

# Minería Urbana

Recuperación de materiales a partir de desechos electrónicos

---

## PROYECTO INDUSTRIAL

Prof. Ing. Sergio Lattanzio

Prof. Ing. Santiago Ferro

---

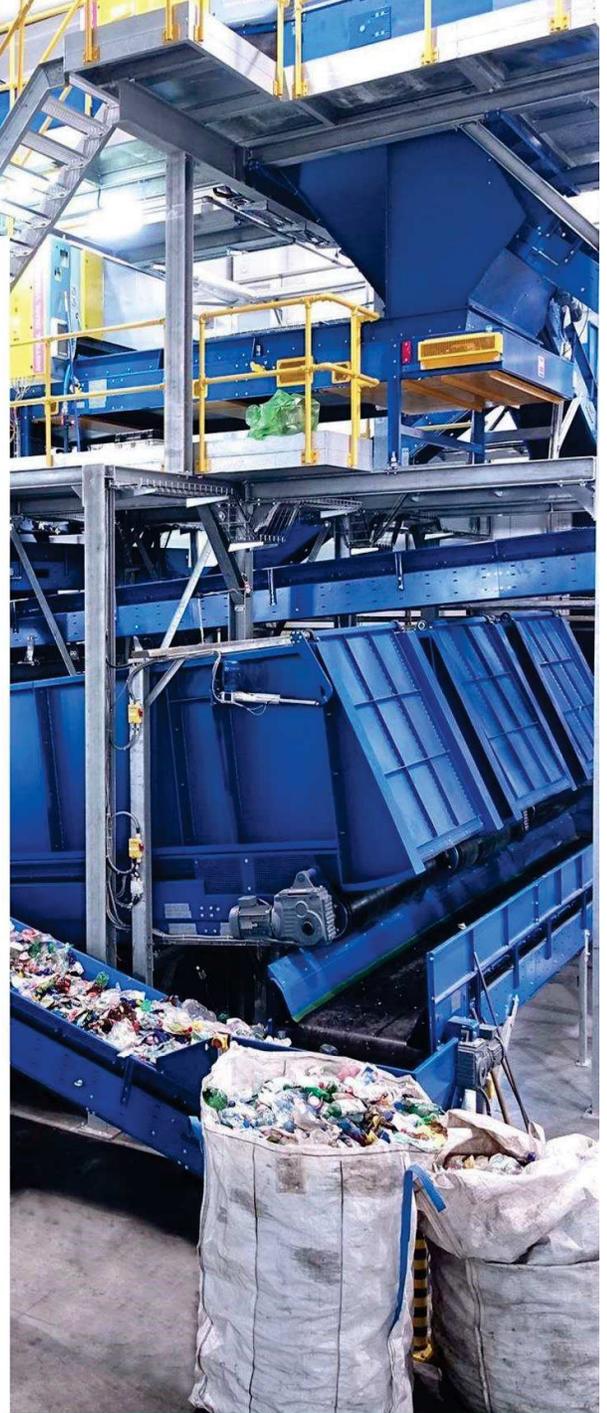
Alejandra Añón

Micaela Cambón

Patricio Jaureguiberry

Diego Ottonello

Julieta Rey



# Resumen Ejecutivo

En este proyecto se presentará la propuesta de una planta de reciclaje de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), con el propósito de recuperar mediante procesos físicos y químicos los materiales de valor para su posterior comercialización. En planta se reciclarán en promedio 2.500 toneladas por año de residuos de dispositivos de telecomunicaciones, monitores y televisores, que son los desechos electrónicos que tienen mayor composición de materiales de valor. Se adquieren además Placas de Circuito Impreso (PCBs) de empresas locales de gestión de residuos y baterías de litio de vehículos eléctricos e híbridos, siendo una planta pionera en Uruguay en tratar estos residuos.

El total de esta recolección y tratamiento implica una cobertura del 30% del total de desechos electrónicos recolectados anualmente en el Uruguay, y hasta 80% de cobertura del total de las baterías de autos eléctricos e híbridos. De este modo, el proyecto se caracteriza por un fuerte componente ambiental, disminuyendo la presión en las cadenas de disposición final, y reduciendo el impacto de los desechos sobre el ambiente. La instalación de la planta implica también el fortalecimiento de la sustentabilidad de nuevas tendencias y políticas ambientales, como lo es la masificación de los vehículos eléctricos, de forma que esta nueva clase de desecho que son las baterías, tienen un tratamiento final e incluso una segunda utilización luego de su recuperación, por ejemplo.

A lo largo de los capítulos del proyecto se realizará una evaluación integral de proyecto, analizando aspectos de comercialización, localización, capacidad de procesamiento; y con estos análisis, se consolida la viabilidad técnica con la construcción del diseño industrial para finalizar con una evaluación económica y financiera global.

La planta se ubicará en el departamento de Montevideo, Uruguay en el barrio Nuevo París (General Hornos 5330), en un predio de más de 3.600 m<sup>2</sup>, empleando hasta un total de 85 personas, de los cuales 67 son personal obrero.

La producción de mayor volumen de venta (+90% de la facturación total) es chatarra de cobre (403 ton anuales promedio), concentrado de cobre y oro (72 ton anuales promedio), y *Black Powder* (151 ton anuales promedio, mezcla de material anódico y catódico de las baterías de ion-litio). Estos productos son exportados al mercado asiático a través de un distribuidor regional en Shanghái, China. El estudio del mercado y los reportes de los principales bancos de inversión revelan mercados sostenidos y crecientes para estos productos en precio y demanda. En promedio 179 toneladas anuales de chatarra de aluminio serán exportadas a Mumbai, India a un cliente final. Localmente se comercializará en promedio 846 toneladas anuales de

chatarra ferrosa para la producción de acero, y se destinarán para la industria de la construcción 943 toneladas anuales de plástico y 486 toneladas anuales de vidrio. El resultado de este escenario de comercialización implica una facturación en planta de 6.9 a 8.8 millones de dólares americanos, con utilidades operativas del 19%.

El proceso productivo consiste en una línea manual precedente a tres líneas de máquinas. En la línea manual se realiza el desmontaje de los residuos que llegan a planta, separando baterías, pantallas de vidrio y las Placas de Circuito Impreso del resto de los componentes. Cada uno de estos flujos se direccionan a una línea de máquinas diferente, a excepción del vidrio que es producto final.

Los componentes generales de los desechos electrónicos sufren una trituración en dos etapas, donde se reduce el tamaño de partícula de tal forma que puedan ser separados los componentes individuales a través de métodos que utilizan las diferencias en sus propiedades físicas. Estos equipos extraen chatarra ferrosa, chatarra de cobre, aluminio y plástico.

Las placas de circuito impreso separadas en la línea manual y aquellas adquiridas de proveedores se procesan en una línea paralela, que opera bajo los mismos principios y etapas de separación. Esta línea produce el concentrado de cobre y oro, que a su vez contiene otros metales preciosos.

Las baterías separadas en el desmontaje se juntan con las baterías de vehículos, previamente modularizadas y descargadas. El proceso de tratamiento es realizado en *batch* de menos de una hora. A las baterías se les realiza una trituración primaria en atmósfera inerte de nitrógeno, evitando que el incremento de temperatura y la fricción generen chispas y causen la inflamación del electrolito orgánico contenido en las baterías. Luego se lleva a cabo un proceso de secado del electrolito orgánico, con el fin de remover este componente tóxico y mitigando todo riesgo de incendio y explosión asociado a las características del solvente en etapas posteriores. Con el material seco y triturado se realiza el tamizado para extraer el *Black Powder* como material particulado, y el resto de los materiales se separan compartiendo los equipos de la línea principal, pero operando según un cronograma estricto para no superar las capacidades de operación de la línea.

El proyecto analizado con una tasa de descuento del 10%, proporciona al inversor indicadores de rentabilidad positivos, con una inversión total en el año cero de 4.3 millones de dólares americanos. Con una inversión con capital mixto, y provisto de que contará con exoneración del impuesto a la renta (IRAE) por COMAP, el proyecto tiene un VAN de 3.6 millones de dólares americanos, una TIR de 24,1% y un repago en menos de 4 años. Si la inversión se realiza sin préstamos, se tiene un VAN de 3.5 millones de dólares americanos, un TIR de 12,5%, con un repago en 6 años.

La oportunidad presentada por el préstamo no solo mejora los indicadores, sino que implica una menor demanda de capital para el inversor en el año cero, lo que hace la alternativa más atractiva. El préstamo desde la perspectiva del acreedor también es viable, contando con garantías suficientes en las inversiones de la empresa (como la maquinaria), sin necesidad de garantías especiales.

En lo referente al análisis de sensibilidad del proyecto, se identifica que la disponibilidad de RAEE es el factor de mayor impacto para el proyecto, donde un 20% de disminución o más en la disponibilidad torna el VAN negativo. Igualmente, otros factores como los precios de los productos terminados y variación del requerimiento de mano de obra (y gastos asociados a esta variación) tienen un impacto significativo,

aunque tornan los indicadores de rentabilidad negativamente solamente en los extremos del análisis (40% de variación). No obstante, la combinación de estos factores puede intensificar el impacto en la rentabilidad de la inversión.

La evaluación nacional revela un impacto positivo, destacándose la generación de empleo y el ingreso de divisas extrajeras con un alto índice de valor agregado. Se reduciría el impacto ambiental y las presiones sobre la disposición actual de estos residuos en el vertedero municipal; procesando alrededor del 8,1% del desecho electrónico total generado en Uruguay y 30% del total recolectado - hasta más de tres mil toneladas anuales.

Resulta así en un proyecto económicamente viable y rentable; con salud financiera en todo el horizonte temporal de proyecto. Los mercados vinculados a la producción reportan un crecimiento histórico sostenido, y proyecciones con aumentos de precios de venta y demanda creciente. La inversión tiene un fuerte beneficio a nivel nacional, no solo a nivel de indicadores macroeconómicos (destacándose la generación de empleo y las exportaciones), sino también desde la perspectiva ambiental, reduciendo la disposición final de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en el país.