceso, es el hecho que en los efluentes líquidos se pierde una importante cantidad de fibra de celulosa, aquella que no se incorporan al papel elaborado.

### **Caracterización del proceso llevado adelante en La Plata.**

La fábrica a cargo de la Cooperativa de Trabajo Unión Papelera Platense funciona en La Plata luego de la recuperación de la antigua Papelera San Jorge, ubicada a la vera del Arroyo El Gato en la localidad de Ringuélet. Esta planta tiene una producción que consume, en las mejores condiciones, alrededor de 350 toneladas mensuales de papel en el proceso de reciclado. Esta capacidad puede ser aumentada hasta en un 30% considerando la infraestructura actualmente existente. Es importante reiterar que la mayor parte del papel consumido en esta planta, corresponde a insumos provenientes de la zona sur del Gran Buenos Aires. Sin embargo, representa entre un 15 y un 20% del material que se recupera en el ámbito del Partido.

Durante el procesado diario de 15 toneladas de papel, para un caudal de efluentes de 90 m<sup>3</sup>/h en doce horas de trabajo, con picos de 120 m<sup>3</sup>/h se encuentra una carga de sólidos del orden de 2 a 3 g/l, es decir, 2,7 toneladas por día. Estos valores encontrados son consistentes con las definiciones generales enunciadas, es decir, esta pérdida de material se correspondería fundamentalmente con la eliminación de fibra corta de celulosa. Esto se ilustra claramente en el aspecto que adquieren los efluentes crudos de la fábrica (Figura 8).

Esto equivale a más de 50 toneladas mensuales de materia orgánica representada en cantidades ingentes de fibra corta de celulosa que se elimina en los efluentes líquidos y que no puede ser reincorporada al circuito de reciclado por fabricación de papel. En la práctica, tanto en ausencia como en presencia de procesos de tratamiento de los efluentes, significa una carga ambiental importante.

### **Alternativas tecnológicas.**

La posibilidad de interceder en el proceso de fabricación de papel, incorporando tecnologías superadoras, tiene dos propósitos concatenados. Por un lado, otorga mayor valor agregado a los productos, viabilizando en mayor medida el reciclado de papel, jerarquizando la actividad y diversificando sus

productos. Como consecuencia, se tracciona positivamente toda la cadena de recuperación y reciclado del material, promoviendo una disminución todavía mayor de los MC en los rellenos sanitarios.

**FIGURA 8: Efluente crudo (sin tratar), proveniente del proceso de fabricación del papel reciclado (Papelería Platense, ex-San Jorge).**



Una de las etapas en donde esta intervención es muy factible es en el de tratamiento y recuperación de la FCC. En este sentido se está trabajando en sendos proyectos, financiados por el Programa Calidad de Vida de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación y por la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación para trabajar sobre los procesos de la Fábrica perteneciente a la Cooperativa ya mencionada. Uno de los propósitos de estos proyectos es justamente el diseño a escala industrial de un proceso que permita recuperar apropiadamente la FCC desde los efluentes líquidos y a partir de ella obtener un producto de alto valor agregado.

Las dos alternativas pasan por el tratamiento físico o el tratamiento químico de la FCC. En el primer caso se cuenta con tecnologías para la fabricación de láminas con diferentes propiedades de resistencia a la tracción o a la cizalladura que se obtienen por tratamiento térmico y de presión elevada. En el segundo caso existe una amplia gama de productos derivados de la celulosa como la carboximetil celulosa, la hidroxipropil celulosa, la metil celulosa, la hidroxipropilmetil celulosa y la celulosa microcristalina, insumos utilizados en diferentes rubros industriales.

El resultado de estos proyectos debería no sólo potenciar la actividad de recuperación de MC en el ámbito del Partido, sino que se contaría con tecnología transferible a otros procesos similares.

## **Conclusiones.**

En el Partido de La Plata se estima una recuperación de dos mil (2.000) toneladas mensuales de

MC. Dicha cantidad esta determinada por la actividad actual de los Recuperadores Urbanos, casi sin intervención del Estado y con una notable escasez de sistemas de segregación en origen.

Los porcentuales alcanzados actualmente muestran una eficiencia muy importante en recuperación de MC. La composición prevalente de edificios de administración pública existente en el casco urbano de la ciudad, debería favorecer la implementación de sistemas de recolección diferenciada que puede aumentar el total de los MC recuperados y vueltos a incorporar al circuito productivo.

La infraestructura actualmente existente para el reciclado de MC en el Partido de La Plata, corresponde a una capacidad suficiente para el tratamiento de alrededor de 1/5 de los recuperados en el Partido. Sin embargo, la mayor cantidad de material reciclado corresponde a MC proveniente del Gran Buenos Aires. Esto deriva de una compleja estructura de los circuitos de comercialización de estos materiales, que en la práctica encarece el proceso global al aumentar los costos de flete. Una reorganización de los circuitos de flujo de material, podría favorecer una disminución de los costos del proceso.

El proceso de reciclado de MC es limitado por naturaleza, dado que en el transcurso de los ciclos de fabricación de papel y cartón, alrededor de un 14% se pierde en forma de FCC, que es volcado al ambiente a través de sus efluentes líquidos o dispuestos en vertederos como residuos industriales de bajo riesgo luego de los tratamientos de depuración de dichos efluentes.

Sin embargo, la implementación de tecnologías adecuadas permitiría recuperar FCC, de manera de prolongar la vida útil del MC, obteniendo productos de alto valor agregado y potenciando el circuito de recuperación de materiales desde los RSU. Estas tecnologías ya están disponibles y hace falta un último esfuerzo por parte de los actores del sistema científico técnico, del estado y de los particulares involucrados, para incorporarlos eficientemente a los circuitos de recuperación y reciclado actualmente existentes.

## Referencias.

1. Airlift reactor with net draught tube. Journal of fermentation and bioengineering. Wen-Teng Wu y Jiumim-Yih Wu. Vol 70, nro 5. pp 359-361 (1990).
2. An efficient method of material recycling of municipal plastic waste. I. Fortelný, D. Michalková, Z. Krulis. Elsevier. 975 – 979 (2004).
3. Aproximación al sector clasificadores desde la perspectiva del Proyecto Entre Todos. A. Doménech. L. Betancor. Montevideo, (agosto 2007).
4. Cellulose and cellulose derivatives. Kenji Kamide, Elsevier (2005)
5. Evaluación del desempeño de Plantas de Separación de Residuos Sólidos. Plan Nacional de Valorización de Residuos. Dirección de Calidad Ambiental. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable (2001)
6. Garcia, A. y C. A. Jerez, 1995 Changes of the solid-adhered populations of *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans* in leaching ores as determined by immunological analysis. In C. Jerez, T. Vargas, H. Toledo and J. Wiertz (ed.) Biohidrometallurgical processing. University of Chile. Santiago, Chile. 19-30 (1995).
7. Ley N° 24.051, de Residuos Peligrosos, República Argentina.
8. Life cycle engineering of plastics. L. Lundquist, Y. Leterrier, P. Sunderlandand, E. Manson. Elsevier ltd. (2000).
9. Megapilas 2000. Revista del programa “La Química, el Hombre y su Hábitat”. Edición N°1 (septiembre 2000).
10. Municipio, Desarrollo Local y Residuos. Homero Máximo Bibiloni. (2006).
11. Optimización del Proceso y Tratamiento de Efluentes Líquidos del reciclado de papel. Fábrica recuperada Cooperativa de Trabajo Unión Papelera Platense. Informe Final Etapa I. Informe Técnico dirigido a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación. Facultad de Ciencias Exactas UNLP (febrero del 2008).
12. Perfil de la industria del reciclado de plásticos en Argentina y circuito de reciclado de RSU en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Informe técnico Plastivida (noviembre 2007).
13. Polymer Handbook, Brandrup, J.; Immergut, Edmund H. Eds. Wiley-Interscience; 4th edition (febrero 1999).
14. Programa modelo para la generación, desarrollo y articulación de emprendimientos productivos de organizaciones sociales dedicados al reciclado de materiales. Subsecretaría de Coordinación de Políticas Públicas. Provincia de Buenos Aires (2007).
15. Química General. Atkins, P.W. Omega. España (1992).
16. Reciclado de envases de PET, (enero 2000), en [www.estrucplan.com.ar](http://www.estrucplan.com.ar).
17. Tesis de licenciatura. M. Pía di Nanno, UNSAM (2003).
18. Tesis doctoral, Curutchet, G. UNLP (1996).





## **Anexo I: Proyecto de Ley para el Tratamiento y Disposición Final de Pilas y Baterías**

### **CAPÍTULO I: Disposiciones generales**

**ARTÍCULO 1º.-** La presente ley establece un régimen para la comercialización y gestión integral de pilas y baterías en cualquier estado que se encuentren, con concentraciones significativas de elementos tóxicos, nocivos o peligrosos, susceptibles de contaminar el ambiente, afectar la salud humana y animal o generar efectos negativos para la diversidad biológica en todo el territorio de la Provincia de Buenos Aires.

**ARTÍCULO 2º.-** A los efectos de la presente ley, se entiende por pila o batería a toda fuente de energía eléctrica portátil obtenida por transformación directa de energía química, las pilas se clasifican en primarias (no recargables) y secundarias (recargables).

**ARTÍCULO 3º.-** Están comprendidas dentro de las disposiciones de la presente ley todos los tipos de pilas y baterías en cualquier estado en que se encuentren, y todo artefacto que las contenga desde su fabricación o ensamble.

**ARTÍCULO 4º.-** Los objetivos de la presente ley son los siguientes:

- a. Proteger y preservar la salud humana y animal, la diversidad biológica y el ambiente en general;
- b. Minimizar los riesgos potenciales que producen las pilas y baterías utilizadas y su disposición final indiscriminada;
- c. Establecer una correcta gestión de las pilas y baterías;
- d. Definir y aplicar el circuito a seguir de las unidades de pilas y baterías desde su fabricación/importación hasta su destino con posterioridad a su uso.
- e. Sensibilizar y concientizar a la población respecto de las conductas positivas para el ambiente, y acerca de la contaminación que generan las pilas y baterías comprendidas en la presente ley;
- f. Promover la recuperación, reutilización y reciclaje de las pilas y baterías usadas; asegurando su correcta disposición final;
- g. Promover la sustentabilidad social y ecológica;
- h. Reducir los efectos riesgosos para el ambiente y la salud que producen las pilas y baterías usadas.

### **CAPÍTULO II: Sujetos obligados**

**ARTÍCULO 5º.-** Son sujetos obligados de la presente ley los fabricantes, importadores, comerciantes mayoristas, comerciantes minoristas y los consumidores finales de las pilas y baterías, figuras del estado públicas, privadas o mixtas. Aquellos que las retengan en instalaciones públicas o privadas, quedan sujetos a las especificaciones de estudio de impacto ambiental por parte del organismo de aplicación.

### **CAPÍTULO III: Gestión de pilas y baterías usadas**

**ARTÍCULO 6º.-** Queda totalmente prohibida la disposición de toda pila o batería usada en rellenos sanitarios sin ningún tratamiento adecuado.

**ARTÍCULO 7º.-** Los fabricantes, importadores y distribuidores mayoristas están obligados a fomentar el retorno de las pilas usadas por parte de los consumidores finales o comerciantes, según corresponda, y a disponer los medios adecuados para que al retorno de éstos productos se almacenen y transporten en forma adecuada y efectiva, según lo certifique la autoridad de aplicación.

Las pilas y baterías terminarán su circuito como retornables al llegar a la posesión de los fabricantes, importadores y distribuidores mayoristas.

**ARTÍCULO 8º.-** Se entiende por retorno de pilas y baterías, a la entrega de unidades de pilas usadas, desechables e inutilizables que efectúe el consumidor final al comerciante minorista, el efectivo traslado de las unidades por parte de éste último a su proveedor, y así sucesivamente el traslado por la cadena de comercialización hasta llegar al fabricante y/o importador del producto.

**ARTÍCULO 9º.-** Los fabricantes, importadores y distribuidores mayoristas, de pilas y baterías, deberán proveer a los integrantes de la cadena de comercialización lo siguiente:

- a. Recipientes adecuados para contener las pilas y baterías usadas, se entiende por recipiente adecuado todo recipiente estanco, con fecha de vencimiento no superior al año;
- b. Certificados de habilitación de dichos recipientes, extendidos por el organismo oficial que la autoridad de aplicación defina;
- c. Talonarios de recibos;
- d. Carteles, folletos u otra forma de publicidad mediante los cuales se promueva la necesidad de colaborar con el retorno de las pilas y baterías usadas, haciendo mención a la peligrosidad de las mismas, al incentivo económico y a la adecuada gestión.
- d. Los locales minoristas que comercialicen las pilas y baterías deberán ubicar los recipientes y la publicidad suministrados por los fabricantes e importadores en sitios visibles y de acceso público.

**ARTÍCULO 10º.-** Los comerciantes minoristas están obligados a fomentar la retornabilidad de las pilas, y baterías y recibirlas de los consumidores finales a cambio de una suma equivalente al porcentaje que fije la reglamentación.

**ARTÍCULO 11º.-** A los fines de ésta ley se considera incentivo económico al canon o porcentaje que la reglamentación disponga, cuyo monto se descuenta al valor de las pilas y baterías nuevas que adquiera el consumidor final.

Es condición sine qua non (condición necesaria) para la obtención de éste incentivo económico, la entrega de unidades de pilas y/o baterías usadas.

Por cada pila y/o batería usada entregada, se descontará a cada adquisición de unidad nueva, el porcentaje a que se refiere el presente artículo, primera parte.

Asimismo, este porcentaje o canon estará incluido en el precio del producto en caso de no retornarse las pilas y/o baterías usadas, al momento de la adquisición de las unidades nuevas, resultando la compra más onerosa.

**ARTÍCULO 12º.-** Todo comprador en la cadena de comercialización percibirá de su vendedor, ya sea comerciante minorista, comerciante mayorista, distribuidor, fabricante o importador, por el retorno de las pilas y baterías usadas, el incentivo económico del porcentaje que fije la reglamentación.

**ARTÍCULO 13º.-** Al momento de la entrega de las pilas o baterías usadas por parte del comprador al vendedor, integrantes de la cadena de comercialización, se confeccionará un recibo de los enunciados en el artículo 9 inc. c, que indique la cantidad de pilas y baterías entregadas, quedándose ambos con una copia del recibo.

**ARTÍCULO 14º.-** Los sujetos obligados por ésta ley, a excepción del consumidor final, recibirán y en su caso mantendrán, por el periodo de tiempo que establezca la reglamentación, las copias de los recibos en que constan las pilas y baterías usadas entregadas, los cuales deberán ser exhibidos ante el requerimiento de la autoridad de aplicación.

**ARTÍCULO 15º.-** Los sujetos obligados de la presente ley, estarán obligados a darles a las pilas usadas, recolectadas, un destino seguro, evitando que las mismas puedan causar un impacto negativo al medio ambiente.

El destino final de disposición que el fabricante e importador dará a las pilas usadas se ajustará a las normas de la ley 11.720.

Asimismo, serán responsables en caso de envío de las pilas y/o baterías a depósitos en vertederos o por su incineración, tal responsabilidad será sancionada con la pena que se fije en la reglamentación.

#### **CAPÍTULO IV: Requisitos para la comercialización**

**ARTÍCULO 16º.-** A partir de 1 (un) año de la fecha de promulgación de la presente ley, será requisito para comercializar u ofrecer para usos promocionales pilas y baterías, la inclusión en las mismas y en su envase contenedor las siguientes indicaciones, de acuerdo con el estándar internacional reconocido:

- a. un símbolo o leyenda que indique que la pila o batería es retornable;

- b. un símbolo representativo de reciclaje;
- c. un símbolo o leyenda que indique que no debe ser dispuesta con el resto de los residuos domiciliarios, y que debe ser reciclada o dispuesta adecuadamente;
- d. un símbolo del nombre químico del tipo de pila de que se trate;

Los fabricantes e importadores deberán hacer campañas publicitarias de información, educación y concientización para la posterior motivación de los individuos respecto a la devolución de las pilas y baterías usadas. La campaña educativa deberá consistir en incluir una línea telefónica gratuita, un sitio Web interactivo y material informativo para los comercios.

**ARTÍCULO 17°.-** Todo aparato que requiera para su funcionamiento pilas o baterías, así como las instrucciones para su uso en caso que las tuviera, deberá incluir información respecto a la cantidad y tipo de pilas o baterías que contenga y a su adecuada eliminación, en los términos de lo indicado en los artículos precedentes.

**ARTÍCULO 18°.-** Las pilas y baterías que estén incorporadas en aparatos deberán ser fácilmente removibles y de fácil acceso, con excepción de aquellos aparatos que, en función de sus características técnicas y de uso, sean exceptuados por la autoridad de aplicación.

**ARTÍCULO 19°.-** Los comerciantes, fabricantes e importadores, deberán implementar sistemas de gestión integral de pilas y baterías en el estado en que se encuentren que garanticen su adecuada recepción, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, según corresponda, a fin de evitar efectos negativos en el ambiente.

**ARTÍCULO 20°.-** La reglamentación establecerá las normas técnicas y metodológicas básicas para las operaciones de recepción, almacenamiento, transporte, tratamiento, y disposición final de las pilas y baterías usadas.

**ARTÍCULO 21°.-** La autoridad de aplicación fiscalizará el funcionamiento del sistema de retorno y recibo de pilas y baterías usadas.

## **CAPÍTULO V: Certificación**

**ARTÍCULO 22°.-** La autoridad de aplicación determinará los requisitos sobre las características técnicas que deberán cumplir las pilas y baterías comprendidas en la presente ley.

**ARTÍCULO 23°.-** Para comercializar las pilas y baterías, los fabricantes e importadores deberán, por intermedio de los organismos autorizados, certificar que cumplen con lo dispuesto en la presente ley y con los requisitos establecidos por la autoridad de aplicación. Toda modificación interna o externa de las pilas y baterías ya certificadas inhabilitará la comercialización de las mismas, generando la necesidad de una nueva certificación.

Las pilas y baterías contenidas en aparatos también requieren certificación.

La certificación tendrá una vigencia de dos años.

**ARTÍCULO 24°.-** La autoridad de aplicación determinará los organismos e instituciones oficiales autorizadas para la emisión de la certificación, los que deberán contar con un equipo de profesionales que posean el título habilitante de incumbencia.

## **CAPÍTULO VI: Autoridad de aplicación**

**ARTÍCULO 25°.-** Será autoridad de aplicación de la presente ley la Secretaria de Política Ambiental, y El Ministerio de Economía y Finanzas, a través de la Dirección General de Comercio, sin perjuicio de las competencias constitucionales y legales atribuidas a otros órganos y entes públicos.

**ARTÍCULO 26°.-** Son funciones de la autoridad de aplicación:

- a. Formular políticas en materia de gestión de pilas y baterías;
- b. Fiscalizar el cumplimiento de la presente ley, en el ámbito de su jurisdicción;
- c. Promover programas de educación ambiental, conforme a los objetivos de la presente ley;
- d. Promover la colaboración de los consumidores en el funcionamiento del plan de gestión que se determina en la presente ley;
- e. Realizar todas las acciones que se le encomiendan en la presente ley.

## **CAPÍTULO VII**

### **Infracciones y Sanciones**

**ARTÍCULO 27°.-** Responsabilidad Administrativa: Toda infracción a las disposiciones de esta ley, su reglamentación y las normas complementarias que en su consecuencia se dicten, será reprimida por la autoridad competente con las siguientes sanciones, que podrán ser acumulativas:

- a. Apercibimiento;
- b. Multa;
- c. Clausura temporaria, parcial o total;
- d. Suspensión de la actividad;
- e. Cancelación definitiva de las habilitaciones e inscripciones de los registros correspondientes.

Estas sanciones se aplicarán con prescindencia de la responsabilidad civil o penal que pudiera imputarse al infractor, incluyéndose la figura de estrago contemplada en el artículo 187 del Código Penal de la Nación.

Con respecto a las multas, el Poder Ejecutivo Nacional establecerá los montos a aplicarse, teniendo en cuenta la gravedad del incumplimiento y la reincidencia en el mismo;

La suspensión o cancelación de la inscripción en los registros implicará el cese de las actividades y la clausura de establecimiento o local, debiéndose efectuar las denuncias penales que pudiere corresponder.

**ARTÍCULO 28°.-** Se considerará reincidente al que, dentro del término de 3 (tres) años anteriores a la fecha de comisión de la infracción, haya sido sancionado por otra infracción, de idéntica o similar causa.

**ARTÍCULO 29°.-** Lo ingresado en concepto de multas a que se refiere el artículo 26, inciso b) serán percibidas por la autoridad de aplicación, según corresponda, para conformar un fondo destinado, exclusivamente a la restauración, protección ambiental y a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento y disposición final de pilas y baterías a través de las Universidades Nacionales, no pudiendo ser utilizado para otros fines presupuestarios, en cada una de las jurisdicciones, y de acuerdo a lo que establezcan las normas complementarias.

**ARTÍCULO 30°.-** Cuando el infractor fuere una persona jurídica, los que tengan a su cargo la dirección, administración o gerencia, serán solidariamente responsables de las sanciones establecidas en el artículo 27.

**ARTÍCULO 31°.-** Jurisdicción: Será competente para conocer de las acciones que derivan de la presente ley la Justicia ordinaria que corresponda.

## **CAPÍTULO VIII: Disposiciones complementarias**

**ARTÍCULO 32°.-** El Poder Ejecutivo reglamentará la presente ley dentro de los 120 (ciento veinte) días corridos a partir de su promulgación.

**ARTÍCULO 33°.-** Comuníquese al Poder Ejecutivo.

## **Anexo II: Detalles técnicos de funcionamiento de planta piloto de biolixiviación de pilas agotadas (PlaPiMu – CIC – UNLP)**

Se describen los detalles técnicos de funcionamiento de la planta piloto hoy en funcionamiento en las instalaciones de la Planta Piloto Multipropósito (PlaPiMu), laboratorio dependiente de la CIC y de la UNLP. Este proyecto comenzó a desarrollarse en el laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de San Martín, se estudio la aplicación del proceso de biolixiviación a las pilas recargables de Ni- Cd y Li-ion. A partir de la obtención de un subsidio del Gobierno de la Región Lazio (Roma- Italia) gestionado por el Círculo Laziale de La Plata, se logró montar la pequeña planta piloto de la que se hará una descripción en detalle. El proyecto se encuentra actualmente detenido por falta de subsidios, aunque se están gestionando posibilidades de continuidad.

Como director y codirector del Proyecto participan respectivamente el Dr. Gustavo Curutchet de la Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Martín (UNSAM) y el Dr. Horacio Thomas, Director de PlaPiMu. CINDECA- UNLP. Como coordinadora del Proyecto participa la Lic. M. Lorena Falco. Como pasantes intervienen las estudiantes Analía Martínez, Victoria Ruiz Menna, Silvia Andrade.

Algunas determinaciones auxiliares se realizan por colaboración con el Laboratorio de Servicios a la Industria y al Sistema Científico (LaSeISiC – CIC – UNLP – CONICET) y como servicio a terceros en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) y en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (LIS) de la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

Se encuentran montados y en funcionamiento el biorreactor de producción de ácido, y el reactor de lixiviación. Se ha comprobado que extraen efectivamente tanto el zinc como el manganeso. En adelante se pretende la puesta a punto del reactor de recuperación, en el cual se buscaría separar por electrodeposición el zinc y óxido de manganeso, así como el estudio de los residuos que resultan del proceso, y la optimización de tiempos y rendimientos. Se analizarán otras alternativas para la etapa de recuperación, y el posterior reescalado de la planta piloto, a un tamaño mayor que pueda procesar mayor cantidad de pilas. Dicho proceso sería aplicable a otro tipo de pilas, como las recargables.

### **Materiales y Métodos**

\* *Acidithiobacillus thiooxidans*. La cepa proveniente de Brasil se mantiene en erlenmeyers en una pecera con aireador y una temperatura de 30°, con medio de cultivo Ok. Se realizaron repiques periódicos, añadiendo azufre elemental como fuente de energía.

\***Reactor air lift**. Reactor de acrílico, resistente al ácido generado por las bacterias, con aireación, que proporciona el movimiento del líquido a partir de un “tiro de aire” que también aporta los nutrientes gaseosos (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>). En nuestra experiencia de planta piloto, el reactor fue rellenado con 19 kg de azufre de una granulometría <5 mesh, eliminando previamente el polvo formado al moler las barras de azufre. El sistema

es heterogéneo pues consiste en una fase gaseosa, líquida y sólida. El reactor relleno de azufre tiene un volumen total aproximadamente de 30 litros, trabajando a una temperatura de 30°.

**\*Reactor de lixiviación:** Consiste en un recipiente cilíndrico de polipropileno de 50 litros de capacidad al que se le monto un motor de velocidad variable que impulsa un agitador de paletas. Este se carga de pilas sin carcasa de acero, mas el ácido biogenerado por las bacterias del reactor en un volumen de aproximadamente 28 litros.

### **Caracterización del reactor Air-Lift**

Antes de comenzar a trabajar en la producción de medio ácido biogenerado es necesario caracterizar biorreactor. Para estos se midieron los siguientes parámetros:

#### **1) Determinación del hold up gaseoso**

**Retención del gas ó “holdup” ( $\epsilon$ )** es la fracción de volumen del gas en dispersión ó *holdup*, fue medido por el método de expansión de volumen.

$$\epsilon = (h_D - h_L) / h_L$$

donde  $h_D$  es la altura de la dispersión gas-líquido (en m) y  $h_L$  es la altura del líquido no gasificado (en m).

El hold-up gaseoso es otro de los parámetros que se estudian para caracterizar este tipo de reactores debido a su influencia sobre el tiempo de residencia de los gases en el medio y las características de mezclado del mismo. Se determinó marcando el nivel del líquido antes de encender el compresor y midiendo la altura del mismo desde la base del reactor. Luego se encendió el compresor y se marcó la nueva altura del líquido. Este parámetro se determinó en el reactor con y sin el lecho de azufre.

#### **2) Determinación del tiempo de mezclado:**

Se define como el tiempo en que la concentración de un pulso de trazador tarda en alcanzar el 95% de homogeneidad. En reactores tipo air lift, el tiempo de mezclado depende de la velocidad superficial del gas (m/s), relacionada con la aireación. Se tomó como definición de homogeneidad ( $h$ ) la diferencia de concentración a cierto tiempo menos la concentración a tiempo infinito sobre la concentración a tiempo infinito, según la ecuación:

$$h = (C_t - C_\infty) / C_\infty$$

Se determinó este parámetro con y sin el agregado de azufre. El tiempo de mezclado se determinó utilizando el colorante azul de metileno.

Se preparó una solución del colorante a la cual se le realizó el espectro de absorción entre 400 y 700 nm para determinar el pico máximo de absorbancia. A esa longitud de onda (662 nm) se realizaron las

siguientes determinaciones. Se añadió la solución al reactor y se tomaron muestras a distintos tiempos leyéndose las mismas en el espectrofotómetro.

### 3) Determinación del $K_{La}$

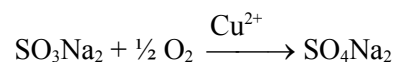
En los cultivos aeróbicos es de fundamental importancia tener en cuenta la transferencia de oxígeno al medio ya que este es el aceptor final de electrones en la cadena de transporte. La velocidad de transferencia de  $O_2$ ,  $RO_2$ , desde el seno de la fase gaseosa (burbujas) hasta la fase líquida está dada por la siguiente ecuación:

$$RO_2 = K_{La} (C^* - C)$$

donde  $K_{La}$  es el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno,  $C$  la concentración de  $O_2$  disuelto en el seno del líquido y  $C^*$  la concentración de  $O_2$  disuelto que estaría en equilibrio con la presión parcial de oxígeno de la fase gaseosa. El  $K_{La}$  depende del diseño del biorreactor, de las condiciones de operación (caudal de aire, agitación) y de la viscosidad del cultivo. A mayor viscosidad menor  $K_{La}$ .

El  $K_{La}$  es una medida de la capacidad que posee un biorreactor para suministrar  $O_2$  y el rango de valores usuales está comprendido entre  $50 \text{ h}^{-1}$  y  $1000 \text{ h}^{-1}$ . Los valores obtenidos para reactores air lift son menores: desde 5 hasta  $120 \text{ h}^{-1}$ , por ejemplo.

Determinación experimental del  $K_{La}$ , método del sulfito. Si bien posee la desventaja de sobreestimar el valor del  $K_{La}$ , sigue siendo bastante utilizado, dada la simplicidad de los materiales necesarios para la determinación. Se basa en la oxidación del sulfito de sodio a sulfato en presencia de iones cobre.



Si la concentración de cobre está en el orden de  $0,5 - 0,002 \text{ M}$ , y el pH se mantiene entre 7 - 8, la reacción es lo suficientemente rápida como para que la concentración de oxígeno disuelto,  $C_L$ , se aproxime a cero, y se conserve el espesor de la película. La concentración final de sulfito debe ser mayor que  $0,015 \text{ M}$ , de manera de que la reacción no dependa de éste (orden cero).

Suponiendo que el oxígeno reacciona en el seno del líquido con el sulfito, luego de difundir a través de la burbuja, la velocidad de reacción ( $r$ ) estará controlada por la velocidad de difusión de oxígeno ( $RO_2$ ):

$$r = \frac{d[O_2]}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d[SO_3^-]}{dt} = RO_2 = K_{La} C^*$$

$C_L \approx 0$

## **Seguimiento de la producción de ácido y crecimiento bacteriano, mantenimiento de cepas**

**1) Determinación del pH:** Tanto del reactor, las muestras tomadas de la pecera y del lixiviado, con un electrodo de vidrio combinado, calibrado a pH 1,5.

**2) Determinación de ácido sulfúrico biogenerado:** Diariamente se titulan las muestras con solución de hidróxido de sodio aproximadamente 0,02N usando fenolftaleína 1% p/v como indicador ácido-base, tomando 1ml de la muestra filtrada (para evitar el paso de azufre coloidal), al que se le adicionan dos gotas del indicador, se titula hasta que vire a rosa.

**3) Determinación de la población bacteriana.** Para cuantificar el número de bacterias se utilizó el conteo celular en cámara. El conteo se realizó por recuento en cámara de Thoma (diariamente). Las células adheridas, se cuantificaron utilizando el método de desorción con Tritón al 0,1% (Jerez, 1995). Los datos obtenidos se expresan como células/gramo de azufre.

**4) Reactor de lixiviación:** Se toman 10ml.de muestra, se realizan los análisis de pH y consumo de ácido por valoración con Na(OH). Se determina la concentración de metales pesados: manganeso por colorimetría (método del periodato) y absorción atómica, y zinc y mercurio, por absorción atómica.

## **Resultados y discusión**

### **✓Caracterización del biorreactor Air-Lift:**

1. Volumen del reactor sin lecho de azufre: 40 L.
2. Volumen del reactor con azufre: 24.5 L.
3. Volumen muerto del reactor: 4,1 L (es el volumen de la parte inferior del reactor, por debajo de las válvulas de descarga)

El reactor se relleno con 19 Kg. de azufre de una granulometría <5mesh, esta fue la máxima carga que permitió el volumen del downcomer. Se llama carga del reactor al agregado de medio de cultivo nuevo, se agrega medio OK y se utiliza agua de red, ya que se comprobó en experiencias anteriores que no hay diferencias entre el uso de agua destilada y agua corriente.

En la primera carga se llevo el medio a pH=2,5 agregando ácido sulfúrico 1:10, y se inoculó con un cultivo de A.T, previamente crecido en erlenmeyer especialmente para la inoculación del reactor. En las cargas sucesivas ya no es necesario el agregado de ácido para llevar a pH ni del inóculo, ya que el biofilm formado sobre el azufre y el ácido que queda en el volumen muerto del reactor actúan de inoculo y mantienen el pH ácido.



✓ **Determinación del hold-up gaseoso( $\epsilon$ ):**

Tabla 1- hold-up gaseoso

	$h_D$	$h_L$	$\epsilon = (h_D - h_L) / h_L$
sin azufre	185,8 cm.	183,6	0,0119
con azufre	192	187	0,0267

✓ **determinación del tiempo de mezclado:**

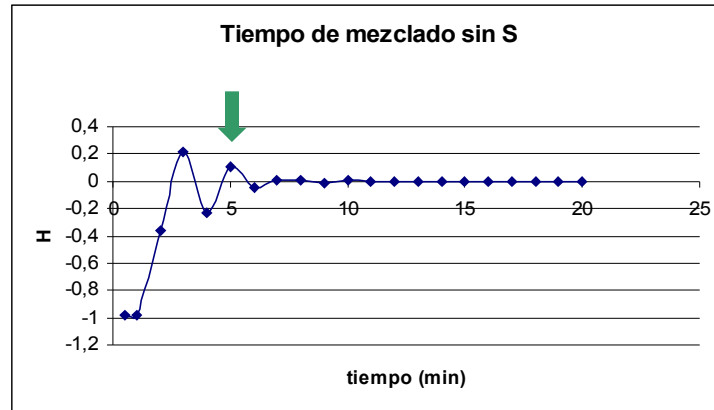


Fig.3-grafico del tiempo de mezclado sin lecho de azufre.

Tiempo de mezclado = 8 min

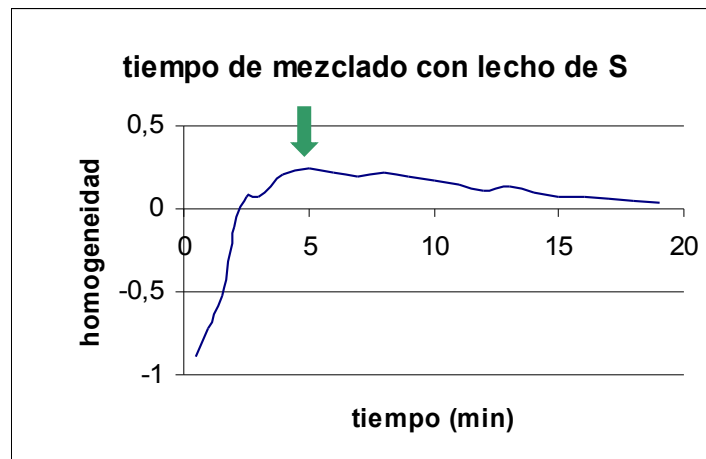


fig.4-grafico del tiempo de mezclado con lecho de azufre.

Tiempo de mezclado=15min.

✓ **determinación del  $K_La$ . Método del sulfito:**

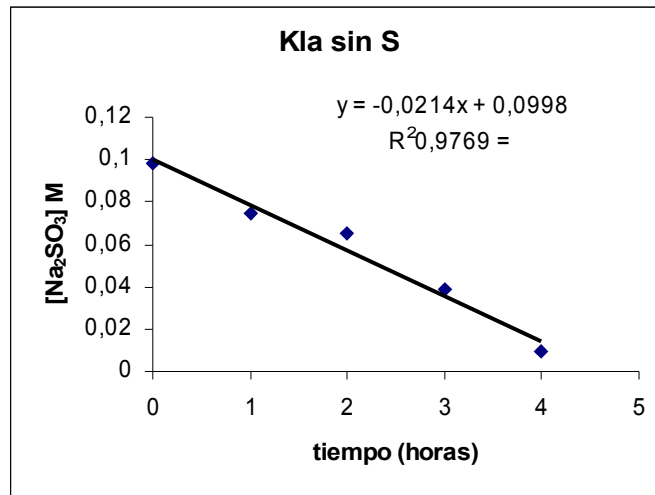


fig.5-grafico de determinación de KLa sin lecho de azufre

**KLa= 85,6 1/h**

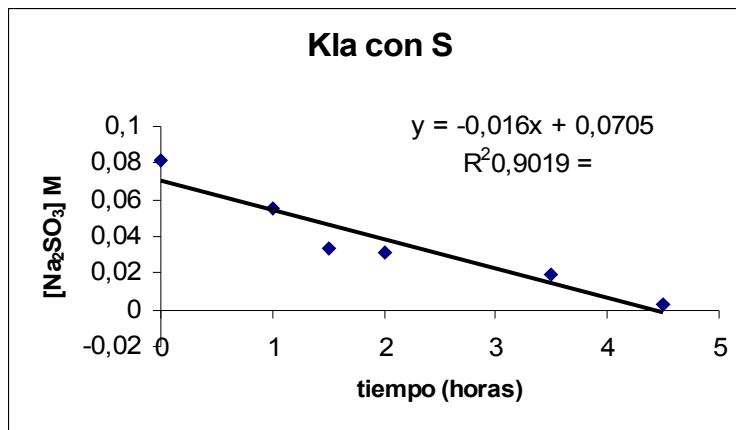


fig.6- grafico de det. del KLa con lecho de azufre

**KLa= 64 1/h**

## Funcionamiento y productividad del reactor

### 1) Producción de ácido:

A continuación se muestra el gráfico de la cinética de producción de ácido en el biorreactor en mmoles de protón por litro. Observamos que en 15 días de operación del reactor logramos la concentración óptima de protones para la biolixiviación que es de 350 mM de protón. El pH varía entre 2,5 y < 0,5 en la primera carga y entre 1,5 y 0,5 en la segunda carga.

### Producción de ácido

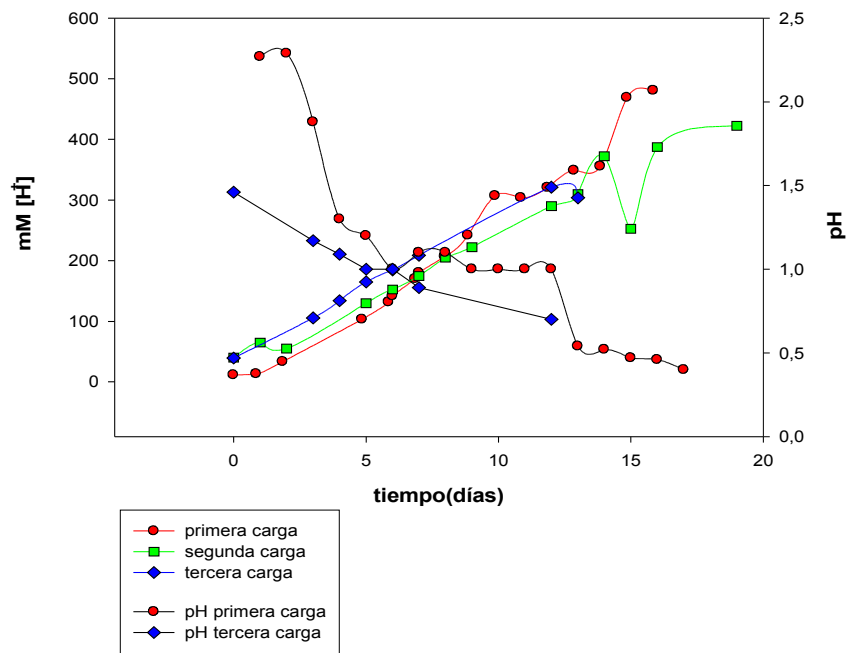


fig.7 - Cinética de producción de ácido y variación de pH

### 2) Determinación del crecimiento bacteriano:

En el gráfico de células libres (las que no están adheridas en el azufre) por ml, en función del tiempo. Podemos apreciar una fase lag de 5 días en la primera carga, lo cual se debe a la adaptación de las bacterias al nuevo reactor, y a la formación del biofilm sobre el azufre.

### Crecimiento Bacteriano

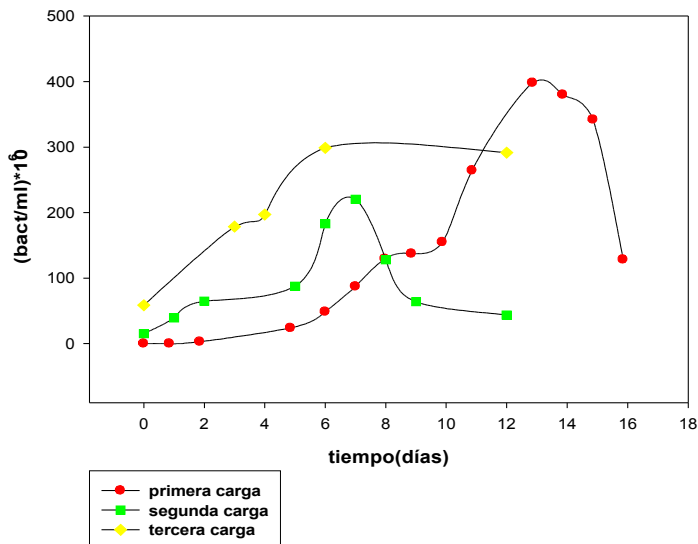


Fig.8-gráfico de cinética de crecimiento celular.

Esta fase lag se achica en la segunda carga y desaparece a partir de la tercera, ya que el biofilm ya esta formado y el volumen muerto luego de cada descarga sirve como inóculo de la carga siguiente.

## Reactor de Lixiviación

### a) Composición inicial de las pilas alcalinas y comunes:

Para conocer la composición inicial de las pilas que vamos a analizar, se realizó la digestión en agua regia ( $\text{HNO}_3+\text{HCl}$ ) de 6 pilas, y su posterior determinación de la concentración de metales por AA. En las tablas siguientes se observan los resultados, los porcentajes dependen de la marca de la pila, se realizó un promedio sobre las pilas que se van a tratar en el reactor de lixiviación.

Tabla 3- Composición promedio de las pilas con carcaza

Pila	masa pila entera (gr.)	masa pila sin carcaza (gr.)	% p/p Mn	% p/p Zn	% p/p Fe
pila 1	23,745	16,616	13,43	14,90	29,98
pila 2	18,014	10,142	10,60	29,18	24
pila 3	24,268	17,501	16,19	20,50	27,88
pila 4	23,239	17,906	18,24	20,65	22,52
pila 5	11,372	10,869	9,67	24,96	2,8
pila 6	17,81	9,438	8,70	20,21	24
<b>promedio <math>\pm</math> desv.</b>	<b>19,741 <math>\pm</math> 4,57</b>	<b>13,74 <math>\pm</math> 3,64</b>	<b>12,81 <math>\pm</math> 3,49</b>	<b>21,73 <math>\pm</math> 4,43</b>	<b>21,86 <math>\pm</math> 8,9</b>

Tabla 4- Composición promedio de las pilas sin carcaza

Pila	masa pila entera (gr.)	masa pila sin carcaza (gr.)	% p/p Mn	% p/p Zn
pila 1	23.745	16.616	19.75	21.29
pila 2	18.014	10.142	18.33	16.79
pila 3	24.268	17.501	22.45	28.43
pila 4	23.239	17.906	23.61	26.80
pila 5	11.372	10.869	10.12	26.11
pila 6	17.81	9.438	16.42	8.94
<b>promedio <math>\pm</math> desv.</b>	<b>19.74 <math>\pm</math> 4.57</b>	<b>13.74 <math>\pm</math> 3.64</b>	<b>18.45 <math>\pm</math> 4.43</b>	<b>21.39 <math>\pm</math> 6.8</b>

### b) Lixiviación:

Se trataron un total de 2611,7 g de pilas comunes y alcalinas, se abrieron con el equipo especialmente diseñado para esta operación y se separo la carcaza de la parte interna de las mismas, las carcazas se lavaron con el ácido sulfúrico biogenerado. La masa de las carcazas fue de 541,6 gr. La parte interna que consiste en un barro con Zn, C,  $\text{MnO}_2$ , electrolito y otros elementos traza. Se mezcló en el reactor de lixiviación con el ácido sulfúrico producido por las *Acidithiobacillus thiooxidans* en el biorreactor. Luego se tomaron muestras periódicas de lixiviado, y se analizaron las concentraciones de Zn y Mn, así como la evolución del pH y el consumo de protones. La experiencia duró 30 días, dentro de los cuales se realizaron dos extracciones, es decir, se descargo una vez el reactor de lixiviación (filtrando), y se recargo con medio

ácido del biorreactor una vez más.

En los gráficos que vemos a continuación, observamos como aumenta la concentración de los metales principales componentes de las pilas en solución con el tiempo, observamos que el Zn se extrae con mayor efectividad que el Mn, lo cual es lógico por la alta reactividad del Zn frente a los ácidos.

### Extracción de Mn(II)

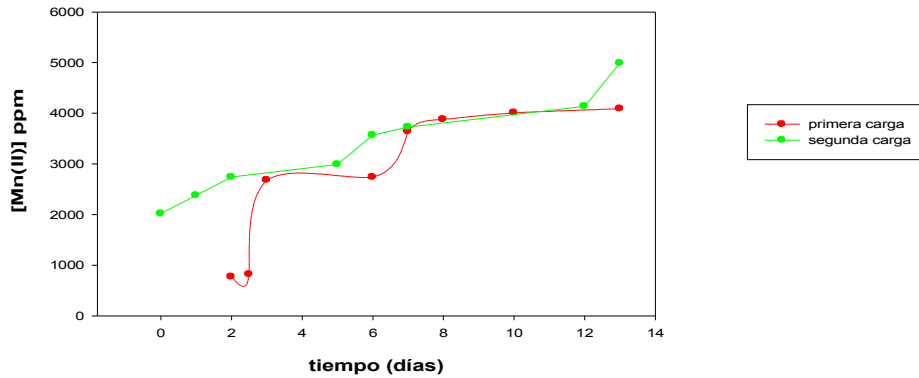


fig.9-Biolixiviación del Mn

### Extracción de Zn(II)

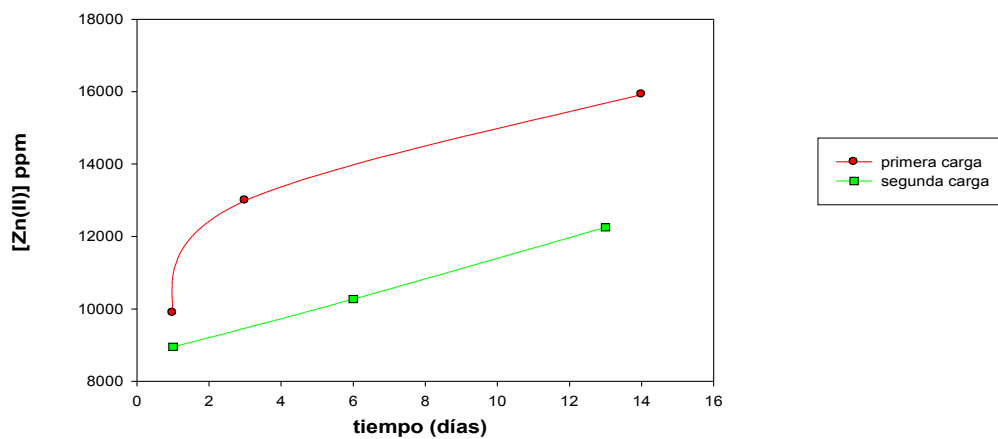
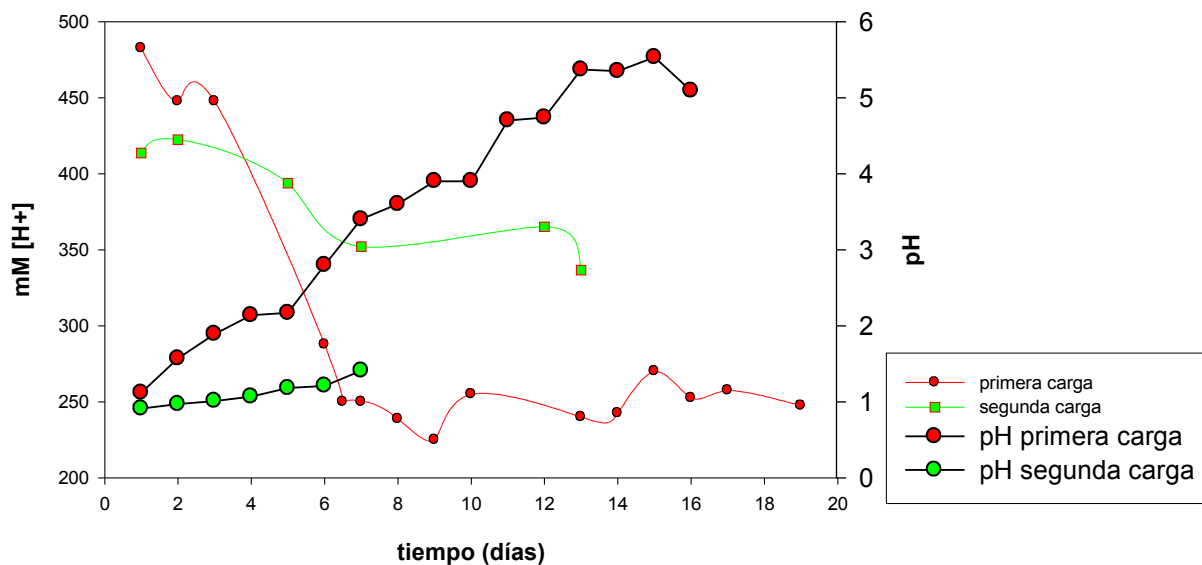


fig. 10- Biolixiviación de Zn

Tabla 6: Concentración y porcentaje extraído de los metales al final de la lixiviación.

Metal	Concentración Final (ppm)			
	Mn		Zn	
Primera carga	3880	29,99	15919,8	53,3
Segunda carga	5000	36,70	12251,9	41,02
		<b>66,69</b>		<b>94,32</b>

## Consumo de protones-Evolución de pH



### Conclusiones

Según las experiencias de caracterización del biorreactor, uno de los valores más representativos es el  $K_{La}$  que dio un valor de 85, 6 1/h para el reactor solo con medio líquido y de 65 1/h para el reactor una vez rellenado con azufre en el downcomer. Estos son buenos valores de transferencia de oxígeno para reactores de este tipo, teniendo en cuenta que los valores de  $K_{La}$  para un reactor air lift van desde 5 hasta 120 1/h, por ejemplo, (Wu y Wu, 1990).

Respecto de la producción de ácido, utilizamos un punto final de entre 400 y 500 mM  $H^+$  para realizar la lixiviación, esta fue la etapa limitante del proceso debido a que para llegar a estas concentraciones de ácido se necesitaron ciclos de 15 días en promedio, de todas formas vemos que este tiempo disminuye de la primer a la tercer carga. Aunque el punto final utilizado en experiencias anteriores para lixiviación de baterías recargables fue de 350 mM  $H^+$ , concentración que se obtuvo a los 10-12 días. Esto se podría optimizar en los sucesivos ciclos del biorreactor, con el aumento del caudal de aire, o disminuyendo aún más la granulometría del azufre.

Según los estudios de biolixiviación, observamos que en dos extracciones sucesivas, utilizando en total 56 litros de medio ácido se logró extraer casi el 70% del manganeso y el 94% del zinc, obteniendo una solución de  $MnSO_4$ ,  $ZnSO_4$  como principales componentes, en un total de 30 días de experiencia, logrando procesar en este tiempo unos 2611,7 gr. de pilas.

Se ha logrado encontrarle una nueva aplicación a este sistema biohidrometalúrgico, que es el del procesado de pilas comunes y alcalinas, los tiempos empleados en esta experiencia se pueden optimizar a partir de mejoras en el equipamiento utilizado, condiciones de operación tanto del biorreactor como del reactor de lixiviación, y aun falta lo más importante, que es la separación y recuperación de los metales

extraídos de la solución obtenida, así como del estudio de los residuos que quedan al final del proceso y su disposición final.

De las experiencias realizadas podemos concluir que el sistema estudiado en este trabajo es apto para la extracción de los principales componentes metálicos de pilas comunes y alcalinas.