

RECUPERACIÓN DE RECURSOS Y RECICLAJE

Dr. Ing. Salustio Guzmán

McGill University, Department of Mining Metals and Materials Engineering
Montreal, Quebec, Canadá.

RESUMEN

La vasta y creciente cantidad de materiales estériles, materiales fuera de especificaciones o redundantes, y materiales obsoletos generados como consecuencia directa del enorme crecimiento de la producción y el consumo de materiales y artefactos; necesitan ser reconocidos como “recursos de valor” y no “desperdicios de desecho”, para ser recuperados y reciclados en productos nuevos, ser usados como recursos secundarios o convertidos en sub-productos.

La práctica de la “recuperación de recursos y reciclaje” es el mejor camino para convertir los “desperdicios” en materiales re-usables de valor. Las industrias pequeñas y diseminadas que practican la recuperación de recursos y reciclaje no disfrutan de la imagen glamorosa y de grandor de la industria primaria de materiales, pero su contribución es tangible con el beneficio directo a la economía, conservación del medio ambiente, conservación de recursos materiales primarios, conservación de recursos de energía, uso eficiente de terrenos y beneficios para la salud.

Este artículo ofrece definiciones y clasificación de recursos y materiales; hace un análisis: del ciclo de producción y uso de materiales en la sociedad, del ciclo de vida útil de materiales, del ciclo completo de materiales, del flujo genérico de recuperación de recursos y reciclaje, de los factores que facilitan o inhiben la recuperación de recursos y reciclaje de materiales y, provee ejemplos numéricos de la contribución en la conservación de materias primas, recursos energéticos y del medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

El enorme crecimiento en el consumo de materiales en el siglo XX, ocasiona un crecimiento equivalente en la producción industrial de materiales para satisfacer las necesidades creadas por la sociedad. La celeridad en los avances tecnológicos en las últimas décadas ha creado una nueva gama de productos de alta calidad y rendimiento, que requieren la fabricación de materiales de alta pureza con especificaciones bastante exigentes, los cuales son producidos por nuevas industrias de materiales como: cerámica avanzada (fibras ópticas, óxidos-súper conductores, polvos de carburos, nitruros, óxidos, boruros), aleaciones especiales (Al-Li, Al-K), polvos metálicos (Al, Mg, hierro, acero), semiconductores (Si-súper puro, arseniuro de galio) y plásticos (resinas, klevar, teflón), para mencionar algunos.

La práctica del “ciclo completo de materiales”, consume vastas cantidades de recursos materiales, recursos de energía, impacta en el medio ambiente y, requiere el uso de tecnologías existentes y el desarrollo de nuevas tecnologías para producir productos avanzados de alta calidad y rendimiento. Su práctica también genera grandes cantidades de materiales estériles o empobrecidos del valor o material que

se produce; también genera materiales que están fuera de las especificaciones de calidad durante la fabricación de productos y, materiales obsoletos al término de la vida útil de productos y artefactos consumidos o usados en la sociedad. Estos materiales necesitan ser reciclados en el *ciclo completo de materiales*.

La vasta cantidad de materiales estériles, materiales fuera de especificaciones o redundantes y materiales obsoletos, generados como consecuencia directa del crecimiento de la producción y el consumo de materiales y artefactos; necesitan ser reconocidos como recursos de valor y no desperdicios de desecho, para ser recuperados y reciclados como productos nuevos, recursos secundarios o sub-productos.

La práctica de “recuperación de recursos y reciclaje”, permite convertir los “desperdicios” en materiales re-usables de valor. Las industrias pequeñas y diseminadas de recuperación de recursos y reciclaje no disfrutan de la imagen de grandor de la industria primaria, pero su contribución es tangible con el beneficio directo a la economía, conservación del medio ambiente, conservación de recursos materiales primarios, conservación de recursos de energía, uso eficiente de terrenos y beneficios para la salud.

Secciones selectas de este artículo, están basadas en el curso dictado por el autor titulado: “*Environmental impact of materials production*”¹, en el Department of Mining, Metals and Materials Engineering de McGill University en Montreal - Canadá.

2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y MATERIALES

Es necesario definir algunos conceptos para proveer claridad y consistencia en las subsiguientes secciones de este artículo.

El término “*recursos*” se refiere específicamente a los recursos minerales, energéticos y sintéticos que son consumidos en gran cantidad para producir materiales de consumo en la sociedad. Estos términos son presentados e ilustrados en dos artículos anteriormente publicados titulados: “Uso de energía en la producción de minerales, metales y la protección del medio ambiente”² y “uso de escorias como materiales de construcción y su contribución en la conservación de energía, materias primas y el medio ambiente”³.

TABLA 1. Clasificación de materiales.⁴

<u>MINERALES</u>			
<u>Hierro y Ferroaleaciones</u>		<u>Abrasivos y Minerales Misceláneos</u>	
Hierro	Cobalto	Tierra de Fuller's	Piedra molida
Manganeso	Molybdeno	Arcilla de alto grado:	Sílice molida
Tungsteno	Niquel	Bentonita	Cuarzo, arena gruesa
Cromo		Caolín	Arenas abrasivos
<u>Otros minerales metálicos</u>		Arcilla plástica	
Oro	Antimonio	Feldespatos	Tripoll, rottenstone
Plata	Cadmio	Láminas de mica	Turba
Cobre	Magnesio	Fibras de mica	Diatomita
Plomo	Platino	Piedra pómez	Grafito
Zinc	Selenio	Talco	Greensand
Bauxita	Telurio	Esmeril y granate	Vermiculita
Titanio	Estaño		
Uranio-Ra-V			
<u>Combustibles minerales</u>		<u>PRODUCTOS FORESTALES</u>	
Antracita	Gas natural	Troncas	Pulpa de Madera
Carbón Bituminoso	Gasolina natural	Madera para revestimiento	Miscelaneos
Lignito	Gas licuado de petróleo	Madera combustible	
Petroleo crudo			<u>MATERIALES DE PAPEL</u>
<u>Minerales para la construcción</u>		Papel	Cartón
De elevado volumen:	Arena y grava:	<u>AGROPECUARIOS NO ALIMENTICIOS</u>	
Caliza	Arena de construcción	Algodón	Aceites y otros
Granito	Grava	Lana	Caucho
Pizarra	Vidrio	Productos de pescado	
Mármol	Minerales industriales, excepto abrasivos	<u>PLÁSTICOS</u>	
Basalto	Arcilla refractaria	Polímeros	Fibra sintética
Arenisca	Magnesita	Elastómeros	Otros
Misceláneos	Arcilla y esquistos	<u>CERAMICAS</u>	
Trozado:	Fabricación de cemento	<u>Cerámica de construcción</u>	
	Yeso	Vidrio	Cemento
	Fabricación de cal	Ladrillo	Baldosas
	Otras calizas	Productos de arcilla	Lana mineral
	Granito	<u>Cerámica de consumo</u>	
	Pizarra	Contenedores de vidrio	Vidrio prensado
	Mármol	Loza	Porcelana
	Basalto	Alfarería	
	Arenisca	<u>Cerámica industrial</u>	
<u>Minerales para la Química and Fertilizantes</u>		Pigmentos	Óxidos
Barita	Bromo	Refractarios	Productos de asbesto
Fluorspar	Cloruros de Ca y Mg	Productos abrasivos	
Potasio	Compuestos de magnesio	<u>Cerámica electrónica</u>	
Boratos	Carbonato de sodio	Transistores	Semi-conductores
Fosfatos	Sulfato de sodio	Capacitores	Ferrita e imanes
Cloruro de sodio	Yodo		
Azufre y piritas			
Óxido de arsénico			

El término “*materiales*” es definido por el Title II of the USA Resource Recovery Act of 1970⁴ como:

“*Recursos naturales para ser utilizados por la industria para la producción de géneros (productos), con la excepción de alimentos*”

Consecuentemente los “recursos naturales” se clasifican como se muestra en la tabla 1. Algunos materiales derivados como plásticos, sintéticos, cerámicos y papel son incluidos en esta lista, porque están dentro de la visión de materiales básicos alternativos o indispensables, y son derivados de recursos naturales esenciales.

Los materiales son componentes básicos para las tecnologías de fabricación y servicio, y para las economías nacionales e internacionales. La sociedad observa en el presente el progreso y la introducción de nuevos materiales; materiales sintéticos como PVC, polímeros, resinas, productos petroquímicos que están presentes en artefactos de uso diario. Por ejemplo, el teléfono ordinario contiene en sus componentes no ordinarios 42 de los 92 elementos naturales.

Los materiales son tan diversos que, el campo de aplicación de la Ciencia e Ingeniería de Materiales es tan amplio que abarca minerales, metales, cerámica, semiconductores, dieléctricos, vidrios, polímeros y sustancias naturales como madera, fibras, arena y piedra. Por definición, alimentos, medicamentos y agua están excluidos de este grupo.

Los materiales son clasificados por su función y su naturaleza como: materiales biomédicos, materiales electrónicos, materiales estructurales para mencionar algunos. Esta flexibilidad de clasificación tradicional refleja la expansión en los usos de los materiales, que continuamente son adaptados para una aplicación particular o específica.

3. CICLO DE PRODUCCIÓN Y USO DE MATERIALES EN LA SOCIEDAD

Muy pocos materiales en su estado natural están listos para ser usados directamente en la vida diaria, consecuentemente el ser humano a creado tecnología, industria de fabricación de artefactos, medios de transporte, estructuras urbanas e industriales, generación de energía y uso, géneros y servicio que caracterizan la civilización actual, y vamos a llamar a los:

Materiales naturales - “Materiales crudos/primitivos”

Estos “materiales crudos/primitivos” necesitan ser alterados y transformados para hacerlos útiles y compatibles para su uso o consumo en la moderna sociedad del presente, como es ilustrado con ejemplos específicos en la tabla 2.

Los materiales listados en esta tabla 2, ilustran objetivamente que los minerales/roca constituyen ser los *materiales crudos/primarios* disponibles en su estado natural dispersos en la corteza terrestre, los cuales no pueden ser directamente usados en la vida diaria. Esto implica que los *materiales crudos/primitivos* deben ser alterados y transformados en *materiales de mayor pureza y calidad* como minerales industriales, metales y aleaciones, que son usados para la pro-

ducción y fabricación de productos y artefactos consumidos o usados en la sociedad

En resumen, mientras el ser humano continúe moldeando y transformando el ambiente natural donde vive, los *materiales crudos/primitivos* y materiales diseñados (engineered materials) serán requeridos para sostener y establecer la civilización humana conocida del presente.

El ciclo de materiales no comienza ni termina con el propósito de uso en la vida diaria, es necesario considerar y analizar todos los componentes del ciclo de materiales en la sociedad, como se sugiere en la secuencia simplificada de la figura 1.

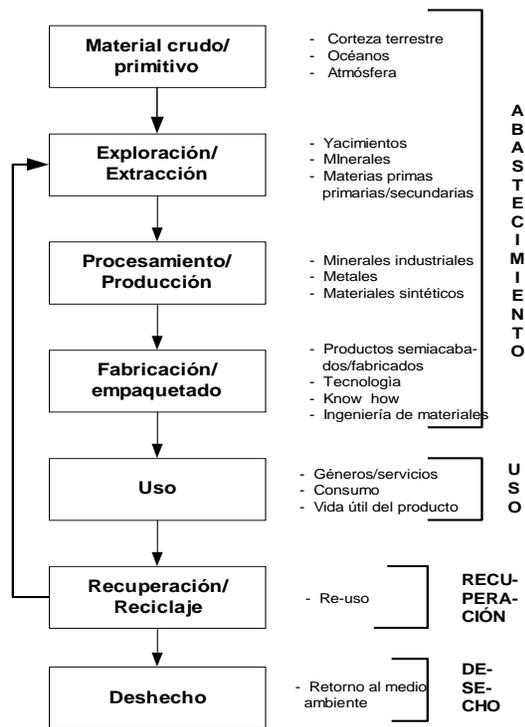


Figura 1. Ciclo completo de materiales.

Primero es necesario identificar y ubicar mediante prospección geológica el material crudo/primitivo en la naturaleza para extraer los materiales primarios. Los materiales primarios/secundarios son procesados para producir los minerales industriales, metales y materiales sintéticos; usados para la fabricación de productos semi-fabricados o fabricados para uso y consumo en la sociedad; y después de su vida útil son recuperados como materiales secundarios para su reciclaje y finalmente son desechados en el medio ambiente.

El ciclo completo de materiales puede también ser identificado en términos más asequibles para el individuo común en las siguientes cuatro etapas distintas: *Abastecimiento*, constituido por la secuencia “Material Crudo/Primario – Exploración/Extracción – Procesamiento/Producción – Fabricación/Empaquetado”, *Uso*, *Recuperación* y *Deshecho* como es mostrado en la figura 1.

TABLA 2. Transformación y uso de materiales naturales crudos/primitivos.

Mineral/roca (Material crudo/primitivo)	Metal/producto	Usos
Calcopirita	Cobre	Electricidad (74% del total consumido; construcción(15%); maquinaria (7%) y transporte (4%)
Pentlandita	Níquel	Acero inoxidable (66%); aleaciones (14%); plating (11%) y moldeado (9%)
Bauxita	Aluminio	Aviación; automóviles; construcción y latas de bebida
Crisotilo	Asbesto	Tejidos, frenos, ductos, aislante eléctrico
Barita	Bario/óxido	Camisas de freno; perforación de pozos de petróleo; pintura; linóleo y goma; vidrio; protección de rayos gama; medicina y cerámica
Sienita nefelínica		Cerámica
Carbón bituminoso, sub-bituminoso y lignita	Carbón térmico y meta-lúrgico	Generación de electricidad y producción de hierro dulce y acero
Hematita, magnetita y siderita	Mineral de hierro	Hierro dulce y acero
Oro	Oro	Joyería, soldadura
Halita	Sal	Sal de mesa, agente criogénico
Dolomita y magnesita	Magnesio	Aleaciones de Al; estructuras de automóviles
Yeso y anydrita	Yeso	Estuco-dry wall
Cobalto	Cobalto	Súper aleaciones, blades for turbine jet engines and gas turbines
Esfalerita	Zinc	Galvanización
Uranita y petchblenda	Uranio	Combustible nuclear
Ilmenita	Titanio	Pigmento
Caolín y bentonita	Minerales de arcilla	Ladrillo; mosaico; cemento; relleno y abrasivo
Molibdenita	Molibdeno	Aleaciones de acero y acero inoxidable
Moscovita y biotita	Mica	Aislante eléctrico
Grafito	Carbón grafitico	Camisas de freno; revestimiento en hornos eléctricos, baterías; componentes en motores; lubricantes; lápiz de plomo
Pirolusita	Manganeso	Aleaciones de acero; tratamiento de aguas; pinturas
Galena	Plomo	Baterías de plomo; fabricación de vidrio para focos , televisores y computadoras
Silvanita	Potasio	Fertilizante
Columbita y pirocloro	Niobio	Aleaciones de acero de alta resistencia
Platino y paladio	Platino	Joyería; auto catálisis en control de emisiones de vehículos
Plata nativa y argentita	Plata	Fotografía
Spodumena	Litio	Cerámica; componentes en televisores de color
Piedra caliza	Cal	Fabricación de papel; tratamiento de desechos industriales y control de contaminación de aire atmosférico

La designación de “*Ciclo completo de materiales*” es aplicable a la secuencia simplificada mostrada en la figura 1, y su práctica constituye la esencia de la sociedad actual y su evolución hacia el futuro. La contribución de la práctica de “recuperación de recursos y reciclaje” en el ciclo completo de materiales, se manifiesta en la reducción en la extracción de recursos primarios, reducción del consumo de energía y reducción del desecho de materiales y productos obsoletos.

4. CICLO DE VIDA ÚTIL DE MATERIALES

Los modelos y tendencias de uso y consumo de materiales están sujetos a cambios constantes, dependiendo principal-

mente del abastecimiento, demanda, tecnología, precio y gusto o moda.

En el pasado, el *ciclo completo de materiales* era considerado como un flujo abierto del material crudo/primitivo hasta el uso o descarte. El concepto del presente es que el *ciclo completo de materiales* sea un *ciclo cerrado*, como es ilustrado en la figura 1. En el esquema del *ciclo completo cerrado*, los materiales obsoletos serían recuperados y reciclados en crecientes cantidades, para ser rehusados con el beneficio de mitigar la demanda de recursos primarios de materias primas, disminuir la energía requerida relativa a la producción de sus correspondientes materiales primarios, y la

reducción tangible de materiales finales a ser descartados en el medio ambiente.

El potencial de recuperación de materiales obsoletos usados en productos diversos fue determinado para el caso particular del acero en los Estados Unidos, mediante un estudio realizado por Battelle Memorial Institute⁵ y enmendado en consulta con el Department of Commerce – USA, y con una verificación de la tendencia de embarcos de acero correspondientes a 1973 de fundiciones de los Estados Unidos de América, los que indican concordancia con los ítems listados en la tabla 3.

TABLA 3. Ciclo de vida y potencial de recuperación de varios productos de acero.⁵

Acero en	Potencial recuperable (%)	Ciclo de vida promedio (años)
Edificios y estructuras	86	30 – 150
Maquinaria de construcción	87	20
Autos y camiones	99	9
Equipo de transporte ferroviario	86	16
Barcos, puertos etc.	100	33
Aeronaves	100	15
Equipo petrolero y de gas natural	100	11
Equipo de minería, canteras y explotación de bosques	90	16
Equipo de agricultura	99	15
Maquinaria industrial y herramientas	94	16
Maquinaria eléctrica y equipo	75	18
Otros equipos domésticos y comerciales	57	12
Recipientes grandes	13	14
Equipo militar	36	20
Equipo de fundición	100	10
Latas y recipientes	50	1 – 2

El potencial de recuperación del acero de los productos listados en la tabla 3 puede ser máximo ó 100 % para barcos, puertos, aeronaves y equipo de fundición, o únicamente 13 % para recipientes grandes; mostrando que existen oportunidades para maximizar el potencial de recuperación.

El ciclo de vida útil de productos es un componente importante, porque determina el tiempo en el cual el material después de convertirse en material obsoleto puede ser colectado y procesado para su reciclaje en el ciclo completo de materiales. Para los ejemplos de los productos de acero listados en la tabla 1, el ciclo de vida útil puede ser tan grande como de 30 – 150 años, para edificios y estructuras, o cortos de 1 – 2 años, para latas y recipientes.

El ciclo de vida útil es característico para cada material usado en diferentes productos y depende del tipo de aplicación; por ejemplo, el potencial de recuperación de materiales de la

basura domestica municipal en los Estados es mostrado en la tabla 4.

TABLA 4. Tasas de recuperación de materiales en los residuos urbanos municipales en U.S.A.^{6,7}.

Materiales en los residuos municipales	Residuos sólidos ⁶ (%)	% Recuperación como % generación ⁷
Papel y cartón	37.4	35.3
Vidrio	5.5	23.4
Metales Metales ferrosos Aluminio Otros metales no ferrosos	7.8	32.3 37.6 66.1
Total metales		35.9
Plásticos	10.7	4.7
Goma y cuero	6.7	7.1
Textiles		11.7
Madera	5.5	9.8
Otros materiales	3.2	20.9
Total materiales en productos		25.9
Otros residuos Residuos de cocina Residuos de jardín	11.2 12.0	3.4 22.9 9.8
Total otros residuos		15.7
Total residuos sólidos		23.6

No obstante que el ciclo de vida de los diferentes productos obsoletos descartados en la basura municipal es bastante variable, el potencial de recuperación citado para los diferentes productos ilustra objetivamente el valor económico potencial de la basura municipal; empero la recuperación de recursos de la basura municipal no es practicada en la proporción deseada, y es desechada con mas frecuencia en landfills en otros países donde no fueron generados.

Un ejemplo muy objetivo para ilustrar un ciclo de vida útil corto y su celeridad de reciclaje corresponde a las latas de bebida hechas de aluminio. El ciclo de vida útil de una lata de aluminio es de aproximadamente 6 semanas, esto significa que el tiempo que toma una lata de aluminio para ser fabricada, llenada con la bebida, venta, reciclado y refabricado es aproximadamente 6 semanas. Pero la recuperación del aluminio en las latas de bebida fue aproximadamente de 65.5% en los estados Unidos⁸ en 1994, dejando aun un amplio margen para maximizar el índice de recuperación.

La vida útil de artefactos electrónicos merece atención principalmente por su proliferación de uso en una sociedad del presente que se hace mas tecnificada. En USA⁹, durante 1997 se estimó que serán generadas aproximadamente 325 millones de computadoras obsoletas entre 1985 y 2005. En las esferas de negocios, la vida útil de uso de las computadoras personales es de 2 años y de 2 a 3 años para los domicilios familiares. Aproximadamente 75% de los 14 a 20 millones de computadoras obsoletas generadas cada año en USA

no son descartadas por que los dueños perciben que tienen aun valor, lo cual indica que existen barreras no técnicas para aumentar el reciclaje de computadoras personales.

En resumen, el ciclo útil de vida es una característica típica e individual de cada producto o material usado que puede ser de semanas a décadas, lo cual define el tiempo en el cual un producto o material será disponible para su reciclaje en el ciclo completo de materiales.

5. FLUJO DE RECUPERACIÓN DE MATERIALES Y RECICLAJE

La práctica de recuperación de recursos y reciclaje depende de múltiples condiciones favorables, comenzando por el tipo y constitución del recurso natural, tipo de material, diseño del producto, método de fabricación, tipo de aplicación, vida útil del producto, para mencionar algunos, los cuales impactan directamente y determinan el potencial de recuperación y reciclaje.

Dos prácticas genéricas son sugeridas para la recuperación de recursos y reciclaje. El primer grupo genérico ilustrado en la figura 2 corresponde a los recursos secundarios (residuos sólidos, líquidos o gaseosos) generados durante la práctica del “abastecimiento” en el ciclo completo de materiales mostrado anteriormente en la figura 1.

En el esquema sugerido en la figura 2, los recursos secundarios generados en cualquier complejo de producción son sujetos a la práctica de recuperación recursos y reciclaje, lo cual requiere determinar el valor y destino del recurso secundario. El recurso secundario puede ser reciclado en el mismo complejo tal cual es o después de un pre-tratamiento o enriquecimiento; ó puede ser convertido en un sub-producto para ser vendido fuera del complejo de producción tal cual o procesado para satisfacer los requerimientos del mercado; y finalmente, los recursos secundarios y residuos empobrecidos pueden ser almacenados o desechados, cumpliendo las normas y regulaciones en vigencia del lugar.

El flujo de recuperación de recursos secundarios sugerido en la figura 2, reemplaza la alternativa menos practicada o aceptada en la producción contemporánea de materiales. Su práctica permite un uso eficiente de los recursos primarios o secundarios, con el beneficio tangible de minimizar el impacto en el medio ambiente.

Ejemplos de esta práctica son el uso de escorias de la industria del hierro y acero en la fabricación del “cemento escoria”³³, pigmentos minerales de óxido de hierro (vapores de Fe oxidados y condensado de convertidores de acero), producción de trióxido de arsénico en la extracción del oro de yacimientos refractarios (sulfurosos), producción de ácido sulfúrico, azufre o dióxido de azufre durante la producción de metales básicos para mencionar algunos.

El segundo grupo sugerido en la figura 3, corresponde a la práctica de recuperación de recursos y reciclaje de materiales obsoletos generados después de su uso en la sociedad como artefactos usados durante la práctica del “uso” en el ciclo completo de materiales mostrado anteriormente en la figura 1.

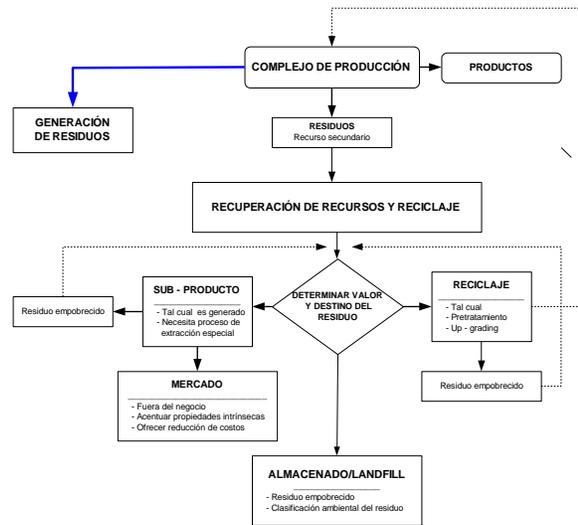


Figura 2. Recuperación de recursos y reciclaje de recursos secundarios.



Figura 3. Recuperación de recursos y reciclaje de materiales obsoletos.

En el esquema sugerido en la figura 3, los materiales obsoletos generados después de la vida útil de los materiales o artefactos son sujetos a la práctica de recuperación de recursos y reciclaje. Esta práctica comienza con la reclamación y colección de materiales obsoletos y artefactos, seguida por la separación o segregación de materiales homogéneos en su

composición química, para ser sujetos a un re-procesamiento y reciclaje, donde son diseñados y fabricados en nuevos productos, iniciando un nuevo ciclo de vida útil del producto fabricado con material obsoleto reciclado, mostrado como un ciclo cerrado en la figura 3.

El flujo de recuperación de recursos obsoletos sugerido en la figura 3, reemplaza la alternativa menos practicada o aceptada de desechar (landfilling) los productos y artefactos obsoletos generados por la sociedad. Su práctica permite un uso eficiente de los recursos primarios o secundarios, con el beneficio tangible de minimizar el impacto en el medio ambiente.

Ejemplos de esta práctica son la recuperación de recursos y reciclaje de las envases de bebidas de aluminio, acero, papel, plástico; automóviles; chatarras metálicas (Cu, Fe, acero, Ti, Al); baterías mojadas de plomo; botellas de vidrio, para mencionar algunos.

6. ESTADÍSTICAS DE RECUPERACIÓN DE RECURSOS Y RECICLAJE

La falta de una compilación, organismo o sistema de colección, tabulación y publicación de información sobre la recuperación de recursos y reciclaje practicada en el mundo y países individuales, limita la posibilidad de analizar y comparar estadísticas en este campo; una posible explicación simplista puede ser atribuida a la costosa y laboriosa práctica de colección de la información requerida de diversas y diseminadas empresas pequeñas y/o medianas, que constituyen ésta industria no muy conocida.

Una opción es utilizar información disponible y más completa para la práctica de recursos y reciclaje en los Estados Unidos de América, para ilustrar ejemplos directos de materiales y recursos específicos.

Las estadísticas para USA de la recuperación de recursos y reciclaje para metales selectos¹⁰ son ilustradas en la tabla 5, en la cual se detalla la información de reciclaje de chatarra nueva y obsoleta para 10 metales durante el periodo de 1997 – 2001, y el porcentaje de reciclaje para cada metal es calculado relativo al abastecimiento aparente; en el mismo orden es provisto el correspondiente valor de cada metal. Por ejemplo el reciclaje correspondiente para el periodo 1997 – 2001 es: 36-41% Al, 20-37% Cr, 32.1-37.5% Cu, 55-58% hierro y acero, 60.9-65.4% Pb, 33-41% Mg, 30-44% Ni, 25-30% Sn, 39-55% Ti y 16.3- 27.5% Zn. Comparativamente, el metal más reciclado es el plomo y el zinc es el menos reciclado.

Otro ejemplo constituye la recuperación de recursos y reciclaje de materiales selectos en USA para el año 2000¹¹ ilustrado en la figura 4. Las razones de reciclaje correspondientes son: baterías de automóviles 96.4%, recipientes de acero 57.2%, residuos de podado de jardín 56.9%, recipientes de aluminio de cerveza y sodas 54.6%, papel y cartones 45.4%, recipientes plásticos para bebidas 34.9%, recipientes de vidrio 26.3% y llantas de goma 26.1 %.

El reciclaje de artefactos electrónicos es de bastante interés por su proliferación en grandes cantidades en la sociedad. Las computadoras obsoletas contienen cantidades significativas de materiales recuperables, incluyendo metales de

paneles de circuitos, vidrio de las pantallas y plástico de las cubiertas. Por ejemplo, una tonelada métrica de chatarra electrónica de computadoras contiene mas oro que 17 toneladas de minerales (con contenidos promedios de oro) de oro; en 1998, el oro recuperado de chatarra de computadoras en USA fue equivalente a la cantidad de oro extraída de mas de 2 millones de toneladas métricas de mineral aurífero⁹.

La cantidad de desperdicios electrónicos aumenta anualmente, conforme los sistemas electrónicos juegan un rol creciente en todos los aspectos de la tecnología, y la sostenida mejora de la potencia de microprocesadores; en otras palabras, los usuarios pueden comprar cada 18 meses computadoras con el doble de potencia al mismo precio de los disponibles al presente. Esta tendencia cíclica se ha mantenido por casi 20 años en la historia de computadoras, generando al mismo tiempo una correspondiente gran cantidad de computadoras obsoletas.

El caso particular de computadoras es mostrado en la tabla 6 correspondiente a USA⁹, y muestra los principales valores económicos a ser recuperados: vidrio, plástico y metales, y constituyen aproximadamente 41.1% y 52.3% respectivamente a 1997 y 1998, y en cantidades bastante apreciables como se muestran en la tabla 6.

En el caso particular de los metales contenidos en las computadoras, Sb, As, Cd, Cr Co, Pb, Hg y Se son listados como materiales peligrosos por “Resource Conservation and Recovery Act – RCRA” en USA. Esta institución prohíbe la incineración o el desecho en landfills de algunos tipos de chatarra electrónica⁹.

En resumen, los ejemplos usados anteriormente ilustran la existencia de un amplio margen para maximizar el porcentaje de la recuperación de recursos y reciclaje de materiales que se practican al presente; pero también se debe indicar que la industria contemporánea productora de materiales es más consciente por la práctica de recuperación de recursos y reciclaje en sus operaciones cotidianas.

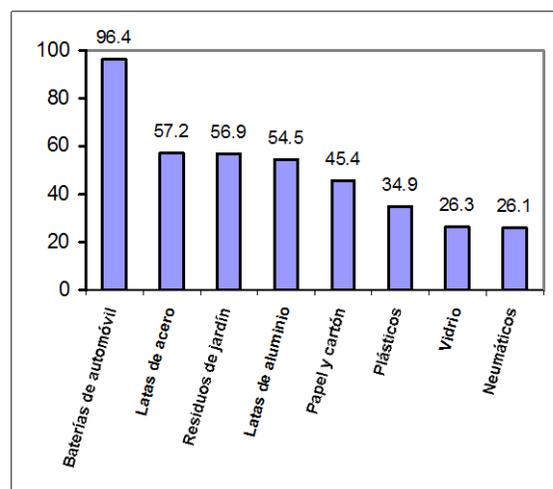


Figura 4. Razones de reciclaje de materiales selectos.¹¹

TABLA 5. Estadísticas salientes de reciclaje para metales selectos¹⁰

Año	Cantidad de metal, miles de toneladas métricas				Porcentaje reciclado	Valor del metal, millones			
	Reciclado de chatarra nueva	Reciclado de chatarra antigua	Reciclaje	Suministro aparente		Reciclaje de chatarra nueva	Reciclaje de chatarra antigua	Reciclaje	Suministro aparente
Aluminio									
1997	2,020	1,530	3,550	8,740	41	53,430	2,590	56,020	514,800
1998	1,950	1,500	3,440	9,040	38	2,180	2,160	4,970	13,100
1999	2,128	1,570	3,700	9,800	37	3,070	2,280	5,380	14,300
2000	2,080	1,370	3,450	9,830	36	3,420	2,260	5,670	15,800
2001	1,770	1,240	2,980	8,000	37	2,680	1,840	4,530	12,100
Cromo									
1997	NA	NA	120	480	25	NA	NA	122.0	716
1998	NA	NA	104	524	30	NA	NA	91.5	551
1999	NA	NA	118	568	21	NA	NA	77.7	501
2000	NA	NA	139	579	24	NA	NA	98.6	454
2001	NA	NA	122	332	37	NA	NA	70.8	169
Cobre									
1997	967	498	1,460	3,900	37.5	2,380	1,198	3,458	9,210
1998	956	465	1,420	3,980	35.7	1,680	808	2,470	6,900
1999	949	381	1,336	4,080	32.5	1,590	637	2,230	6,820
2000	955	357	1,310	4,080	32.1	1,860	693	2,550	7,930
2001	883	316	1,150	3,340	34.5	1,410	535	1,950	5,650
Hierro y acero									
1997	NA	NA	73,000	127,000	58	NA	NA	9,520	6,500
1998	NA	NA	73,000	133,000	55	NA	NA	7,910	17,400
1999	NA	NA	71,000	130,000	55	NA	NA	6,680	12,300
2000	NA	NA	74,000	134,000	55	NA	NA	7,100	12,800
2001	NA	NA	71,000	119,000	60	NA	NA	5,320	8,880
Plomo									
1997	54.0	1,030	1,090	1,660	65.4	55.4	1,060	1,120	1,700
1998	45.8	1,050	1,100	1,740	63.1	45.7	1,050	1,100	1,740
1999	42.7	1,050	1,090	1,790	60.9	41.2	1,080	1,050	1,730
2000	35.5	1,080	1,120	1,790	62.6	34.1	1,040	1,080	1,720
2001	47.3	1,050	1,400	1,700	65.0	45.5	1,010	1,060	1,640
Magnesio									
1997	47.0	30.5	77.6	235	33	172	112.0	284	851
1998	45.2	31.8	77.1	226	34	158	111.0	284	788
1999	52.0	34.2	85.1	231	37	178	117.0	294	789
2000	52.2	30.1	82.3	209	39	158	90.9	248	630
2001	38.6	27.1	65.8	162	41	106	75.0	181	445
Níquel									
1997	NA	NA	68.4	222	31	NA	NA	474	1,540
1998	NA	NA	63.1	212	30	NA	NA	292	983
1999	NA	NA	71.0	211	34	NA	NA	427	1,270
2000	NA	NA	84.0	233	36	NA	NA	726	2,000
2001	NA	NA	101.0	230	44	NA	NA	600	1,370
Estaño									
1997	4.34	7.83	12.4	48.6	25	32.8	65.6	104.0	409
1998	8.47	7.19	16.3	54.6	30	69.6	64.8	134.0	449
1999	8.65	7.72	16.4	57.3	29	70.4	62.8	133.0	466
2000	9.14	6.56	15.7	34.5	29	74.4	53.5	128.0	443
2001	7.19	6.70	13.9	54.6	27	49.8	46.5	96.4	351
Titania									
1997	NA	NA	28.2	W	46	NA	NA	37.5	NA
1998	NA	NA	28.5	W	50	NA	NA	22.1	NA
1999	NA	NA	21.9	W	55	NA	NA	28.9	NA
2000	NA	NA	18.5	W	50	NA	NA	32.8	NA
2001	NA	NA	17.0	W	39	NA	NA	35.2	NA
Zinc									
1997	286	89.7	376	1,490	25.2	376	118.0	495	1,960
1998	344	89.9	434	1,580	27.5	352	92.1	444	1,620
1999	321	78.1	399	1,610	24.8	379	92.3	471	1,800
2000	369	70.3	439	1,630	26.9	454	90.0	544	2,820
2001	316	52.1	368	1,400	16.3	306	53.8	360	1,350

TABLA 6. Materiales recuperados reportado por recicladores electrónicos en USA⁹. [Modified from National Safety Council (1999) and Sean Magaan (Noranda, Inc., Micro Metallics Corp., oral commun., 1999)].

Tipo de material	1997 x 1000 (t)	1998 x 1000 (t)
Vidrio	11.6	13.2
Plástico	3.7	6.5
Metales ^(a)		
Aluminio	3.9	4.5
Acero	14.5	19.9
Cobre	4.3	4.6
Metales preciosos combinados Oro, Paladio, Platino y Plata	10.7 0.001	4.7 0.001
Otros	3.1	3.6
Total	41.1	52.3
(a) Otros metales presentes son: Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Ga, Fe, Pb, Mn, Hg, Se, Zn		

7. FACTORES QUE FACILITAN O INHIBEN LA RECUPERACIÓN DE RECURSOS Y RECICLAJE DE MATERIALES

Los factores que facilitan o inhiben la recuperación de recursos y reciclaje de materiales tienen carácter económico, técnico y algunos constituyen actitudes sociales, para mencionar algunos y se muestran listados en las tablas 7 y 8, que son auto explícitos con los ejemplos mencionados para los diferentes factores presentados.

Un producto o artefacto para la práctica de su recuperación y reciclaje debe poseer o satisfacer uno o más de los factores listados en la Tabla 7. En el caso particular de la recuperación de recursos metálicos y reciclaje en USA, es necesario separar la chatarra nueva y obsoleta, como es mostrada en la tabla 9, calculada con los valores de la tabla 5.

La tabla 9 muestra que plomo es el metal más reciclado en USA, lo cual puede ser explicado por el hecho que plomo es usado en forma masiva en baterías húmedas (factor 2), que son fáciles de coleccionar (factor 3), es fácilmente refinado y convertido en plomo metálico con las especificaciones para la fabricación de nuevas baterías (factor 4) y, finalmente el plomo es reconocido y regulado como metal peligroso (factor 5) como se muestra en la tabla 7. El plomo ilustra objetivamente que, no obstante de su precio relativamente bajo en comparación a los otros metales mencionados en la tabla 7, posee y satisface el resto de los factores listados en dicha tabla, lo cual justifica sea el metal más reciclado en USA, especialmente de chatarra obsoleta o sea 59-62% del total 61-66% para el periodo de 1997-2001, como se muestra en la tabla 7 y la figura 5.

TABLA 7. Factores que facilitan la recuperación de recursos y reciclaje.

Factor
<p>1. Precio elevado del (los) recurso(s) o material(es) empleado(s).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metales: Au, Ag, Pt, Ni, Cu, Ti, Li, Al. • Minerales: óxido de zirconio, óxido de titanio, pigmentos. • Combustibles: Hidrocarburos, carbón.
<p>2. Uso concentrado del (los) material(es) en productos o artefactos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plomo, H₂SO₄ y plástico en baterías húmedas de vehículos. • Acero en vehículos motorizados, maquinaria pesada, estructuras de construcción, ferrovías, artefactos domésticos. • Aluminio, acero y plástico separadamente en recipientes envasados de bebidas y/o comidas • Cobre en bronce, cables eléctricos. • Aluminio en aeronaves, construcción (ventanas, puertas, fachadas externas de casas, cables eléctricos). • Goma en las llantas de vehículos. • Papel en periódicos, libros, revistas (material de lectura). • Vidrio en botellas.
<p>3. Facilidad de colección y separación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baterías húmedas de plomo y secas. • Vehículos motorizados, aeronaves, artefactos domésticos. • Envases de aluminio, acero, plástico y cartón. • Materiales estructurales metálicos. • Artefactos electrónicos industriales y domésticos. • Papel, madera.
<p>4. Facilidad de refinación o conversión a especificaciones de materiales de fabricación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metales: oro, plata, cobre, hierro y acero, plomo, estaño. • Minerales: Compatibilidad química de escorias de la industria de hierro y acero con el cemento y materiales de construcción de concreto. • Productos químicos: ácido sulfúrico, dióxido de azufre y azufre generados durante la producción de metales básicos (Cu, Zn, Ni etc.). • Combustibles: Aceites usados en procesamiento de comidas, finos en la producción de: coke, ánodos de carbón, electrodos de grafito.
<p>5. Impacto en el medio ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento, presiones sociales y legislación para controlar y eliminar el desecho de productos o artefactos nocivos para el medio ambiente.

TABLA 8. Factores que inhiben la recuperación de recursos y reciclaje.

Factor
<p>1. Uso altamente dispersado del (los) material(es) en productos o artefactos:</p> <p>Metales: Aluminio: en papel de aluminio en envolturas y empaquetado. Plomo: en soldadura, balas, óxidos y productos químicos. Zinc: en hierro galvanizado, óxidos y productos químicos. Níquel: en aleaciones de acero, niquelado electro-lítico. Plata: en fotografía, contactos eléctricos y joyas.</p> <p>Minerales Oxido de titanio: en pintura como base blanca. Óxidos de aluminio: en abrasivos industriales, pasta dental, desodorantes. Carburo de silicio: en abrasivos industriales.</p>
<p>2. Dificultosa remoción de impurezas y/o reversión a sus constituyentes primarios.</p> <p>Metales: Aluminio: únicamente magnesio puede ser removido por refinación. Magnesio: metales básicos no pueden ser removidos excepto por destilación de magnesio. Acero: cobre, níquel y azufre muy difíciles de ser removidos. Titanio: aluminio, magnesio, litio y calcio muy difíciles de ser removidos.</p> <p>Minerales: Pigmentos: de productos cerámicos de construcción. Óxidos metálicos: de plásticos, papel, productos cerámicos. Carburo de silicio: de abrasivos industriales.</p> <p>Otros: Goma en llantas: difícil reversión a sus polímeros unitarios básicos. Plásticos y resinas: difícil reversión a monómeros o petróleo. Madera tratada: difícil remoción de biocidas. (As₂O₃) añadidos para su preservación.</p>
<p>3. Actitudes sociales:</p> <p>Diseño de productos y artefactos para la conveniencia y apariencia. El producto o artefacto "desechable". Consumo de productos basado en la conveniencia y apariencia.</p>

El hierro y el acero son los segundos metales más reciclados, representando 55 – 60% en USA, no obstante que los valores para chatarra nueva y obsoleta no son proporcionados en la tabla 9, se puede especular que la mayor parte

proviene de la chatarra obsoleta. Esto se puede atribuir a su precio alto, fácil recuperación y separación, uso concentrado en automóviles y maquinaria pesada y, fácil conversión a las especificaciones para la fabricación de nuevos productos.

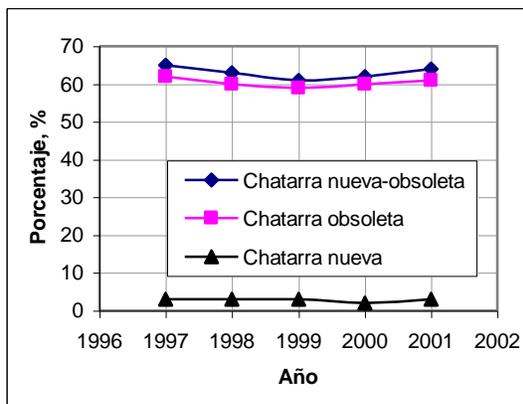


Figura 5. Reciclaje de plomo en USA.

Al otro extremo en la tabla 9 están zinc, estaño y cromo, con los índices más bajos de reciclaje de 25-26%, 26-30% y 20-37%, respectivamente, lo cual se puede atribuir principalmente a sus usos altamente dispersivos en productos y artefactos (factor 1/Tabla 8), (no obstante que el estaño y cromo tienen precios relativamente altos), lo cual hace que sea difícil su recuperación y separación de la chatarra obsoleta, como se puede ver por el bajo grado de reciclaje de chatarra obsoleta de zinc y estaño, en las figuras 6 y 7, respectivamente.

Los usos de zinc son en galvanizado, piezas pequeñas de moldeado y óxidos como pigmentos; para el estaño son galvanizado, soldadura y productos químicos y para el cromo son galvanizado industrial u ornamental y aleaciones especiales, para mencionar algunos.

Los metales tienen la virtud intrínseca hipotética de poder ser reciclados de manera indefinida, porque el reciclaje puede revertir su composición (sea por refinación o dilución con metal primario) a las especificaciones para fabricación de los mismos u otros productos y artefactos.

Este no es el caso para resinas, goma sintética y otros polímeros (PVC), los que no pueden ser revertidos a sus constituyentes primarios, porque durante la fabricación de productos los constituyentes primarios (monómeros) son irreversiblemente alterados, forzando a que estos materiales sean intolerantes a contaminación para garantizar su reciclaje en los mismos productos o si contaminados, son reciclados en productos de más baja calidad, degradación de calidad que inhibe el reciclaje indefinido de estos materiales sintéticos orgánicos.

En la sociedad contemporánea productos y artefactos son diseñados y ensamblados no necesariamente con el objeto de facilitar su reparación, colección, separación y desensamblado para su reciclaje; al contrario, la mayor parte de los productos de consumo y artefactos son diseñados para la conveniencia y apariencia, dando lugar a la noción de que son desechables al término de su vida útil.

TABLA 9. Reciclaje de metales selectos de chatarra nueva y obsoleta¹⁰, (t).

Año	Reciclaje de chatarra nueva	Reciclado de chatarra antigua	Reciclaje	Suministro aparente	Porcentaje reciclado chatarra nueva + antigua	Porcentaje reciclado chatarra nueva	Porcentaje reciclado chatarra anti-gua
Aluminio:							
1997	2,020,000	1,530,000	3,550,000	8,740,000	41	23	18
1998	1,950,000	1,500,000	3,440,000	9,040,000	38	22	17
1999	2,120,000	1,570,000	3,700,000	9,890,000	37	21	16
2000	2,080,000	1,370,000	3,450,000	9,610,000	36	22	14
2001	1,770,000	1,210,000	2,980,000	8,000,000	37	22	15
Cromo:							
1997	NA	NA	120,000	489,000	25	NA	NA
1998	NA	NA	104,000	524,000	20	NA	NA
1999	NA	NA	118,000	558,000	21	NA	NA
2000	NA	NA	139,000	589,000	24	NA	NA
2001	NA	NA	122,000	332,000	37	NA	NA
Cobre:							
1997	967,000	498,000	1,460,000	3,900,000	37	25	13
1998	956,000	466,000	1,420,000	3,980,000	36	24	12
1999	949,000	381,000	1,330,000	4,080,000	33	23	9
2000	955,000	357,000	1,310,000	4,080,000	32	23	9
2001	833,000	316,000	1,150,000	3,340,000	34	25	9
Hierro y acero:							
1997	NA	NA	73,000,000	127,000,000	57	NA	NA
1998	NA	NA	73,000,000	133,000,000	55	NA	NA
1999	NA	NA	71,000,000	130,000,000	55	NA	NA
2000	NA	NA	74,000,000	134,000,000	55	NA	NA
2001	NA	NA	71,000,000	119,000,000	60	NA	NA
Plomo:							
1997	54,000	1,030,000	1,090,000	1,660,000	66	3	62
1998	45,800	1,050,000	1,100,000	1,740,000	63	3	60
1999	42,700	1,060,000	1,090,000	1,790,000	61	2	59
2000	36,500	1,080,000	1,120,000	1,780,000	63	2	61
2001	47,300	1,050,000	1,110,000	1,700,000	65	3	62
Magnesio:							
1997	47,000	30,500	77,600	233,000	33	20	13
1998	45,200	31,800	77,100	226,000	34	20	14
1999	52,000	34,200	86,100	231,000	37	23	15
2000	52,200	30,100	82,300	209,000	39	25	14
2001	38,600	27,200	65,800	162,000	41	24	17
Níquel:							
1997	NA	NA	68,400	222,000	31	NA	NA
1998	NA	NA	63,100	212,000	30	NA	NA
1999	NA	NA	71,000	211,000	34	NA	NA
2000	NA	NA	84,000	231,000	36	NA	NA
2001	NA	NA	101,000	230,000	44	NA	NA
Estaño:							
1997	4,540	7,830	12,400	48,600	26	9	16
1998	8,470	7,790	16,300	54,600	30	16	14
1999	8,650	7,720	16,400	57,300	29	15	13
2000	9,140	6,560	15,700	54,500	29	17	12
2001	7,190	6,700	13,900	50,600	27	14	13
Titanio:							
1997	NA	NA	28,200	W	46	NA	NA
1998	NA	NA	28,600	W	50	NA	NA
1999	NA	NA	21,900	W	55	NA	NA
2000	NA	NA	18,500	W	50	NA	NA
2001	NA	NA	17,000	W	39	NA	NA
Zinc:							
1997	286,000	89,700	376,000	1,490,000	25	19	6
1998	344,000	89,900	434,000	1,580,000	27	22	6
1999	321,000	78,100	399,000	1,610,000	25	20	5
2000	369,000	70,300	439,000	1,630,000	27	23	4
2001	316,000	52,100	368,000	1,400,000	26	23	4

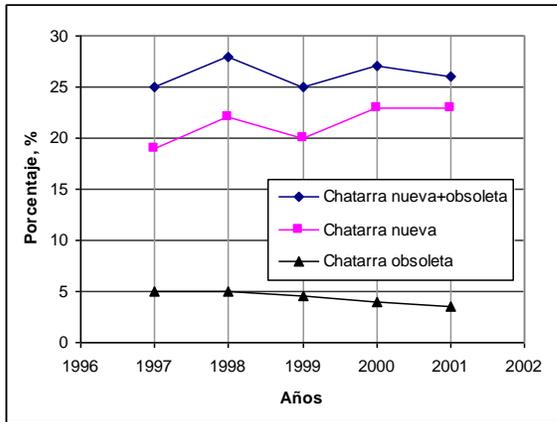


Figura 6. Reciclaje de zinc en USA.

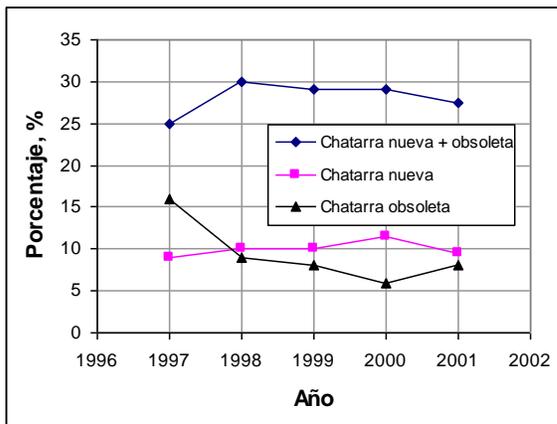


Figura 7. Reciclaje de estaño en USA.

Es evidente la necesidad de cambiar las actitudes sociales para facilitar y extender el uso de productos y artefactos por medio de la reparación, recuperación de recursos y reciclaje. En la práctica esto requiere que el diseño de productos y artefactos esté hecho con la intención de facilitar su recuperación, segregación, desensamblado y reciclaje como se muestra en la figura 3.

En resumen, los diferentes factores y sus ejemplos mencionados en las tablas 7 y 8 son auto explicativos, para ilustrar los factores que facilitan o inhiben la recuperación y reciclaje de materiales, y cualquier recurso o material en particular estará cubierto por uno o más factores mencionados en virtud o falta de su recuperación o reciclaje. Sin embargo es pertinente mencionar que existen algunos casos excepcionales que no están necesariamente cubiertos por los factores mencionados en las tablas 7 y 8.

8. CONSERVACIÓN A TRAVÉS DE LA PRÁCTICA DE RECUPERACIÓN DE RECURSOS Y RECICLAJE DE MATERIALES

La contribución a la conservación de materias primas, energía y el medio ambiente por la práctica de recuperación de

recursos y reciclaje de materiales es tangible y significativo, como se ilustra con el caso del aluminio y las escorias generadas por la industria del hierro y acero.

La industria del aluminio en USA está verticalmente integrada o sea, produce aluminio del mineral bauxita y también de chatarra de aluminio. La contribución de la práctica del reciclaje de chatarra de aluminio a la conservación de materias primas, energía y medio ambiente es mostrado en la tabla 10. La información para realizar los cálculos fue obtenida de la publicación "US Energy Requirements for Aluminum Production: Historical Perspective, Theoretical Limits and New Opportunities"¹², las estadísticas corresponden a la industria del aluminio en USA para el año 2000.

Las estadísticas de conservación son impresionantes, muestran el reciclaje de 3.65 millones de toneladas de chatarra de aluminio en USA en el año 2000. Por ejemplo, son conservadas en materias primas aproximadamente 18.615 millones de toneladas del mineral bauxita y 0.7 millones de carbón metalúrgico; en energía: aproximadamente 1.591E+11 kWh o 17,200 MW son conservados y finalmente en medio ambiente: aproximadamente 9.709 millones de toneladas de red mud, 0.1 millones de toneladas de spent pot lining-SPL, 69,350 de criolita y 50.48 millones de CO₂ no son emitidos al medio ambiente.

La contribución a la conservación de materias primas, energía y medio ambiente es mostrada en la tabla 10, de la práctica de reciclaje de escorias de alto horno y convertidores de la industria del hierro y acero para la fabricación de cemento-escoria. La información para realizar los cálculos fue obtenida de la publicación "Uso de escorias como materiales de construcción y su contribución en la conservación de energía, materias primas y el medio ambiente"².

Nuevamente las estadísticas de conservación son impresionantes en el año 2000 en Canadá. Por ejemplo en materias primas: aproximadamente 1.04 millones de toneladas de piedra caliza fueron conservados; en energía: aproximadamente 2.871 millones de GJ son conservados y en el medio ambiente: aproximadamente 0.65 millones de toneladas de escoria, 750 toneladas de polvos y 0.52 millones de toneladas de CO₂ no son desechados o generados.

Los dos ejemplos anteriores, para la chatarra de aluminio en USA y escorias de la industria de acero una planta con un millón de toneladas de producción, ilustran el potencial significativo de conservación de materias primas, energía y el medio ambiente, si se realizan cálculos para el reciclaje mundial de chatarra de aluminio y cemento-escoria.

Aluminio y el cemento-escoria no son los únicos productos donde se practica la recuperación de recursos y reciclaje, la lista es extensa de otros ejemplos y esta práctica es más aceptada por los factores de carácter económico, técnico y actitudes sociales, anteriormente mencionados. Factores reconocidos por la industria productora de minerales, metales y materiales, que está reflejada en las actividades de investigación para minimizar la generación de residuos y conversión de los mismos en sub-productos para venta en otras industrias y, recuperación de recursos y reciclaje de materiales o artefactos obsoletos.

TABLA 10. Contribución estimada a la conservación de materias primas, energía y el medio ambiente mediante el reciclaje de aluminio en USA.

Proceso Unitario	Industria del Aluminio – USA: 2000			
	Al primario de Bauxita	Al secundario de Chatarra	Diferencia	Conservado* (t, kWh)
<u>Materias Primas</u>				
Bauxita (t/t Al)	5.1	0	5.1	18,615,000
Carbón, C (t/t Al)	0.144	0	0.144	700,8000 [†]
<u>Energía (kWh/kg Al)</u>				
Del mineral - Bauxita	46.4	-	43.6	1.591E+11
De chatarra	-	2.8		(17,200 MW)
<u>Medio Ambiente – Residuos y Emisiones</u>				
Red mud (kg/kg Al ₂ O ₃), Bayer	0.3 – 2.5	0	2.66 (a)	9,709,000
SPL (t) (b)- Electrolysis	100,000	0	100,000	100,000
Criolita-perdida (kg/t Al) - Electrolysis	19	0	0	69,350
kg CO ₂ Eq/kg Al	13.83	5.062E-08(c)	13.83	50,480,000
(a) Promedio del rango 0.3-2.5; (b) Spent Pot Lining, SPL; (c) Suposición que los 2.8 kWh/kg Al es proveído con uso de 50% con gas natural y 50% bunker oil # 2.				
(*) Estimaciones corresponden para 3,650,000 toneladas métricas (t) de Al reciclado en USA				
†) Carbón metalúrgico con ~ 0.75 % de carbono.				

TABLA 11. Contribución estimada a la conservación de materias primas, energía y el medio ambiente mediante el reciclaje de escorias de la industria del acero – Canadá.

Cemento escoria	65 % escoria
	Conservado*
<u>Materias Primas</u>	
Piedra caliza (t)	1,040,000
<u>Energía</u>	
Extracción de piedra caliza (GJ)	43,888
Fabricación de cemento (GJ)	2,827,500
Total (GJ)	2,871,388
<u>Medio Ambiente – Residuos y Emisiones</u>	
Escorias (t)	650,000
Polvos fabricación cemento (t)	750
CO ₂ Eq (t)	520,833
(*) Estimaciones corresponden para una sustitución de 65 % peso con escorias para una planta de cemento con una producción de 1,000,000 toneladas métricas al año	

9. CONCLUSIÓN

Este breve análisis sobre la recuperación de recursos y reciclaje ilustra que es un campo de actividad de creciente importancia, y al mismo tiempo, provee definiciones de terminología técnica en este nuevo campo, con el objetivo de uniformizar el vocabulario técnico de materiales.

El potencial de contribución en la conservación de materias primas, recursos energéticos y del medio ambiente es significativo, como resultado de la práctica de recuperación de recursos y reciclaje. Al mismo tiempo existen formidables desafíos para aumentar su práctica, desafíos de carácter económico, técnico, actitudes sociales y del medio ambiente, los que tendrán que ser superados para maximizar su contribución de conservación tangible a la sociedad en general.

La industria productora de materiales, productos y artefactos de consumo tendrá que responder al desafío de diseñar los productos de consumo facilitando su reparación para extender su vida útil, colección, separación y desensamblado para su reciclaje económico.

Es evidente que queda mucho por hacer para que la práctica de recuperación de recursos y reciclaje sea una actividad aceptada y fomentada por la sociedad y la industria; pero también es evidente que está siendo reconocida como una actividad industrial imprescindible que facilita el uso eficiente de recursos materiales, recursos energéticos y la conservación del medio ambiente.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Guzmán, S., Environmental impact of materials production, Curso dictado en el Department of Mining, Metals and Materials Engineering, McGill University, Montreal, Canadá.
2. Guzmán S., Uso de energía en la producción de minerales, metales y la protección del medio ambiente, Revista Metalurgia - Aniversario de 25 años, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia, No 19, 1999.
3. Guzmán S., Uso de escorias como materiales de construcción y su contribución en la conservación de energía, materias primas y el medio ambiente, Revista Metalurgia, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia, No 21, 2000.
4. Materials needs and the environment today and tomorrow, Final report of the National Commission on Materials Policy, Washington, D.C. 20506, USA, June 27, 1973.
5. Battelle Memorial Institute Final Report, Survey of Iron and steel scrap, January 15, 1957.
6. USA Statistics - Recycling, Richland environmental web site information.
7. U.S. Environmental Protection Agency, Municipal solid waste – Basic facts, 1999.
8. Environment, Health and Safety Online (Website), Recycling Resources, Aluminum facts.
9. Obsolete computers, “Gold Mine”, or high-tech trash?, Resource recovery from recycling, a publication of the U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Fact Sheet FS-060-01.
10. Recycling metals – 2001, Minerals Yearbook Recycling – Metals 2001, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey – USGS, Minerals Information.
11. U.S. Environmental Protection Agency – EPA (Website), Basic facts – Municipal solid waste, Source reduction (waste prevention), recycle.
12. William T. Choate and John A.S. Green, U.S. Energy Requirements for Aluminum Production: Historical Perspective, Theoretical Limits and New Opportunities, Prepared under contract to BCS Incorporated, Columbia MD, for the U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington D.C., v 1.1, February 2003.