

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA-
FINANCIERA DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE
RESIDUOS TECNOLÓGICOS.****Blanco, Camila Florencia - LU 1112876**

Ingeniería Industrial

Rimoli, Nahuel Yair - LU 1131499

Ingeniería Industrial

Tutor:

Vilaboa, Iván Gonzalo, UADE

2025

UADE**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA****FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

Agradecimientos

Principalmente, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes, con su esfuerzo y dedicación, hicieron posible que hoy esté cumpliendo este objetivo. Gracias por haber invertido en mi futuro, por transmitirme los valores y conocimientos que me guiaron a lo largo de todos estos años, por ser mi sostén incondicional y por comprenderme incluso en los momentos más difíciles. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes.

También quiero agradecer a mi hermano mayor por estar presente en distintos momentos de mi carrera, ofreciéndome siempre su ayuda y apoyo cuando más lo necesitaba.

A mi cuñada, mi sobrino, mis tíos, mi prima y mis amigos, gracias por acompañarme, por alentarme cada día a seguir adelante y por no permitir que las dificultades me hicieran bajar los brazos.

A la Universidad Argentina de la Empresa (UADE), por haber sido mi segunda casa desde 2019 y por brindarme las herramientas y conocimientos fundamentales de la Ingeniería Industrial que se reflejan en este proyecto. Agradezco a todos los profesores por su compromiso y dedicación, y en especial a Iván Vilaboa, por su vocación, acompañamiento y claridad al transmitir su saber. También a los compañeros que tuve la fortuna de conocer en este camino, por haber hecho de esta experiencia un proceso de aprendizaje compartido.

Finalmente, a Nahuel, mi pareja y compañero en este gran proyecto que construimos juntos: gracias por todo lo que brindás, por tu paciencia, tu amor y, sobre todo, por tu apoyo incondicional en cada etapa de este recorrido. Espero que este sea solo el primero de muchos logros compartidos.

Con mucho aprecio,
Camila Blanco.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en la culminación de este proyecto final, el cual representa no solo un logro académico, sino también un reflejo de mi crecimiento personal.

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a mi compañera de proyecto y de vida, Camila, cuyo amor, apoyo y dedicación fueron decisivos para que pudiera llegar hasta aquí. Su confianza en mí, su aliento constante y su presencia en cada paso del camino me ayudaron a mantener el rumbo, incluso cuando pensé que tal vez ya era suficiente.

También quiero extender mi reconocimiento a todos los profesores que me han acompañado durante estos años, tanto en la universidad como fuera de ella. En especial, a los docentes de la Escuela de Educación Secundaria Técnica N.º 4 "Dr. Ernesto Longobardi", quienes nos guiaron con su experiencia y sabiduría, permitiéndonos diseñar y ejecutar el proceso de este proyecto. Gracias a su orientación, pudimos afrontar los retos que se nos presentaron con mayor claridad y determinación.

Atentamente,
Nahuel Rimoli.

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto evalúa la factibilidad técnica, ambiental y económico-financiera de implementar una planta de reciclaje de residuos tecnológicos en Argentina. El estudio se enmarca en la problemática global de la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), con énfasis en la recuperación de materiales valiosos presentes contenidos en las Placas de Circuito Impreso (PCB).

El análisis aborda de manera integral los aspectos técnicos, de mercado, ambientales y financieros, e incluye la revisión de la evolución de los RAEE, las tecnologías aplicables, la legislación vigente y experiencias internacionales, como los casos de Attero (India) y MB Group (Polonia), que demuestran la viabilidad y el impacto positivo de este tipo de emprendimientos.

A nivel nacional, se evidencia un crecimiento sostenido en la generación de RAEE, que supera las 517.000 toneladas anuales (UNITAR, 2024), mientras que el reciclaje local efectivo apenas alcanza el 5% del total, lo que evidencia un amplio potencial de desarrollo para esta industria (Sibuet, 2024).

Desde el punto de vista **técnico**, el proyecto presenta fundamentos **sólidos**. Se diseña un proceso integral que combina métodos mecánicos e hidrometalúrgicos para el tratamiento de las PCBs, con resultados que permiten recuperar metales estratégicos como oro (Au), plata (Ag) y aleaciones, además de generar fertilizantes quelados a partir de los líquidos residuales. Los residuos no valorizables, como plásticos, vidrios cerámicos y fracciones no metálicas, se destinan a disposición final a empresas habilitadas.

La planta se dimensiona para procesar **10.340 toneladas anuales de RAEE** y se localiza en el **Parque Industrial Pilar (PIP)**, cuya infraestructura, accesibilidad logística, beneficios fiscales y cercanía a los principales centros generadores de residuos justifican su elección.

En el plano **ambiental**, el proyecto es **favorable**. Si bien la actividad se clasifica dentro del Nivel de Complejidad Ambiental Categoría 2, por el manejo de sustancias químicas, se incorporan medidas de mitigación, control y monitoreo continuo que garantizan el cumplimiento normativo y respaldan la viabilidad ambiental de la iniciativa.

No obstante, el análisis **económico-financiero** arroja **resultados negativos**. Con una inversión inicial de 3.306.090,90 USD y un Costo Promedio Ponderado de Capital del 17,5%, el Valor Actual Neto (VAN) resulta negativo en los tres escenarios considerados:

Escenario	VAN (USD)
Optimista	-2.428.755 USD
Base	-3.044.767 USD
Pesimista	-3.740.920 USD

El Punto de Equilibrio supera la capacidad instalada de la planta (10.340 Tn/año) en todos los casos, con valores que oscilan 12.916 y 18.886 Tn/año, lo que indica que los ingresos por la venta de metales no cubren los costos totales bajo las condiciones actuales.

La rentabilidad se vuelve alcanzable únicamente con una **reducción del Costo Total del Producto (TPC) entre 22,6% y 33,2%**, según el escenario, o con un **incremento de los precios de venta de entre 20,9% y 33,4%**. Dichas mejoras podrían lograrse mediante estrategias de eficiencia operativa, mejora del consumo de insumos y energía, mejor gestión de compras, acceso a exenciones fiscales o financiamiento con tasas preferenciales.

Brecha de Costos			
Escenario	TPC actual (USD/año)	Reducción requerida (%)	TPC objetivo (USD/año)
Pesimista	3.244.520	33,0	2.174.828
Base	3.244.520	27,7	2.345.284
Optimista	3.244.520	22,4	2.517.437

Brecha de Precios			
Escenario	Ingreso actual (USD/año)	Incremento requerido (%)	Ingreso objetivo (USD/año)
Pesimista	2.663.680	+34,2	3.575.722
Base	2.832.163	+27,2	3.603.964
Optimista	3.000.647	+20,9	3.628.894

Asimismo, la **ampliación de la escala operativa** mediante la formalización del mercado de recolección de RAEE y la **monetización de subproductos**, como los plásticos recuperados, resulta esencial para diversificar ingresos y fortalecer la sustentabilidad económica del proyecto.

La **ruta de captura de valor** se orienta a reducir los componentes de mayor incidencia dentro del TPC, priorizando la eficiencia en el uso de insumos y recursos operativos. En el corto plazo, se propone **optimizar el consumo de reactivos y energía** mediante control de dosificación y recuperación parcial de soluciones, junto con la **importación de insumos químicos** desde mercados de menor costo, a fin de reducir el gasto total en materias primas.

A mediano plazo, la estrategia incluye la revisión de tarifas de servicios públicos, la ampliación de exenciones e incentivos fiscales y el acceso a líneas de financiamiento con tasas preferenciales, orientadas a disminuir el costo de capital. La aplicación gradual de estas medidas permitiría alcanzar una **reducción del TPC de entre 22,6% y 33,2%**, condición necesaria para lograr la **viabilidad económico-financiera del proyecto**.

En síntesis, el proyecto es **técnica y ambientalmente viable**, aunque su sostenibilidad económica y financiera depende de una reducción significativa de costos, un incremento sostenido de los ingresos y la implementación de políticas públicas que promuevan la inversión en economía circular. Estas condiciones permitirían transformar el reciclaje de residuos electrónicos en una alternativa rentable, sustentable y estratégica para el desarrollo industrial argentino.

Abstract

This project assesses the technical, environmental, and economic-financial feasibility of implementing a technological waste recycling plant in Argentina. The study is framed within the global challenge of managing Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), with emphasis on the recovery of valuable materials contained in Printed Circuit Boards (PCBs).

The analysis comprehensively addresses the technical, market, environmental, and financial aspects, and includes a review of the evolution of WEEE, applicable technologies, current legislation, and international experiences. Among these, the cases of Attero (India) and MB Group (Poland) stand out, demonstrating the feasibility and positive impact of such ventures.

At the national level, there is evidence of sustained growth in the generation of WEEE, exceeding 517,000 tonnes per year (UNITAR, 2024), while effective local recycling barely reaches 5% of the total, highlighting significant potential for the development of this industry (Sibuet, 2024).

From a **technical perspective**, the project presents solid foundations. It proposes an integrated process combining mechanical and hydrometallurgical methods for PCB treatment, yielding results that enable the recovery of strategic metals such as gold (Au), silver (Ag), and alloys, as well as the production of chelated fertilisers from the treated liquid residues. Non-recoverable materials, such as plastics, ceramic glass, and non-metallic fractions, are sent for final disposal through authorised companies.

The plant is designed to process **10,340 tonnes of WEEE per year** and is to be located in the Pilar Industrial Park (PIP), whose infrastructure, logistical accessibility, tax benefits, and proximity to the main waste-generating centres justify its selection.

From an **environmental standpoint**, the project is **favourable**. Although the activity is classified under **Environmental Complexity Level 2**, due to the handling of chemical

substances, mitigation, control, and continuous monitoring measures are incorporated to ensure regulatory compliance and support the environmental viability of the initiative.

Nevertheless, the **economic-financial analysis shows negative results**. The initial investment amounts to USD 3.306.090,90 and, with a Weighted Average Cost of Capital of 17.5%, the Net Present Value (NPV) is negative in all three scenarios evaluated:

Scenario	NPV (USD)
Optimistic	-2.428.755 USD
Base	-3.044.767 USD
Pessimistic	-3.740.920 USD

The Break-Even Point exceeds the plant's installed capacity (10,340 t/year) in all cases, with values ranging from 12,916 to 18,886 t/year. This indicates that revenues from metal sales do not cover total costs under current conditions.

Profitability becomes attainable only through a reduction in the **Total Product Cost (TPC) of between 22.6% and 33.2%**, depending on the scenario, or through an **increase in sales prices of between 20.9% and 33.4%**. These improvements could be achieved through operational efficiency strategies, optimised consumption of inputs and energy, improved procurement management, access to tax exemptions, or financing at preferential rates.

Cost Gap			
Scenario	Current TPC (USD/year)	Required Reduction (%)	Target TPC (USD/year)
Pessimistic	3.244.520	33,0	2.174.828
Base	3.244.520	27,7	2.345.284
Optimistic	3.244.520	22,4	2.517.437

Price Gap			
Scenario	Current Revenue (USD/year)	Required Increase (%)	Target Revenue (USD/year)
Pessimistic	2.663.680	+34,2	3.575.722
Base	2.832.163	+27,2	3.603.964
Optimistic	3.000.647	+20,9	3.628.894

In addition, **expanding operational scale through the formalisation of the WEEE collection market and the monetisation of by-products**, such as recovered plastics, is essential to diversify income streams and strengthen the project's economic sustainability.

The value-capture strategy focuses on reducing the components with the greatest incidence within the TPC, prioritising efficiency in the use of inputs and operational resources. In the short term, it is proposed to optimise reagent and energy consumption through dosage control and partial recovery of solutions, as well as to import chemical inputs from lower-cost markets to reduce total raw material expenditure.

In the medium term, the strategy includes the review of public utility tariffs, the extension of fiscal incentives, and access to financing lines with preferential interest rates aimed at reducing the cost of capital. The gradual implementation of these measures would enable a **reduction in TPC of between 22.6% and 33.2%**, a necessary condition to achieve the project's economic and financial viability.

In summary, **the project is technically and environmentally viable**, although its economic and financial sustainability depends on a significant reduction in costs, a sustained increase in revenues, and the implementation of public policies that promote investment in the circular economy. Under these conditions, electronic waste recycling could become a profitable, sustainable, and strategic alternative for Argentina's industrial development.

Índice

Resumen Ejecutivo	4
Abstract	7
Índice	10
Índice de Tablas.....	15
Glosario de Abreviaturas, Símbolos y Términos.....	17
CAPÍTULO I	19
1.1 Introducción	20
1.2 Objetivo	22
1.3 Descripción	23
CAPÍTULO II ANTECEDENTES	25
2.1 Evolución de los Residuos Tecnológicos	26
2.2 Investigación sobre el Reciclaje de PCB.....	28
2.3 Impacto Ambiental y Económico del Reciclaje de PCB.....	31
2.4 Regulaciones y Normativas	34
2.5 Casos de Estudio	38
2.5.1 MB Group.....	38
2.5.2 Attero.....	40
2.5.3 Síntesis.....	42
2.6 Consideraciones Finales	44
CAPÍTULO III ESTUDIO DE MERCADO.....	45
3.1 Análisis del Entorno	46
3.1.1 Entorno Macro y Microeconómico.....	46
3.1.2 Modelo PESTEL	49
3.1.3 Cinco Fuerzas de Porter	52
3.1.4 Matriz del Perfil Competitivo	55
3.2 Análisis de la Demanda y la Oferta.....	57
3.2.1 Demanda	57
3.2.2 Oferta	58
3.2.3 Análisis de Precios de Productos Recuperados	59
3.2.4 Análisis de Precios de Productos No Tratados.....	66

3.2.5 Síntesis.....	70
3.3 Segmentación del Mercado	71
3.3.1 Proveedores de RAEE	71
3.3.2 Perfil de Clientes Potenciales	73
3.4 Proyección de Demanda	76
3.4.1 Oro.....	76
3.4.2 Plata.....	77
3.4.3 Aleaciones de Aluminio	79
3.4.4 Fertilizantes	80
3.4.5 Chatarra Ferrosa	81
3.5 Consideraciones Finales	83
CAPÍTULO IV ESTUDIO TÉCNICO.....	85
4.1 Proceso de Reciclaje y Recuperación de Materiales.....	86
4.2 Materias Primas e Insumos Químicos	90
4.2.1 Residuos Tecnológicos	90
4.2.2 Reactivos Químicos	90
4.3 Determinación de la Capacidad de Diseño.....	92
4.3.1 Dimensionamiento de Materia Prima	93
4.3.2 Dimensionamiento de Productos Recuperados	98
4.3.3 Dimensionamiento de Residuos No Tratados.....	99
4.4 Selección de Maquinaria y Equipos	102
4.4.1 Recepción y Clasificación de Residuos.....	102
4.4.2 Extracción de Microprocesadores y Conectores.....	102
4.4.3 Procesamiento de PCBs Despobladas	103
4.4.4 Tratamiento de Fertilizantes.....	103
4.4.5 Descripción de los Equipos.....	104
4.4.6 Mercado Objetivo vs Producción Anual.....	105
4.4.7 Planificación de Compras de Equipos.....	105
4.5 Análisis de Localización	108
4.5.1 Macrolocalización	108
4.5.2 Microlocalización	109

4.5.3 Terreno Seleccionado.....	128
4.6 Lay-Out.....	130
4.6.1 Plano General.....	130
4.6.2 Sectores Productivos y de Almacenamiento	131
4.6.3 Servicios Auxiliares.....	134
4.6.4 Dotación de Personal y Organización Operativa	134
4.6.5 Flujo de Trabajo.....	137
4.6.6 Cálculo de Áreas Mínimas y Acopio	139
4.7 Consideraciones Finales	140
CAPÍTULO V EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	141
5.1 Línea Base Ambiental del Entorno	142
5.1.1 Calidad del Aire	142
5.1.2 Calidad del Agua.....	143
5.1.3 Estado del Suelo	145
5.1.4 Niveles de Ruido	146
5.1.5 Flora	147
5.1.6 Fauna.....	148
5.1.7 Entorno Socioeconómico	149
5.1.8 Síntesis.....	150
5.2 Identificación y Valoración de Impactos	152
5.2.1 Identificación de Impactos	152
5.2.2 Valoración de Impactos	154
5.3 Normativa Ambiental Aplicable.....	157
5.4 Determinación del Nivel de Complejidad Ambiental (NCA)	159
5.5 Medidas de Mitigación del Impacto Ambiental.....	161
5.5.1 Síntesis.....	164
5.6 Plan de Monitoreo Ambiental.....	166
5.7 Higiene y Seguridad Industrial (HS).....	169
5.7.1 Condiciones de Higiene del Proceso	169
5.7.2 Condiciones de Seguridad del Proceso.....	170
5.7.3 Tratamiento de Efluentes Líquidos	173

5.7.4 Tratamiento de Lodos.....	174
5.7.5 Sistema de Protección Contra Incendios (PCI).....	176
5.8 Consideraciones Finales	178
CAPÍTULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO.....	179
6.1 Inversión inicial.....	180
6.1.1 Consideraciones de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente	183
6.2 Proyección de Precios de Materias Primas	184
6.2.1 Insumos Químicos	184
6.2.2 RAEE.....	185
6.3 Costos Operativos	186
6.4 Punto de Equilibrio.....	190
6.5 Análisis de Pareto de Ingresos por Producto	193
6.6 Consideraciones Finales	197
CAPÍTULO VII ANÁLISIS FINANCIERO	199
7.1 Cálculo de la WACC	200
7.2 Calculo del Valor Terminal con Flujo Constante Finito.....	202
7.3 Proyección de Flujos.....	204
7.4 Cálculo del Valor Actual Neto	208
7.5 Tasa Interna de Retorno	210
7.6 Análisis de Sensibilidad	211
7.6.1 Sensibilidad del TPC.....	212
7.6.2 Sensibilidad de la WACC	214
7.6.3 Sensibilidad del Precio del Aluminio Sucio	215
7.6.4 Sensibilidad del Precio del Oro.....	217
7.6.5 Sensibilidad de los Precios de Venta	220
7.6.6 Sensibilidad sobre la Tarifa de Tratamiento de RAEE (Gate Fee).....	222
7.7 Consideraciones Finales	224
CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES	226
BIBLIOGRAFÍA.....	229
ANEXO.....	240
Anexo A.....	241

Anexo B	242
Anexo C	243
Anexo D	244
Anexo E	246
Anexo F	248
Anexo G	250
Anexo H	252
Anexo I	255
Anexo J	257
Anexo K	261
Anexo L	266
Anexo M	272

Índice de Tablas

TABLA I: Modelo PESTEL	51
TABLA II: Cinco Fuerzas de Porter	54
TABLA III: Matriz del Perfil Competitivo	55
TABLA IV: Proyección del Precio Internacional del Oro (2025-2030)	60
TABLA V: Proyección del Precio Internacional de la Plata (2025-2030)	61
TABLA VI: Proyección del Precio Internacional de Aleaciones (2025-2030)	63
TABLA VII: Proyección del Precio Internacional del Fertilizante (2025-2030)	65
TABLA VIII: Proyección del Precio del Aluminio Sucio	67
TABLA IX: Proyección del Precio del Hierro (2025-2030)	69
TABLA X: Proyección del Precio de la Chatarra Ferrosa	69
TABLA XI: Análisis de Valor por Segmento de Cliente	75
TABLA XII: Proyección de la Demanda del Oro	77
TABLA XIII: Proyección de la Demanda de la Plata	78
TABLA XIV: Proyección de las Aleaciones de Aluminio	80
TABLA XV: Proyección de la Demanda de los Fertilizantes	81
TABLA XVI: Proyección de la Demanda de la Chatarra Ferrosa	82
TABLA XVII: Principales Reactivos	91
TABLA XVIII: Estimación de la Producción Anual de los Productos Principales	93
TABLA XIX: Masa Mensual y Anual a Almacenar (kg)	94
TABLA XX: Volúmenes Mensuales y Anuales a Almacenar (litros)	94
TABLA XXI: Volumen de Materia Prima Sólida [m³]	96
TABLA XXII: Volumen de Materia Prima Líquida [m³]	96
TABLA XXIII: Stock de Seguridad Necesario	98
TABLA XXIV: Producción y Volumen por Año de Productos Recuperados	99
TABLA XXV: Proyección para los Materiales No Tratados [Tn]	100
TABLA XXVI: Volumen Estimado de Materiales Remanentes Anuales	101
TABLA XXVII: Resumen de los Equipos Necesarios	104
TABLA XXVIII: Selección de Maquinaria y Equipos Principales	104
TABLA XXIX: Proyección de Mercado Objetivo y Producción Estimada (2026–2030)	105
TABLA XXX: Plan Escalonado de Adquisición de Maquinaria y Equipos	107
TABLA XXXI: Matriz de Evaluación Ponderada de Microlocalización	127
TABLA XXXII: Medidas Aproximadas del Lote	129
TABLA XXXIII: Dotación de Personal por Área	136
TABLA XXXIV: Resumen de Situación Actual de Parque Industrial Pilar	151
TABLA XXXV: Identificación de Impactos de la Planta de Reciclaje	153
TABLA XXXVI: Valoración de Impactos	155
TABLA XXXVII: Factores y Valores del Nivel de Complejidad Ambiental (NCA_i)	159
TABLA XXXVIII: Matriz de Leopold Adaptada	165
TABLA XXXIX: Plan de Monitoreo Ambiental (Impacto Físico)	167
TABLA XL: Plan de Monitoreo Ambiental (Impacto Social)	168
TABLA XLI: Parámetros y Factores para la Inversión Inicial	181
TABLA XLII: Cómputo de Inversión	182

TABLA XLIII: Resultados de Proyección (USD/kg)	184
TABLA XLIV: Base de Capital	187
TABLA XLV: Materias Primas Consumidas en 2026	187
TABLA XLVI: Partidas de Costos Fijos (2026)	188
TABLA XLVII: Partidas Proporcionales al TPC	188
TABLA XLVIII: Evolución de los Costos Operativos (2026–2030)	189
TABLA XLIX: Ingresos Esperados según Escenario	191
TABLA L: Resultados Esperados en 2026	191
TABLA LI: Análisis de Ingreso en Escenario Pesimista	193
TABLA LII: Análisis de Ingreso en Escenario Base	194
TABLA LIII: Análisis de Ingreso en Escenario Optimista	195
TABLA LIV: Proyección de Flujo en Escenario Pesimista	205
TABLA LV: Proyección de Flujo en Escenario Base	206
TABLA LVI: Proyección de Flujo en Escenario Optimista	206
TABLA LVII: Resultados de la VAN	209
TABLA LVIII: Proyección de Flujo en Escenario Pesimista	213
TABLA LIX: Proyección de Flujo en Escenario Base	213
TABLA LX: Proyección de Flujo en Escenario Optimista	213
TABLA LXI: Resultados de la VAN	214
TABLA LXII: Resultados del Análisis de Sensibilidad del Precio del Aluminio Sucio . 215	
TABLA LXIII: Análisis de Precios del Aluminio Sucio en Escenario Pesimista	216
TABLA LXIV: Análisis de Precios del Aluminio Sucio en Escenario Base	217
TABLA LXV: Sensibilidad Precio del Aluminio Sucio en Escenario Optimista	217
TABLA LXVI: Resultados del Análisis de Sensibilidad del Precio del Oro	218
TABLA LXVII: Sensibilidad Precio del Oro en Escenario Pesimista	219
TABLA LXVIII: Sensibilidad Precio del Oro en Escenario Base	219
TABLA LXIX: Sensibilidad Precio del Oro en Escenario Optimista	219
TABLA LXX: Resultados del Análisis de Sensibilidad de los Precios de Venta	220
TABLA LXXI: Sensibilidad Precios de Venta en Escenario Pesimista	221
TABLA LXXII: Sensibilidad Precios de Venta en Escenario Base	221
TABLA LXXIII: Sensibilidad Precios de Venta en Escenario Optimista	221
TABLA LXXIV: Resultados del Análisis de Sensibilidad de Gate Fee	222
TABLA LXXV: Sensibilidad Gate Fee en Escenario Pesimista	223
TABLA LXXVI: Sensibilidad Gate Fee en Escenario Base	223
TABLA LXXVII: Sensibilidad Gate Fee en Escenario Optimista	223

Glosario de Abreviaturas, Símbolos y Términos

Término/Símbolo	Significado/Descripción
AgCl	Cloruro de plata. Compuesto insoluble que precipita al reaccionar cloruro con plata.
Al ^o	Aluminio metálico en estado elemental (no combinado).
Au ^o	Oro metálico en estado elemental. Se recupera de microprocesadores y conectores.
CAGR	Tasa de Crecimiento Anual Compuesta.
CAPEX	Gasto de Capital (<i>Capital Expenditure</i>)
Cu	Cobre; metal recuperable a partir de soluciones tratadas y queladas.
C _{Vu}	Costo variable asociado a cada unidad (tonelada de RAEE) producida o procesada.
Desensamble	Etapa de desmontaje manual de equipos electrónicos para separar componentes.
EBIT	Ganancias Antes de Intereses e Impuestos (<i>Earnings Before Interest and Taxes</i>)
Economía Circular	Modelo que busca reducir, reutilizar y reciclar materiales para cerrar el ciclo productivo
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético. Agente quelante utilizado para recuperar metales como Ni, Fe y Cu
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
FCF	Flujo de Fondos Libre (<i>Free Cash Flow</i>)
FCI	Fondo de Capital Invertido o Inversión Fija de Capital
Fe	Hierro, metal que puede recuperarse en forma de quelato.
Fertilizante Quelado	Producto obtenido al combinar un metal con EDTA, que mejora su absorción vegetal.
FeSO ₄	Sulfato ferroso. Se utiliza para precipitar oro desde soluciones tratadas con agua regia.
Flujo de Fondos	Proyección de ingresos y egresos del proyecto en un periodo determinado.
H ₂ SnO ₃	Ácido estañoso. Componente presente en residuos sólidos luego del tratamiento químico.
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico. Reacciona con soluciones para precipitar compuestos como PbSO ₄ .
HCl	Ácido clorhídrico. Usado para tratar precipitados y obtener metales puros.
HNO ₃	Ácido nítrico. Se emplea para disolver componentes metálicos de las PCBs.
Impacto Ambiental	Alteración del medio ambiente producida por actividades humanas.
Inversión Inicial	Monto total necesario para poner en marcha la planta.
Lay-out Industrial	Distribución física de áreas, equipos y flujos de trabajo en una planta.
Mitigación Ambiental	Medidas aplicadas para reducir o compensar impactos negativos.
Mufla	Horno de alta temperatura utilizado para fundir residuos sólidos y obtener aleaciones metálicas.
NaCl	Cloruro de sodio. Se agrega para precipitar cloruro de plata desde soluciones de nitratos.
NCA	Nivel de Complejidad Ambiental
Ni	Níquel; recuperado en forma de quelato para uso potencial como fertilizante.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas

OPEX	Costos Operativos; Gastos periódicos de funcionamiento (materias primas, energía, mantenimiento, etc.)
Pb	Plomo; presente en residuos sólidos de PCBs.
PBI	Producto Bruto Interno
PbSO ₄	Sulfato de plomo. Precipitado blanco resultante del tratamiento con H ₂ SO ₄ .
PCB	Placa de Circuito Impreso
PE	Punto de Equilibrio; Nivel de producción donde ingresos y costos se igualan.
PEC	Precio de Equipos Comprados (<i>Purchased Equipment Cost</i>)
PESTEL	Análisis Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal
PIP	Parque Industrial Pilar
Precipitación Selectiva	Método químico para separar metales específicos de una solución.
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
Q _{PE}	Volumen de producción o procesamiento (en toneladas/año) necesario para que el ingreso total iguale al costo total
Quelato	Compuesto complejo formado por un metal y EDTA, estable y útil como fertilizante.
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
Reciclaje Mecánico	Proceso físico que separa materiales mediante trituración, cribado o separación magnética
Recuperación Hidrometalúrgica	Técnica química que usa soluciones acuosas para extraer metales de las PCBs.
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
RIGI	Régimen de Incentivo para Grandes Inversiones
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
Sb	Antimonio, elemento presente en residuos sólidos metálicos tratados térmicamente
Sn	Estaño, extraído de soldaduras y aleaciones
TIR	Tasa Interna de Retorno
TPC	Costo Total del Producto
Valor Terminal	Estimación del valor de la planta al final del periodo de análisis.
VAN	Valor Actual Neto
WACC	Costo Promedio Ponderado de Capital
Zn	Zinc, se emplea como agente reductor para precipitar metales desde soluciones

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son un gran problema a nivel ambiental, debido a que son abandonados o desechados por la población mundial. A largo plazo, esta contaminación genera problemas ambientales tales como contaminación de suelo y agua, proliferación de fauna nociva transmisora de enfermedades y aumento de efecto invernadero. (World Health Organization, 2022)

Existen seis tipos de RSU según su composición:

- Papel y cartón: Son fáciles de reciclar.
- Vidrio: También son altamente reciclables.
- Plásticos: Algunos de ellos son reciclables, pero otros son más difíciles de procesar.
- Orgánicos: Fácilmente reciclables si se separan correctamente en origen.
- Peligrosos: Requieren un tratamiento especial para reducir su impacto medioambiental.
- Electrónicos: Necesitan un tratamiento adecuado para garantizar la reutilización y reciclaje de sus componentes.

También, según su origen, hay siete clasificaciones:

- Residuos Domésticos: Producidos en los hogares como resultado de actividades cotidianas.
- Residuos Comerciales: Similares al anterior, pero con la diferencia de que son generados en oficinas y servicios.
- Residuos Industriales: Producidos como resultado de procesos industriales, como los desperdicios de producción, residuos químicos o subproductos industriales.
- Residuos Sanitarios: Generados en hospitales, clínicas y centros de salud.
- Residuos Mineros: Derivados de actividades de extracción y procesamiento de minerales.
- Residuos Agrícolas y Ganaderos: Restos de cosechas, estiércol, residuos de alimentos para animales o plásticos agrícolas.
- Residuos de Construcción y Demoliciones: Escombros, madera o metales.

A nivel mundial, la generación de residuos electrónicos crece cinco veces más rápido que la capacidad de reciclaje (UNITAR, 2024). Como consecuencia, una gran parte de estos desechos es descartada de forma inadecuada, que libera hasta 1000 sustancias químicas en el medio ambiente (OMS, 2023). Entre ellas se encuentran metales pesados como Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Cobre (Cu) y Níquel (Ni), que pueden afectar la salud y el ecosistema. Estos metales están presentes en las placas de circuito impreso (PCB), donde cumplen funciones esenciales en la conducción eléctrica. Sin embargo, también contienen materiales que tienen alto valor comercial y no son considerados altamente contaminantes como el Oro (Au), Aluminio (Al) y Estaño (Sn), cuya recuperación mediante reciclaje permite reducir la explotación de recursos naturales y mitigar el impacto ambiental de los residuos electrónicos. (OMS, 2023)

El manejo ineficiente de estos residuos ya sea por la falta de sistemas efectivos de recolección y tratamiento o por el desconocimiento de la población sobre su adecuado descarte, provoca serias alteraciones en los ecosistemas. Los materiales tóxicos presentes en los dispositivos electrónicos pueden degradarse lentamente, filtrándose en la tierra y contaminando las napas subterráneas. Además, estos residuos pueden sufrir procesos de lixiviación¹ hacia los cursos de agua, que afecta la calidad de los suelos, comprometiendo así la biodiversidad y poniendo en riesgo la salud de las comunidades cercanas. (OMS, 2023)

A pesar de la gravedad de este problema, el impacto de los desechos electrónicos no se limita únicamente al país en el que se generan. Aunque existen normativas internacionales diseñadas para regular el transporte de estos residuos, la realidad es que grandes volúmenes de desechos electrónicos siguen siendo trasladados, muchas veces de forma ilegal, hacia países de ingresos medianos y bajos. Estas naciones, con infraestructuras de gestión de residuos insuficientes, se ven obligadas a lidiar con materiales altamente contaminantes sin contar con los recursos adecuados para su tratamiento seguro.

¹ La lixiviación implica disolver metales valiosos de un material mediante agentes químicos, seguida de separaciones y extracciones para su recuperación eficiente. (Nisbett et al., 2013)

Este comercio ilícito de desechos electrónicos representa una amenaza significativa, ya que muchos de estos residuos contienen o pueden generar materiales tóxicos si no son tratados debidamente. Se sospecha que diversos de estos compuestos tienen efectos perjudiciales sobre la salud humana, y en muchos casos ya se ha demostrado su toxicidad extrema. (OMS, 2023) La exposición prolongada a estos contaminantes puede provocar enfermedades respiratorias, daños neurológicos e incluso afectar el desarrollo infantil, agravando así problemas de salud pública en comunidades vulnerables (OMS, 2023). Ante este panorama, resulta fundamental reforzar la implementación y el cumplimiento de normativas internacionales, así como fomentar una mayor conciencia global sobre la importancia del reciclaje y la gestión responsable de los desechos electrónicos. Solo a través de un compromiso conjunto entre gobiernos, empresas y ciudadanos será posible mitigar el impacto ambiental y sanitario de estos residuos y avanzar hacia un modelo de consumo y producción más sostenible.

1.2 Objetivo

El presente proyecto final de ingeniería tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y económico-financiera de la implementación de una planta de reciclaje de residuos tecnológicos. En este sentido, los principales factores que favorecen el cumplimiento de esta meta son:

- Estudiar y comprender el contexto del proyecto, con el fin de realizar un análisis de mercado adecuado, que incluya las normativas, habilitaciones y leyes correspondientes.
- Evaluar la viabilidad técnico-económica de su implementación, con el objetivo de recuperar materiales de alto valor agregado que puedan reincorporarse en procesos industriales.
- Contribuir a la gestión sostenible de residuos electrónicos, promoviendo el desarrollo social a través de la creación de valor a partir de materiales reciclados.

1.3 Descripción

El estudio de factibilidad técnica y económica-financiera de una planta de reciclaje de residuos tecnológicos comienza con una revisión de las investigaciones realizadas a lo largo de los años sobre el manejo, tratamiento y reciclaje de estos residuos. Este análisis permite comprender la evolución de las estrategias de reciclaje, los procesos utilizados por diferentes empresas, los cuales se toman como casos de estudio, y, por último, los impactos ambientales y económicos asociados. Además, se examina el marco legal vigente, incluyendo las regulaciones y normativas aplicables a nivel nacional e internacional, con el fin de garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales y operativos requeridos. Sobre esta base, se desarrolla el estudio de mercado, donde se analizan aspectos clave como el tamaño y crecimiento del sector, la demanda actual y proyectada, las tendencias en la gestión de residuos electrónicos y el comportamiento de los clientes potenciales. También, se investigan los actores principales del mercado, incluyendo empresas recicladoras, fabricantes de productos electrónicos y organismos reguladores, con el objetivo de identificar oportunidades y posibles alianzas estratégicas.

Posteriormente, se lleva a cabo el estudio técnico, en el que se incluye la selección de la ubicación más adecuada para la instalación, considerando factores como accesibilidad, proximidad a fuentes de residuos tecnológicos y costos logísticos. Asimismo, se detalla el diseño del layout de la planta, procurando una disposición funcional y coherente de las áreas de recepción, almacenamiento, clasificación, procesamiento y despacho de materiales recuperados. También, se realiza un análisis de la maquinaria y la tecnología necesaria para la recuperación de los distintos componentes de los residuos electrónicos, asegurando la solidez y sustentabilidad del proceso productivo.

Por último, se desarrolla el análisis económico-financiero, cuyo propósito es determinar la viabilidad del proyecto desde una perspectiva financiera. Este estudio abarca la estimación de costos de inversión, los costos operativos asociados a la producción y mantenimiento de la planta como también se analizan las fuentes de financiamiento y estrategias de captación de capital necesarias para la puesta en marcha del proyecto. Además, se elaboran proyecciones

financieras anuales, incluyendo estados de resultados, flujo de fondos y análisis del punto de equilibrio para evaluar la rentabilidad del negocio a corto y largo plazo. Este análisis se complementa con un estudio de sensibilidad, el cual permite alterar variables clave, como costos de operación, precios de venta y demanda del mercado, el cual identifica si afecta o no la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.

El trabajo finaliza con un apartado de conclusiones, en el que se presentan los principales hallazgos obtenidos, destacando los factores clave que inciden en la factibilidad del proyecto y en la toma de decisiones de inversión. Por último, se incluye la bibliografía consultada para respaldar los fundamentos teóricos y metodológicos utilizados en la investigación, así como los anexos pertinentes, que complementan la información desarrollada a lo largo del estudio.

CAPÍTULO II ANTECEDENTES

2.1 Evolución de los Residuos Tecnológicos

Desde el siglo XIX, la cantidad de residuos tecnológicos ha aumentado de manera constante. En aquel entonces, la tecnología y su producción tenían un alcance limitado, y su presencia en la vida cotidiana era mínima, por lo que la generación de estos desechos era prácticamente inexistente. Sin embargo, esta situación cambió a lo largo del siglo XX, cuando, principalmente tras la Segunda Guerra Mundial, se produjo una expansión masiva en la producción y el consumo de productos electrónicos. La aparición de radios, televisores y, más tarde, computadoras personales y teléfonos móviles provocó un notable incremento en la generación de estos residuos. No obstante, en sus primeras etapas, la gestión de estos desechos no fue una prioridad, y las estadísticas globales al respecto eran limitadas.

Durante el siglo XXI, los desechos tecnológicos han experimentado un notable aumento, debido a la masificación de dispositivos como teléfonos celulares, computadoras e incluso aspiradoras inteligentes, así como a la implementación de estrategias de obsolescencia programada, las cuales consisten en diseñar productos con una vida útil reducida, obligando a los consumidores a reemplazarlos con mayor frecuencia para sostener la demanda del mercado (Arriols, 2024). Como consecuencia, la cantidad total de desechos electrónicos generados en 2022 ascendió a 62 millones de toneladas, de las cuales sólo el 22,3% fue reciclado adecuadamente. Si esta tendencia continúa, se estima que para 2030 la cifra alcanzará los 82 millones de toneladas, lo que evidencia la urgente necesidad de mejorar los sistemas de recolección y tratamiento de estos residuos para minimizar su impacto ambiental y optimizar la recuperación de materiales valiosos. (ONU, 2024)

En 2022, Europa fue la región con mayor generación per cápita, alcanzando los 17,6 kg per cápita, de los cuales 7,53 kg fueron recolectados y reciclados, lo que representa un 42,8% del total. Oceanía también presentó un alto nivel de generación, con 16,1 kg per cápita, y una tasa de reciclaje del 41,4%. En América, la cantidad de residuos generados fue de 14,1 kg por persona, pero sólo 4,2 kg fueron recolectados formalmente, resultando en un índice de reciclaje del 30%. En Asia, a pesar de ser la región más poblada, la generación per cápita fue menor (6,4 kg), con una tasa de reciclaje del 11,8%. África presentó los valores más bajos, con 2,5 kg per

cápita y solo 0,018 kg recolectados, lo que equivale a una tasa de reciclaje del 0,7% (Figura 1). (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 12)

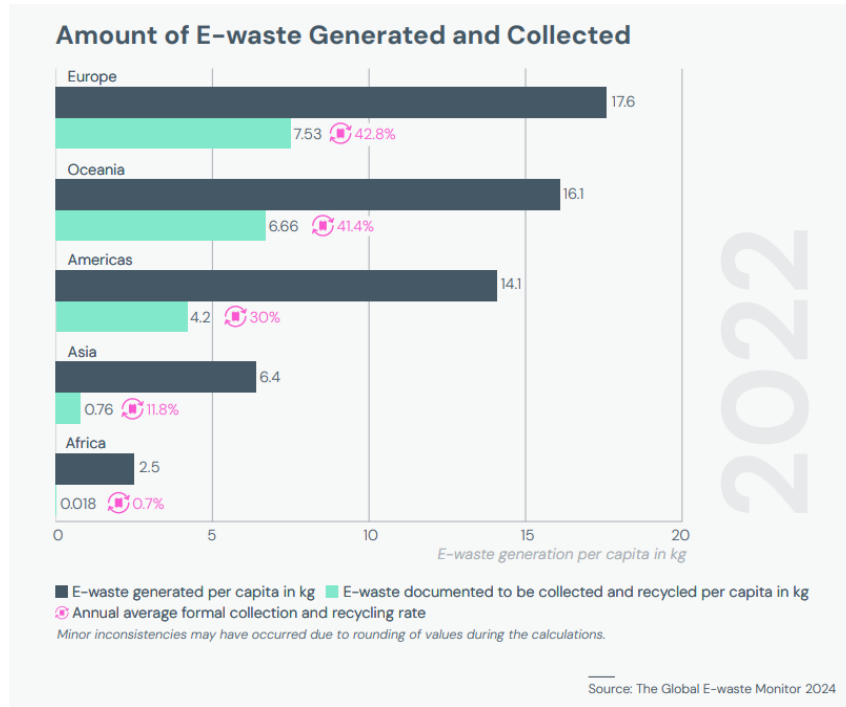


Figura 1: Generación y recolección de residuos electrónicos por persona en distintas regiones en 2022. Fuente: The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac.

Argentina sigue esta misma tendencia de crecimiento acelerado. En 2018, el país generaba cerca de 450.000 toneladas métricas de residuos electrónicos (Statista, 2024), mientras que en 2022 la cifra ascendió a 517.000 toneladas métricas, posicionándose como el segundo mayor generador de desechos electrónicos en América del Sur. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 75)

2.2 Investigación sobre el Reciclaje de PCB

Las placas de circuito impreso, conocidas por sus siglas en inglés PCB (Printed Circuit Board), son componentes fundamentales en la mayoría de los dispositivos electrónicos, ya que proporcionan soporte físico y conectividad eléctrica a los distintos elementos que conforman el circuito. Su reciclaje resulta crucial tanto desde el punto de vista ambiental como económico, ya que contienen metales valiosos como oro, plata y cobre, pero también metales pesados como plomo y cadmio, los cuales son tóxicos si no se gestionan adecuadamente.

A nivel global, se identifica la presencia de aproximadamente 1.000 millones de kilogramos de cobre en residuos electrónicos, especialmente en PCBs. Asimismo, estos componentes contienen cantidades menores de metales preciosos como oro, paladio y plata, que en conjunto suman alrededor de 1,6 millones de kg, y son altamente valorados en los procesos de recuperación. Sin embargo, las PCBs también albergan sustancias peligrosas, como plomo (70 millones de kg) y cobalto (34 millones de kg), lo que representa un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud si no se lleva a cabo un tratamiento adecuado.

En 2022, de los 31.000 millones de kilogramos de metales presentes en los residuos electrónicos generados a nivel mundial, se estima que 12.000 millones de kg se perdieron debido a procesos de reciclaje ineficientes o su disposición en sistemas de gestión no regulados. Esta pérdida subraya la necesidad de optimizar la recuperación de PCBs, no solo para conservar recursos valiosos, sino también para reducir el impacto ambiental asociado a su mal manejo. (Figura 2) (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 44)

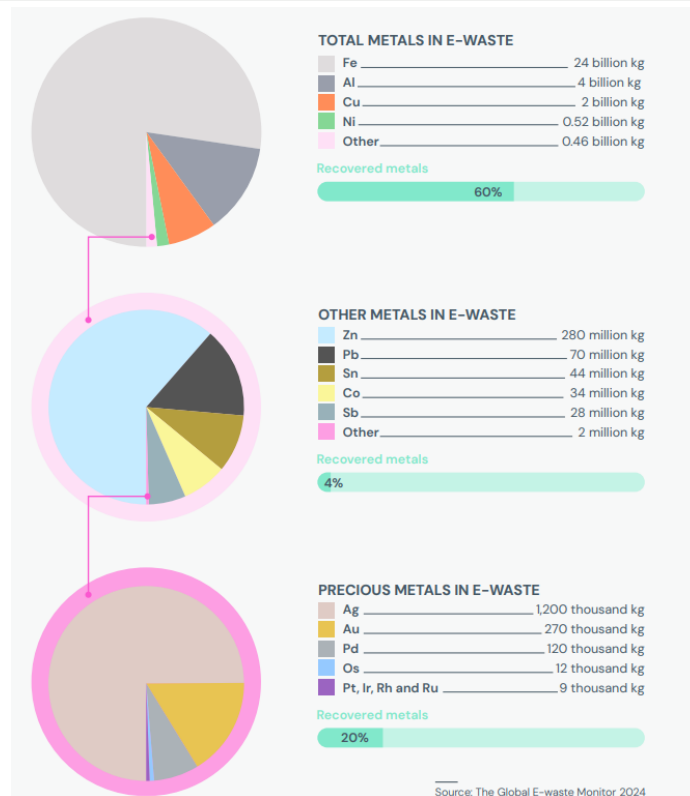


Figura 2: Metales recuperados y no recuperados en residuos electrónicos (2022). Fuente: The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac.

El reciclaje de PCBs enfrenta múltiples desafíos debido a la complejidad de su composición y la presencia de materiales peligrosos. A lo largo de los años, se desarrollaron diversas técnicas para la recuperación eficiente de sus componentes, cada una con ventajas y limitaciones:

1. Reciclaje Mecánico

Este método implica la trituración de las PCBs y la posterior separación de materiales según sus propiedades físicas, mediante técnicas como la separación magnética o por gravedad. Esta técnica permite recuperar metales como oro, plata y cobre, además de plásticos reutilizables. Sin embargo, presenta limitaciones, como la pérdida parcial de metales preciosos y la dificultad de recuperar elementos tóxicos como el plomo. (GENOX, 2023)

2. Recuperación Pirometalúrgica

Mediante la aplicación de altas temperaturas, este proceso permite fundir y separar los metales como cobre y estaño. Es una técnica eficiente para la recuperación de ciertos metales, pero puede generar emisiones contaminantes y residuos peligrosos, lo que requiere estrictos controles ambientales. (GENOX, 2023)

3. Técnicas Hidrometalúrgicas

Este método utiliza soluciones químicas para disolver y extraer los metales de las PCBs. A través de procesos como la lixiviación y la precipitación selectiva, es posible recuperar con alta eficiencia elementos valiosos. No obstante, el uso de productos químicos requiere un manejo adecuado de los residuos generados para evitar impactos ambientales. (GENOX, 2023)

4. Reciclaje Biotecnológico

Este enfoque innovador emplea microorganismos y enzimas para extraer selectivamente los metales de las PCBs sin recurrir a sustancias químicas agresivas. Es una alternativa ecológica con gran potencial, aunque aún se encuentra en fase de investigación y su implementación a nivel industrial es limitada. (GENOX, 2023)

En el contexto global del reciclaje de PCBs, varios países adoptaron la estrategia de exportar estos residuos a instalaciones especializadas para su tratamiento y recuperación. Entre 2020 y 2021, Venezuela envió 536.000 kg de PCBs a Japón y España, mientras que, según informes nacionales de 2021, Brasil exportó 550.000 kg de PCBs a la República de Corea con el mismo propósito. Por su parte, en 2019, Argentina exportó 118.000 kg de PCBs a Francia para su tratamiento. Sin embargo, se estima que en América del Sur existen exportaciones no reportadas de PCBs y otros residuos electrónicos, lo que dificulta el seguimiento y control del movimiento transfronterizo de estos materiales. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p.74)

En conclusión, la recuperación de metales en PCBs sigue siendo un desafío. Solo el 20% de los metales preciosos contenidos en los residuos electrónicos fue recuperado en 2022,

lo que evidencia la necesidad de mejorar las tecnologías de reciclaje y fortalecer los marcos regulatorios para evitar la pérdida de recursos estratégicos.

2.3 Impacto Ambiental y Económico del Reciclaje de PCB

El reciclaje de PCBs presenta un impacto ambiental y económico considerable, especialmente en el actual contexto de crecimiento acelerado de los residuos electrónicos. Aunque durante su vida útil las PCBs generan un nivel mínimo de residuos, al finalizar su ciclo de vida se convierten en una fuente crítica de contaminación ambiental debido a los materiales peligrosos que contienen, tales como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo. Estos compuestos, al ser liberados de manera inadecuada, pueden filtrarse en el suelo y las aguas subterráneas, afectando los ecosistemas y la salud humana. Por ejemplo, la exposición al plomo está asociada al deterioro cognitivo y problemas circulatorios, mientras que el cadmio puede causar alteraciones en la función reproductiva y renal.

Durante su proceso de fabricación, las PCBs generan una variedad de contaminantes atmosféricos, incluyendo vapores ácidos, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles y clorofluorocarbonos (CFC). Estos agentes contaminantes contribuyen significativamente al deterioro de la calidad del aire, la formación de lluvia ácida y la degradación de la capa de ozono. En este contexto, el reciclaje de PCBs permite evitar su disposición final en vertederos o su incineración, prácticas que suelen liberar emisiones tóxicas adicionales y generar residuos peligrosos. (Rowsum, 2023)

Asimismo, su producción genera diversos contaminantes en las corrientes de desechos, tales como soluciones ácidas y alcalinas, metales pesados como plata, cobre y plomo, así como residuos sólidos que incluyen lodos, chatarra metálica, agua de enjuague residual, restos de soldadura, filtros y guantes utilizados durante las distintas etapas del proceso.

Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se prioriza la reutilización de materiales mediante el reciclaje, evitando así la extracción de nuevas materias primas como el cobre y el aluminio, recursos limitados utilizados en la fabricación de circuitos impresos. Esta estrategia no solo disminuye la presión sobre los recursos naturales, sino que también mitiga el

impacto ambiental asociado a la producción de nuevos componentes electrónicos, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. Para ilustrar la magnitud de este beneficio, se estima que mientras en una mina convencional se extraen entre 1 y 2 gramos de oro por tonelada de material, en las placas de computadora es posible recuperar entre 200 y 250 gramos de oro por cada tonelada procesada (Peydayesh et al., 2024).

Otro aspecto relevante es el uso de sustancias químicas durante la fabricación de PCBs, como el tetrabromobisfenol-A (TBBA), que puede liberar bromuro de metilo, un compuesto altamente perjudicial para la capa de ozono. En este sentido, el reciclaje no solo permite recuperar materiales valiosos, sino que también reduce la dependencia de estos químicos nocivos, ayudando a disminuir el impacto ambiental asociado a sus subproductos (Rowsum, 2023).

Desde el punto de vista **económico**, en 2022, se calculó que el valor total de los metales contenidos en los residuos electrónicos fue de aproximadamente 91 mil millones de dólares. La mayor parte de este valor se concentra en tres metales muy demandados: el cobre (19 mil millones), el oro (15 mil millones) y el hierro (16 mil millones). Sin embargo, no todo ese valor logra recuperarse de manera sostenible, ya que la baja tasa de recolección a nivel global apenas llega al 22,3%. No solo eso, sino que una parte importante de los residuos electrónicos es gestionada por el sector informal, donde se utilizan métodos contaminantes. Esto no solo reduce la eficiencia en la recuperación de materiales, sino que también incrementa los impactos negativos sobre el ambiente y la salud de las personas involucradas. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 54)

Las prácticas actuales de gestión de residuos electrónicos permitieron recuperar metales y transformarlos en materias primas secundarias por un valor aproximado de 28 mil millones de dólares a nivel mundial en 2022. No obstante, cuando se consideran los impactos negativos, el balance económico global es desfavorable: se estima que el costo neto de la gestión de estos residuos asciende a unos 37 mil millones de dólares. Este valor refleja los costos externalizados relacionados con los daños a la salud humana y al medio ambiente, causados por la liberación de sustancias peligrosas y las emisiones de gases de efecto invernadero que no fueron

gestionadas adecuadamente. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 52)

En resumen, el reciclaje de PCBs tiene un impacto significativo tanto en lo ambiental como en lo económico, por lo que representa una gran oportunidad para recuperar metales valiosos y reducir los daños al planeta, pero todavía hay muchos desafíos por enfrentar. Gran parte de los residuos electrónicos no se recicla de forma correcta o termina en manos del sector informal, lo que agrava los impactos negativos. Aunque se logra recuperar una cantidad considerable de materiales, los costos ambientales y para la salud siguen superando los beneficios económicos actuales.

2.4 Regulaciones y Normativas

Con el aumento constante de los residuos tecnológicos, comenzaron a implementarse leyes y normativas orientadas a su tratamiento adecuado, buscando reducir los efectos negativos sobre la salud y el medio ambiente. En este contexto, las PCBs adquirieron especial importancia debido a su composición compleja y su potencial contaminante. Por ello, diversos marcos regulatorios han impulsado su recuperación, reciclaje y manejo seguro, integrándolos dentro de estrategias más amplias para la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

A nivel internacional, existen tres convenios clave que regulan el manejo y control de residuos peligrosos, incluidos las PCBs: los Convenios de Basilea, Rotterdam y Estocolmo. Estos convenios trabajan en conjunto con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente. (Ver Anexo A, Anexo B y Anexo C)

En línea con estos esfuerzos internacionales, algunos países empezaron a desarrollar sus propias normativas específicas para la gestión de residuos electrónicos. No obstante, hasta junio de 2023, solo 81 países contaban con leyes o regulaciones en esta área, lo cual queda por debajo del objetivo fijado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en 2018, que proponía que al menos 97 países adoptaran legislación sobre residuos electrónicos para ese año. A pesar del bajo número de países con normativas, estos 81 representan aproximadamente el 72% de la población mundial, ya que incluyen a China e India, los dos países más poblados. Esto sugiere que, aunque aún falta avanzar en cobertura geográfica, la población bajo legislación sobre residuos electrónicos ya es significativa. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 36)

El crecimiento en la adopción de instrumentos legales ha sido constante desde 2014. Sin embargo, desde 2019, sólo tres países adicionales implementaron normativas sobre el tema, lo que implica que 112 países aún carecen de marcos legales para la gestión adecuada de los residuos. Esto evidencia una brecha importante en la regulación global frente a un problema ambiental creciente y de alcance internacional. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p. 36) (Figura 3)

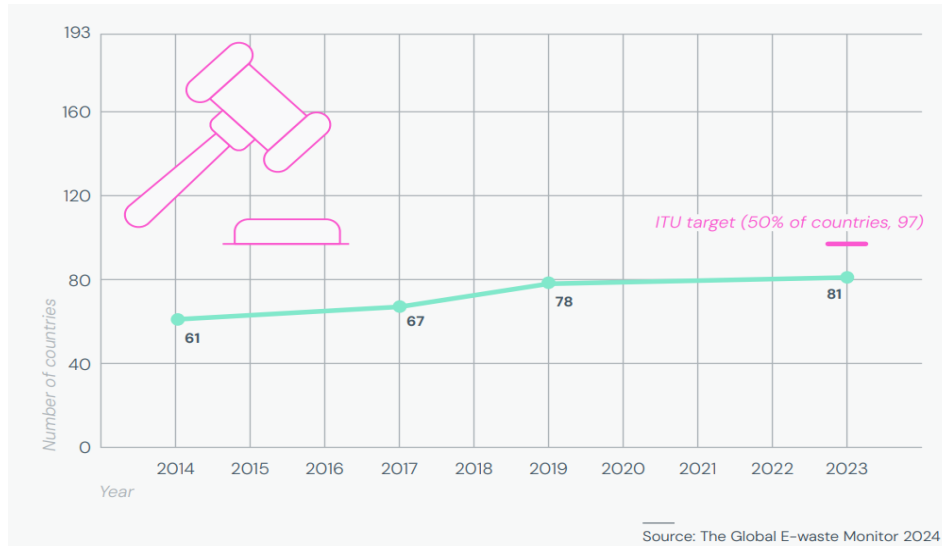


Figura 3: Número de países que contaban con políticas, leyes o regulaciones específicas para la gestión de residuos electrónicos hasta 2023.

Fuente: The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac.

Argentina participa activamente en diversos convenios y acuerdos internacionales orientados a la protección del medio ambiente y a la gestión responsable de residuos peligrosos. Entre los más relevantes se encuentran el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, el Acuerdo Marco sobre Medio Ambiente del MERCOSUR, el Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Productos Químicos (SAICM) y el Acuerdo de Escazú. Todos ellos reflejan el compromiso del país con una gestión ambiental sostenible, promoviendo el acceso a la información, la participación ciudadana y la protección del entorno.

En el ámbito interno, el marco normativo argentino en materia de residuos se estructura en tres grandes bloques.

El primero está constituido por la Constitución Nacional y los tratados internacionales ratificados por el país, los cuales establecen los principios rectores en materia de protección ambiental.

En segundo lugar, se encuentran las leyes de presupuestos mínimos, que fijan los estándares básicos y obligatorios de protección ambiental en todo el territorio nacional. Cabe señalar que la Ley N.º 25.670, si bien guarda relación con la gestión de sustancias peligrosas, no establece disposiciones específicas sobre la eliminación de placas de circuito impreso. Esta ley se orienta a la gestión y eliminación de bifenilos policlorados, también denominados PCB

(*Polychlorinated Biphenyls*), compuestos químicos peligrosos que fueron ampliamente utilizados como aislantes en transformadores, capacitores y otros dispositivos eléctricos.

Finalmente, el tercer bloque normativo está integrado por leyes nacionales que regulan aspectos particulares del tratamiento, manejo y disposición final de los residuos. (Figura 4)

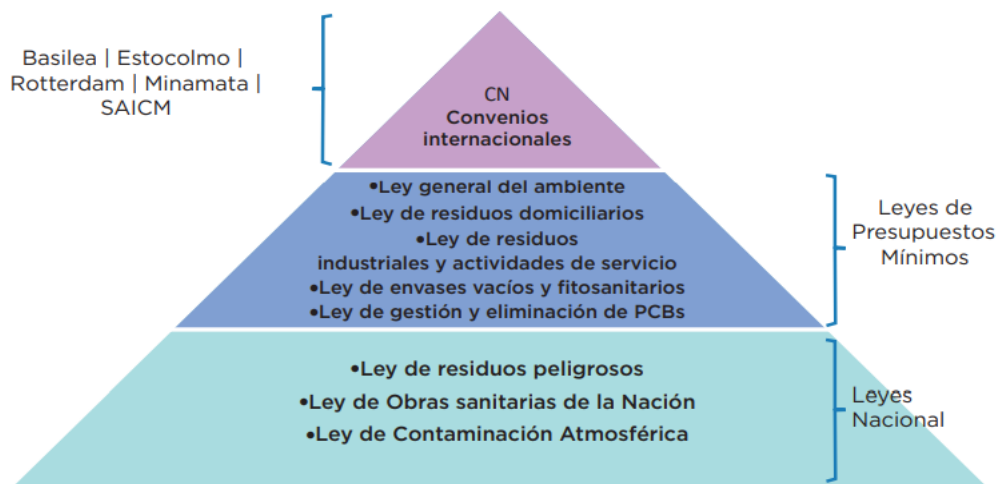


Figura 4: Estructura normativa argentina actual en materia de residuos (2016).
Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable Presidencia de la Nación.

La Ley Nacional N.º 25.675 (Ley General del Ambiente), la Ley Nacional N.º 25.916 (Presupuestos Mínimos para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios), la Ley Nacional N.º 24.051 (Residuos Peligrosos) y la Resolución N.º 92/2019 son normativas que establecen lineamientos generales para la gestión de residuos peligrosos en Argentina. Dentro de esta categoría se incluyen los RAEE, los cuales requieren una atención particular debido a sus componentes tóxicos y el impacto ambiental que pueden causar si no se gestionan de manera adecuada. Estas leyes y resoluciones promueven el manejo y la disposición responsable, lo cual incluye el fomento de procesos de reciclaje y la reutilización de los materiales contenidos en los dispositivos electrónicos.

Lo particular de estas normativas es el incentivo a la responsabilidad extendida del productor (REP), donde los fabricantes de productos electrónicos asumen la responsabilidad tanto del ciclo de vida de sus productos como de su disposición final una vez alcanzado su fin de vida útil. Esta práctica busca evitar que los residuos electrónicos terminen en vertederos o

sean mal gestionados, y en su lugar se fomenten procesos de reciclaje que permitan recuperar materiales valiosos y reducir el impacto ambiental.

Aunque el marco legal a nivel nacional establece directrices para la gestión de los residuos electrónicos, Argentina aún no cuenta con una legislación específica que regule de manera integral los RAEE. Este vacío normativo llevó a que algunas provincias, como Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, adopten normativas locales para regular de manera más efectiva el manejo de los residuos electrónicos en sus respectivas jurisdicciones. Esto generó avances significativos en la gestión, pero también plantea desafíos relacionados con la falta de un enfoque unificado a nivel nacional.

Además de las leyes nacionales y provinciales, la Resolución N.º 92/2019 establece lineamientos específicos que buscan mejorar la gestión de residuos peligrosos y electrónicos, buscando por una mayor participación de los actores involucrados, tanto públicos como privados, y promoviendo la educación y concienciación de la sociedad sobre la importancia de la correcta disposición de estos residuos. En este sentido, la resolución subraya la necesidad de crear mecanismos de recolección y tratamiento adecuado, al mismo tiempo que incentiva la innovación tecnológica y el fortalecimiento de la infraestructura de reciclaje.

De acuerdo con estos lineamientos, el CAPÍTULO IV del presente proyecto final detalla, tras definir la localización de la planta de reciclaje, las normativas aplicables en la jurisdicción correspondiente, asegurando que el proyecto esté alineado con la legislación vigente y con los principios establecidos en la resolución a fin de garantizar un manejo adecuado y responsable de los residuos electrónicos.

2.5 Casos de Estudio

El crecimiento acelerado del consumo de dispositivos electrónicos generó un incremento significativo en la cantidad de residuos tecnológicos, lo que representa un desafío ambiental y económico a nivel global. La acumulación inadecuada de estos residuos no solo conlleva la pérdida de materiales valiosos como metales preciosos, sino que también provoca graves impactos ambientales debido a la presencia de sustancias tóxicas como plomo, mercurio y cadmio.

Ante esta problemática, diversas iniciativas han surgido en distintos países con el objetivo de mitigar los efectos negativos del desecho de dispositivos electrónicos y fomentar prácticas de reciclaje responsables. Estas iniciativas no solo buscan reducir la contaminación y recuperar materiales de alto valor, sino también impulsar modelos de economía circular que permitan reutilizar recursos y minimizar la explotación de materias primas.

A continuación, se presentan dos casos de estudio relevantes en la gestión y reciclaje de PCBs, los cuales ilustran enfoques innovadores y soluciones efectivas para abordar este desafío global. Ellos destacan la importancia del uso de tecnologías avanzadas en el reciclaje de PCBs y demuestran el impacto positivo que pueden generar en términos de sostenibilidad y eficiencia en la recuperación de materiales.

2.5.1 MB Group

MB Group es una empresa especializada en el reciclaje de residuos electrónicos, enfocada en la recuperación de metales preciosos y otros materiales valiosos de las PCBs provenientes de equipos electrónicos desechados. La compañía opera con cinco sedes en Polonia y una en Ucrania, implementando procesos avanzados y tecnologías innovadoras para maximizar la eficiencia en la extracción de materiales y minimizar el impacto ambiental. Su labor contribuye a la economía circular al reducir la contaminación generada por los residuos tecnológicos y reutilizar materiales estratégicos en diversas industrias.

El proceso de reciclaje empleado es de tipo mecánico y consta de siete etapas, cada una diseñada para mejorar la recuperación de materiales valiosos. El proceso es supervisado por un sistema de control integrado, que garantiza precisión y eficiencia en cada etapa:

1. Alimentación de la carga: Los residuos ingresan a un transportador de inspección antes de ser dirigidos a una trituradora con presión hidráulica.
2. Trituración primaria: Se realiza una primera trituración hasta alcanzar una fracción deseada, generalmente de 34 mm.
3. Tamizado y cribado fino: Se separan los materiales según su tamaño mediante un tamiz oscilante.
4. Primera etapa de separación magnética: Se extraen los metales ferrosos.
5. Segunda etapa de separación magnética: Se aplica una mayor potencia para mejorar la separación de metales.
6. Separación óptica: Se identifican y separan los materiales mediante tecnología de detección óptica.
7. Separación óptica/inductiva de alta sensibilidad: Se divide el flujo en dos fracciones principales: plásticos y obleas.

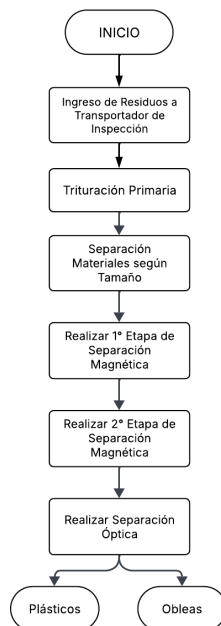


Figura 5: Proceso de MB Group
Fuente: MB Group

De acuerdo con la información publicada por la propia empresa en su sitio web, MB Group se ha posicionado como una de las compañías más avanzadas en el reciclaje de PCBs, destacándose por su enfoque en la recuperación de metales preciosos y su compromiso con la sostenibilidad ambiental. Entre los principales logros que la firma declara se encuentran:

- **Alta eficiencia en la recuperación de materiales:** Gracias a su proceso mecánico de siete etapas, la empresa manifiesta que no solo optimiza la extracción de metales valiosos, sino que también maximiza su reutilización en diversas industrias.
- **Reducción del impacto ambiental:** MB Group declara que ha minimizado la cantidad de PCB que terminan en vertederos mediante un sistema de reciclaje eficiente, contribuyendo significativamente a la reducción de residuos electrónicos en Europa del Este.
- **Innovación en automatización y separación de materiales:** La implementación de sistemas avanzados, como la separación óptica e inductiva de alta sensibilidad, ha mejorado la precisión en la clasificación de materiales, reduciendo pérdidas durante el reciclaje. (MB Group, 2024)

2.5.2 Attero

Attero es una empresa líder en la gestión y reciclaje de residuos electrónicos en India, especializada en la recuperación de metales valiosos como oro, plata, cobre y otros materiales críticos provenientes de dispositivos electrónicos desechados.

La compañía cuenta con una infraestructura avanzada y tecnología propia que le permite maximizar la eficiencia en la extracción de materiales y reducir el impacto ambiental. Su enfoque en la economía circular reduce la contaminación derivada de los desechos tecnológicos y promueve la reutilización de recursos esenciales para diversas industrias.

El proceso de reciclaje de Attero combina técnicas hidrometalúrgicas y reciclaje mecánico, desarrollándose en las siguientes etapas:

1. **Recolección y Clasificación:** Attero recibe residuos electrónicos de diversas fuentes, incluyendo empresas, particulares y agencias gubernamentales. Los dispositivos

recolectados se clasifican según su tipo y condición para determinar el método de procesamiento más adecuado.

2. **Desmontaje y Desensamblaje:** Se realiza el desmontaje manual de los dispositivos electrónicos para separar componentes reutilizables y extraer materiales peligrosos.
3. **Trituración y Molienda:** Los componentes restantes se trituran en partículas más pequeñas para facilitar la separación de materiales, reduciendo el tamaño de los residuos.
4. **Separación de Materiales:** Se emplean técnicas avanzadas para separar los materiales según sus propiedades físicas y químicas. Esto incluye separación magnética para metales ferrosos y procesos hidrometalúrgicos para extraer metales preciosos y tierras raras.
5. **Refinación y Purificación:** Los materiales recuperados se refinan para alcanzar niveles de pureza adecuados y ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos electrónicos.
6. **Gestión de Residuos Peligrosos:** Los subproductos y materiales peligrosos se gestionan conforme a las regulaciones ambientales para garantizar su disposición segura.



Figura 6: Proceso de Attero.
Fuente: Attero.

Este enfoque integral les permite recuperar materiales valiosos y reducir la cantidad de residuos electrónicos que terminan en vertederos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental y a la conservación de recursos naturales.

Attero se ha consolidado como una empresa líder en el reciclaje de residuos electrónicos en India, con un enfoque innovador en la recuperación de metales y la reducción de residuos peligrosos. Entre sus principales logros se destacan:

- **Desarrollo de tecnología propia:** Attero ha diseñado y aplicado técnicas innovadoras que combinan procesos mecánicos e hidrometalúrgicos, lo que ha permitido mejorar la eficiencia en la extracción de metales preciosos como oro, plata y paladio.
- **Reciclaje a gran escala:** Su infraestructura avanzada ha facilitado el procesamiento de grandes volúmenes de PCBs y otros residuos electrónicos, evitando que terminen en vertederos o sean manejados de manera no regulada.
- **Impacto ambiental positivo:** Su enfoque en la recuperación eficiente de metales críticos ha permitido reducir la extracción de minerales, disminuyendo la presión sobre los ecosistemas y promoviendo una producción más sostenible. (Attero, 2025)

2.5.3 Síntesis

El reciclaje de residuos electrónicos representa una estrategia clave para la recuperación de materiales valiosos y la reducción del impacto ambiental asociado a su mala gestión. Casos como el de Attero y MB Group ilustran el potencial de estas prácticas cuando se aplican tecnologías avanzadas y modelos eficientes.

Attero ha logrado procesar más de 500.121 toneladas métricas (TM) de residuos electrónicos, alcanzando una tasa de recuperación superior al 98% y una pureza del 99,9% en los materiales extraídos. Además, ha reciclado 9,998 TM de baterías de iones de litio, con planes de aumentar su capacidad anual a 200.000 TM en los próximos dos años y medio y a 300.000 TM en cinco años. En el año fiscal 2024, sus ingresos operativos alcanzaron 446 millones de rupias, lo que representa un incremento del 54% respecto al año anterior. (Attero, 2025)

Por su parte, MB Group no publica cifras oficiales sobre su volumen de procesamiento, pero ha desarrollado un proceso tecnológico orientado a la recuperación de metales a partir de PCBs. Este método mejora la eficiencia de extracción y reduce significativamente las pérdidas de materiales estratégicos, aunque no se han difundido datos cuantitativos que permitan evaluar con precisión la magnitud del proceso.

2.6 Consideraciones Finales

El análisis desarrollado en este capítulo permite comprender en profundidad la complejidad de la problemática que plantean actualmente los residuos tecnológicos. Su evolución estuvo marcada por un crecimiento sostenido en la generación, impulsado por el consumo masivo de dispositivos, la rápida innovación tecnológica y la obsolescencia programada. Esta tendencia, sumada a las bajas tasas de recolección y reciclaje, representa un desafío crítico para la salud pública y el medio ambiente a escala global.

En este contexto, las PCBs adquieren una relevancia particular, no solo por el valor económico que representan, sino también por los riesgos ambientales que implican, dado el uso de sustancias tóxicas en su composición y fabricación.

Desde el punto de vista normativo, si bien existen marcos regulatorios internacionales y disposiciones legales a nivel nacional, todavía persisten vacíos significativos. En el caso de Argentina, la falta de una legislación específica y unificada sobre RAEE a nivel nacional limita la eficacia de las políticas públicas, a pesar de los avances parciales registrados en algunas provincias. Esta fragmentación normativa pone en evidencia la necesidad urgente de una estrategia integral y coordinada que garantice una gestión segura y sostenible de estos residuos.

Por último, los casos de estudio analizados demuestran que el reciclaje especializado de RAEE no solo es factible, sino que también ofrece beneficios ambientales y económicos concretos. Estos modelos ofrecen ejemplos valiosos para el diseño e implementación de futuras iniciativas que busquen replicar las buenas prácticas en otras regiones del mundo.

CAPÍTULO III ESTUDIO DE MERCADO

3.1 Análisis del Entorno

El análisis del entorno y del mercado es una herramienta crucial para comprender las condiciones actuales y potenciales del sector de reciclaje de PCBs en Argentina. Esta sección tiene como objetivo identificar las principales variables externas e internas que inciden en el desarrollo de esta actividad, brindando un marco analítico que permita evaluar su viabilidad, oportunidades y desafíos.

En primer lugar, se examina el entorno macro y microeconómico, con énfasis en aquellos factores que condicionan el crecimiento del sector y en las dinámicas propias del mercado local. Luego, se aplica el modelo PESTEL, el cual analiza de manera sistemática las influencias políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ecológicas y legales. Posteriormente, se incorporan las Fuerzas de Porter para estudiar el nivel de competencia y la posición estratégica del sector frente a proveedores, clientes, productos sustitutos y nuevos competidores potenciales. Finalmente, se presenta una Matriz del Perfil Competitivo que sintetiza las capacidades actuales del mercado en relación con sus principales competidores y actores.

3.1.1 Entorno Macro y Microeconómico

En el ámbito macroeconómico, Argentina atraviesa un proceso de reordenamiento con señales más favorables hacia el mediano plazo. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) estimó que el país saldrá de la recesión en 2025 con un crecimiento del 5,7% del Producto Bruto Interno (PBI), lo que representa la mayor corrección positiva dentro del G20. Esta proyección se ubica como la segunda más alta del grupo. Además, se anticipa un crecimiento del 4,8% del PBI para 2026, reforzando las expectativas de una recuperación sostenida. (OCDE, 2025, p.7).

En cuanto a la inflación, la OCDE prevé una desaceleración significativa: del 117,8% en 2024 al 28,4% en 2025, y al 24,8% en 2026. De cumplirse estas estimaciones, Argentina dejaría de ser el país con mayor inflación del G20 a partir del año vigente. Estos indicadores sugieren un posible cambio de rumbo, aunque el escenario aún está condicionado por la continuidad de reformas estructurales, la estabilidad política y el fortalecimiento institucional (OCDE, 2025, p. 8)

A nivel microeconómico, el tratamiento y reciclaje de PCBs en Argentina se desarrolla en un contexto desafiante, caracterizado por limitaciones estructurales, pero también por oportunidades de crecimiento vinculadas al avance de la economía circular. El mercado nacional está compuesto principalmente por pequeñas y medianas empresas dedicadas al acopio y desensamble de residuos electrónicos. Sin embargo, muchas de estas organizaciones carecen de tecnología avanzada para el procesamiento específico de PCBs, lo que limita el aprovechamiento integral de los materiales recuperables, como metales valiosos y componentes reutilizables.

Argentina genera anualmente entre 10 y 15 kilogramos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos por persona, lo que equivale a un total aproximado de 517.000 toneladas métricas al año. A pesar de esta cantidad significativa, se estima que sólo un 5% de estos residuos son recuperados y reinsertados en el circuito productivo. Esto evidencia un amplio margen para mejorar las tasas de reciclaje y valorización de componentes críticos como las PCBs. (The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac, 2024, p.77).

En términos de infraestructura, actualmente existen cuatro plantas autorizadas para el tratamiento de RAEE en el país. Esta capacidad resulta insuficiente frente a la demanda potencial de procesamiento de PCBs, lo que obliga a algunas empresas a exportar estos residuos valorizables para su tratamiento en el extranjero. Esta práctica incrementa los costos logísticos y reduce las oportunidades de desarrollo local, tanto en términos económicos como de generación de empleo calificado.

El panorama se complica aún más por los altos niveles de informalidad presentes en el sector debido a que los recolectores no cumplen con las normas y regulaciones vigentes; esto presiona a la baja de los precios en el mercado, generando una competencia desleal. Otra complicación surge por la limitada inversión en innovación tecnológica, ya que muchos emprendimientos de reciclaje en la región no cuentan con capital para modernizarse ni adquirir tecnologías más limpias. No obstante, existen líneas de acción favorables como programas impulsados por la Jefatura de Gabinete de Ministros, junto con agencias de innovación

tecnológica, que ofrecen incentivos fiscales y financiamiento para proyectos sustentables. (Jefatura de Gabinete de Ministros, S.F.)

Desde el lado de la demanda, el crecimiento sostenido del consumo de productos electrónicos en el país garantiza un flujo constante de residuos tecnológicos, asegurando la disponibilidad de materia prima para el reciclaje de PCBs. Paralelamente, la creciente adhesión a políticas de sostenibilidad por parte de empresas tecnológicas y organismos públicos contribuye a generar mayor conciencia sobre la gestión responsable de estos residuos. En este escenario, la consolidación de alianzas estratégicas entre recicladores, universidades, centros de investigación y gobiernos locales se presenta como un elemento clave para impulsar el desarrollo del sector.

3.1.2 Modelo PESTEL

Para comprender las variables externas que inciden en el desarrollo del reciclaje de PCBs en Argentina, se recurre al modelo PESTEL², que analiza el contexto político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal. Esta evaluación resulta relevante para identificar tanto las oportunidades como las amenazas que enfrenta el sector, en un escenario caracterizado por cambios macroeconómicos, desafíos estructurales y una creciente demanda por soluciones sostenibles en la gestión de residuos electrónicos.

En el plano político, como se describe en el apartado 2.4 Regulaciones y Normativas, Argentina ha registrado avances en la normativa ambiental, en el que se destaca la Ley N.º 25.675 y la adhesión al Convenio de Basilea. Sin embargo, la inestabilidad institucional y los frecuentes cambios en las políticas públicas afectan la continuidad de los programas relacionados con el reciclaje y la economía circular.

Desde una perspectiva económica, si bien el país atraviesa un proceso de recuperación, el contexto inflacionario sigue generando incertidumbre. La falta de inversión sostenida en tecnología e infraestructura específica para el reciclaje de PCBs representa un obstáculo importante. A pesar de eso, existen incentivos fiscales y líneas de financiamiento orientadas a proyectos de sustentabilidad, lo que abre oportunidades para mejorar la competitividad del sector.

Desde el enfoque social, se percibe un avance progresivo en la conciencia ambiental por parte de la ciudadanía y el sector empresarial, impulsado por el incremento en el uso de dispositivos electrónicos, lo que eleva la demanda de soluciones sostenibles para su disposición final. No obstante, el desconocimiento específico sobre el reciclaje de PCBs y la limitada oferta de formación técnica especializada continúan siendo obstáculos para la profesionalización y expansión del sector.

² El modelo PESTEL fue introducido por Francis J. Aguilar en 1967 como una herramienta para el análisis del entorno empresarial.

El factor tecnológico representa uno de los principales desafíos. En la actualidad, muchas empresas locales que se dedican al acopio y desensamble de RAEE no cuentan con tecnología suficiente para el procesamiento integral de PCBs, limitando así el aprovechamiento total de los materiales recuperables. Sin embargo, las alianzas con universidades y centros de investigación ofrecen un camino viable hacia la mejora de las capacidades técnicas.

Tal como se destaca en el apartado 2.3 Impacto Ambiental y Económico del Reciclaje de PCB, desde la perspectiva ambiental, el reciclaje de PCBs adquiere relevancia debido a la presencia de metales pesados y compuestos tóxicos en su composición. Un manejo inadecuado de estos residuos puede generar serios efectos contaminantes en el suelo, el agua y el aire. Sin embargo, su tratamiento responsable no solo permite recuperar materiales valiosos, sino también reducir de forma significativa la huella ambiental, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)³.

Por último, en el aspecto legal, el marco normativo argentino sobre residuos electrónicos todavía presenta fragmentaciones. Si bien las PCBs están contempladas dentro del régimen general de RAEE, no existe una regulación específica para su tratamiento. Además, la aplicación de las leyes varía entre provincias, lo que genera desigualdades en su implementación.

³ Adoptados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) forman parte de la Agenda 2030 e incluyen 17 objetivos y 169 metas. La Nueva Agenda Urbana 2030 complementa esta iniciativa al reconocer el importante rol de las ciudades y promover su desarrollo inclusivo, seguro, resiliente y sostenible. (Presidencia de la Nación, s.f.)

TABLA I: Modelo PESTEL

Factor	Descripción
Político	<ul style="list-style-type: none"> ● Participación en acuerdos internacionales como el Convenio de Basilea. ● Legislación ambiental cada vez más exigente a nivel nacional. ● Políticas inestables y cambios frecuentes que afectan la continuidad de programas.
Económico	<ul style="list-style-type: none"> ● Proyección de crecimiento económico positivo a partir de 2025. ● La alta inflación impacta en costos operativos e inversión en tecnología. ● Déficit de infraestructura adecuada. ● Incentivos económicos para proyectos sustentables a través de programas públicos y privados.
Social	<ul style="list-style-type: none"> ● Creciente conciencia ambiental y presión social hacia una economía circular. ● Bajo nivel de conocimiento público sobre reciclaje de PCBs. ● Interés creciente de consumidores y empresas en prácticas sostenibles. ● Falta de capacitación técnica específica en reciclaje electrónico.
Tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> ● Tecnología limitada para el tratamiento integral de PCBs a nivel local. ● Alta dependencia de tecnología importada. ● Oportunidades de innovación a través de alianzas con universidades y centros de investigación.
Ecológico (Ambiental)	<ul style="list-style-type: none"> ● La mala gestión de PCBs genera contaminación por metales pesados y compuestos tóxicos. ● Gran potencial de recuperación de metales valiosos. ● El reciclaje adecuado reduce la huella ecológica y contribuye al cumplimiento de los ODS.
Legal	<ul style="list-style-type: none"> ● Marco legal aún dividido y con poca fiscalización. ● Falta de normativa específica sobre PCBs. ● Necesidad de regularizar leyes provinciales con la legislación nacional.

3.1.3 Cinco Fuerzas de Porter

Luego de analizar los factores macroambientales mediante el modelo PESTEL, es importante entender la dinámica competitiva del sector de reciclaje de PCBs a través de las Cinco Fuerzas de Porter⁴, identificando tanto los factores que impulsan como los que limitan su desarrollo.

1. Amenaza de Nuevos Competidores.

Si bien el creciente volumen de RAEE genera oportunidades de negocio, los altos costos asociados a la adquisición de tecnologías específicas, el cumplimiento de normativas ambientales (tanto a nivel nacional como provincial) y las inversiones de capital dificultan el ingreso de nuevos actores. Además, la falta de una regulación específica para PCBs agrega incertidumbre al entorno de negocios, lo que desalienta a potenciales entrantes. Por lo tanto, indica una baja amenaza de nuevos entrantes en el sector.

2. Poder de Negociación de los Proveedores.

Los principales proveedores de residuos electrónicos son los fabricantes de productos electrónicos, minoristas, empresas de gestión de residuos (tanto formales como informales), recolectores informales (cartoneros), y entidades gubernamentales. Estos actores cuentan con diversas opciones para gestionar los desechos: el vertido en rellenos sanitarios es una opción común, aunque perjudicial para el medio ambiente, y la incineración, aunque menos frecuente en Argentina, también se presenta como alternativa. Además, algunas empresas implementan programas internos de reciclaje o reutilización.

A medida que aumenta la generación de desechos electrónicos, los recicladores tienen acceso a mayor cantidad de materiales para procesar. Sin embargo, en zonas con recolección formal, los grandes generadores de RAEE tienen la capacidad de imponer

⁴ Desarrollado por Michael Porter en 1979, el modelo de las Cinco Fuerzas evalúa la competencia en una industria.

condiciones más favorables en las negociaciones, lo que otorga un poder de negociación de los proveedores que podría considerarse de moderado a alto.

3. Poder de Negociación con los Compradores.

Los compradores principales de materiales reciclados incluyen refinadores de metales, como las empresas especializadas en extraer y refinar metales como oro y plata, así como fabricantes que utilizan estos metales en la producción de productos electrónicos y automotrices. Estos compradores tienen la opción de obtener metales vírgenes, ya sea a través de la minería o de proveedores internacionales, lo que les permite exigir precios competitivos y altos estándares de calidad.

La disposición de los compradores a pagar más por materiales reciclados dependerá de su importancia en los procesos de producción. Si los materiales reciclados ayudan a reducir costos, cumplen con normativas ecológicas u ofrecen una cadena de suministro más segura, los compradores estarán más dispuestos a pagar un precio más alto por ellos.

Por estas razones, el poder de los compradores es alto.

4. Amenaza de Productos o Servicios Sustitutos.

La amenaza de productos o servicios sustitutos en el reciclaje de PCBs es moderada. Aunque existen alternativas como la minería de metales vírgenes y el desarrollo de nuevas tecnologías que podrían disminuir la demanda de materiales reciclados, el reciclaje sigue siendo una opción más sostenible y económica a largo plazo. Además, la creciente conciencia sobre la sostenibilidad y las regulaciones ambientales que fomentan el reciclaje refuerzan la preferencia por esta práctica frente a los sustitutos.

No obstante, la eficiencia y el costo de los metales reciclados en comparación con los vírgenes, junto con la aparición de nuevas tecnologías, podrían incrementar la amenaza de sustitutos si los metales reciclados no logran mantenerse competitivos.

5. Rivalidad entre los Competidores Existentes.

La rivalidad competitiva es moderada, pero tiende a intensificarse. El mercado está compuesto principalmente por pequeñas y medianas empresas que buscan obtener los mejores residuos posibles, especialmente aquellos ricos en materiales valiosos, y ganarse la confianza de los compradores para establecer relaciones comerciales a largo plazo. Sin embargo, muchas de estas empresas carecen de la tecnología avanzada necesaria para diferenciarse en el mercado. Como resultado, la competencia se centra más en ofrecer precios bajos que en innovar o mejorar los servicios.

TABLA II: Cinco Fuerzas de Porter

Fuerza de Porter	Nivel de Amenaza/Poder	Factores Claves
Amenaza de Nuevos Competidores	Baja	Altas barreras de entrada: costos (tecnología, capital), normativas, incertidumbre regulatoria.
Poder de Negociación de los Proveedores	Moderado a Alto	Proveedores con múltiples opciones de desecho; grandes generadores imponen condiciones.
Poder de Negociación con los Compradores	Alto	Compradores tienen acceso a metales vírgenes como alternativa; exigen precio y calidad.
Amenaza de Productos o Servicios Sustitutos	Moderada	Sustitutos: Metales vírgenes. Mitigantes: Sostenibilidad y regulaciones. Riesgo: Competitividad.
Rivalidad entre los Competidores Existentes	Moderada (en aumento)	PYMEs compiten por insumos y clientes; baja diferenciación tecnológica; competencia vía precios.

En conclusión, el sector del reciclaje de PCBs se enfrenta a un entorno competitivo desafiante, caracterizado por una baja amenaza de nuevos entrantes, una rivalidad en ascenso y un marcado poder de negociación tanto de proveedores como de compradores. Sin embargo, este escenario también abre oportunidades estratégicas para quienes logren adaptarse e innovar. Para aumentar la competitividad, se deben abordar las barreras estructurales mediante políticas

públicas que impulsen su formalización, promuevan la adopción de tecnologías especializadas y establezcan un marco regulatorio claro y específico.

3.1.4 Matriz del Perfil Competitivo

Luego de examinar las fuerzas que afectan la rentabilidad y el atractivo del sector, resulta crucial identificar y analizar a los principales competidores de la planta de reciclaje. En este sentido, la Matriz del Perfil Competitivo (MPC) permite comparar sus fortalezas y debilidades, y evaluar la posición estratégica de la planta frente a ellos.

Se presenta una evaluación comparativa de las empresas Silkers S.A., Industrias Dalafer S.A., Scrap y Rezagos S.R.L., y 3R Ambiental S.A., en función de siete factores clave relacionados con el reciclaje de PCBs. La calificación se realiza en una escala del 1 al 4, donde 1 indica un nivel bajo y 4 un nivel alto.

TABLA III: Matriz del Perfil Competitivo

Matriz del Perfil Competitivo									
Factores Clave	Peso	Silkers S.A.		Industrias Dalafer S.A.		Scrap y Rezagos S.R.L.		3R Ambiental S.A.	
		Rating	Puntaje	Rating	Puntaje	Rating	Puntaje	Rating	Puntaje
Capacidad Tecnológica y Eficiencia Operacional	0,10	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Provisión de Residuos	0,20	3	0,6	4	0,8	3	0,6	3	0,6
Diversidad y Calidad de los Materiales Procesados	0,20	4	0,8	4	0,8	3	0,6	2	0,4
Relación con Clientes	0,10	4	0,4	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Cumplimiento Normativo y Ambiental	0,15	4	0,6	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Ubicación Estratégica y Logística	0,15	4	0,6	4	0,6	3	0,45	2	0,3
Reconocimiento Institucional	0,10	4	0,4	3	0,3	4	0,4	2	0,2
Total	1		3,80		3,75		3,20		2,55

Como se muestra en la tabla, Silkers S.A. obtiene el puntaje más alto (3,80), destacándose por su capacidad tecnológica, diversidad de materiales procesados, reconocimiento institucional. Industrias Dalafer S.A. le sigue con un puntaje de 3,75, con mayor fortaleza en la provisión de residuos y su ubicación. En cambio, Scrap y Rezagos S.R.L. y 3R Ambiental S.A. muestran menor desempeño relativo con oportunidades de mejora en eficiencia operativa y cumplimiento normativo.

Este análisis evidencia que la competitividad en el sector del reciclaje de PCBs está fuertemente determinada por la capacidad tecnológica, la calidad del material procesado y el acceso constante a residuos electrónicos. Por lo que, las empresas mejor posicionadas son

aquellas que logran equilibrar estos aspectos con relaciones institucionales sólidas y una estrategia clara de diferenciación.

3.2 Análisis de la Demanda y la Oferta

El reciclaje de PCBs ofrece la oportunidad de recuperar metales valiosos como oro y plata; sin embargo, también implica el desafío de gestionar metales pesados tóxicos como plomo y cadmio para evitar riesgos ambientales. Analizar la demanda y la oferta de estos metales reciclados permite identificar el potencial de desarrollo de una planta especializada en su recuperación, así como las oportunidades y desafíos del mercado en Argentina.

3.2.1 Demanda

La demanda de metales recuperados a partir del reciclaje de PCBs es impulsada por sectores como la industria electrónica, automotriz, telecomunicaciones, metalúrgica y fabricantes de baterías. Estos sectores requieren materias primas metálicas para la producción de dispositivos electrónicos, cableado, componentes eléctricos y aleaciones.

A nivel mundial, el interés por materias primas secundarias, aquellas obtenidas a partir de reciclaje, ha crecido de manera sostenida en los últimos años. Esto se debe, por un lado, a la volatilidad en los precios de los metales vírgenes y, por otro, a la creciente presión por reducir la huella ambiental de las actividades extractivas.

En el contexto argentino, aunque no se dispone de estadísticas oficiales específicas sobre la demanda de metales reciclados provenientes de PCBs, se puede inferir un crecimiento sostenido impulsado por la expansión de sectores como el tecnológico y automotriz, la implementación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad y la incorporación gradual de prácticas de economía circular por parte de empresas e instituciones. Cabe aclarar que la Ley 14.321 de la Provincia de Buenos Aires incorpora el principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), lo que exige a fabricantes e importadores asumir responsabilidades en la gestión de los residuos eléctricos y electrónicos. (Provincia de Buenos Aires, 2011)

A su vez, la mayor parte del oro y plata que se procesa en Argentina es importado, lo que subraya la importancia del reciclaje interno para disminuir la dependencia de las importaciones y ahorrar divisas.

En general, si bien Argentina tiene una producción interna de metales reciclados, todavía depende en gran medida de las importaciones para satisfacer la demanda, especialmente en el caso del oro y plata.

3.2.2 Oferta

La oferta de metales reciclados a partir de PCBs en Argentina es limitada. El mercado formal de reciclaje de RAEE se encuentra en una etapa inicial de desarrollo y presenta una infraestructura insuficiente para responder a la creciente generación de residuos tecnológicos. Actualmente, las principales empresas que operan en este sector son Silkers S.A., Industrias Dalafer S.A., Scrap y Rezagos S.R.L. y 3R Ambiental S.A., la mayoría con sede en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), donde se concentra cerca del 70% de los RAEE generados a nivel nacional. (Organización Internacional del Trabajo et al., 2020)

A pesar de la existencia de estas plantas, el índice de reciclaje es muy bajo. Sólo el 5% de los residuos electrónicos generados en el país son reciclados adecuadamente, lo equivale aproximadamente 25.800 toneladas. (Sibuet, 2024) Esta baja tasa evidencia una significativa brecha entre la generación de RAEE y la capacidad instalada para su recuperación, particularmente en lo que respecta a componentes complejos como los PCBs, que requieren procesos específicos y tecnologías avanzadas para la extracción de metales.

Por otro lado, la ausencia de fundiciones y refinerías especializadas en metales preciosos dentro del territorio nacional obliga a muchas empresas a exportar los residuos procesados en forma de fracción concentrada, perdiendo valor agregado local. Esta situación representa una oportunidad para la instalación de plantas que puedan realizar un procesamiento integral. De hecho, según datos reportados al Convenio de Basilea, Argentina exportó aproximadamente 118 toneladas de RAEE entre 2018 y 2019 para su tratamiento en el exterior, debido a la falta de infraestructura local adecuada para el refinado de materiales con contenido metálico valioso. Sin embargo, esa cifra no capta la totalidad de lo que podría exportarse realmente, dado el subregistro y los movimientos no declarados que reconocen los propios informes internacionales. (United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), 2022)

Las proyecciones de precios para los metales recuperados de PCBs indican una tendencia alcista moderada en el mediano plazo, impulsada por la creciente demanda global de materias primas críticas para la transición energética y tecnológica.

3.2.3 Análisis de Precios de Productos Recuperados

El análisis de precios de los productos recuperados permite comprender su valor comercial en el mercado y su contribución potencial a la rentabilidad del proyecto. Entre los materiales recuperados se encuentran el oro, la plata, las aleaciones y los fertilizantes quelados, todos con demanda en sectores industriales y agrícolas. El comportamiento de sus precios responde a factores globales y específicos, como la disponibilidad minera, la demanda tecnológica y las prácticas agrícolas sostenibles.

Este apartado ofrece un panorama inicial de las condiciones de mercado para estos insumos, que luego son abordadas en mayor profundidad en el estudio económico-financiero.

3.2.3.1 Oro

El oro es uno de los metales más valiosos recuperados en el proceso de reciclaje de PCBs, no solo por su elevado valor comercial, sino también por su rol estratégico en la industria tecnológica y como activo financiero. Su cotización internacional se expresa habitualmente en dólares por onza troy y responde a múltiples factores, entre ellos: la inflación, las tasas de interés, la incertidumbre geopolítica y la demanda de sectores como la electrónica, la joyería y la inversión. Dado su relevancia económica, resulta fundamental considerar la evolución proyectada de su precio para estimar el potencial de ingresos del proyecto.

A continuación, se presenta la TABLA IV con la proyección del valor del oro entre 2025 y 2030, convertida a USD por kilogramo para su aplicación práctica en cálculos económicos. Se incluyen dos escenarios: uno conservador (precio mínimo estimado) y otro optimista (precio máximo estimado). (BeatMarket, 2024)

TABLA IV: Proyección del Precio Internacional del Oro (2025-2030)

Año	Precio Mínimo (USD/Kg)	Precio Máximo (USD/Kg)
2025	111.477	112.183
2026	123.903	124.573
2027	136.329	136.945
2028	148.755	149.300
2029	161.181	161.792
2030	170.868	171.208

A partir de las proyecciones, se grafica la evolución del rango de precios del oro, comprendido entre el valor mínimo y el máximo anual estimado para el período 2025–2030 (eje horizontal). En el eje vertical, se representan los precios en USD/kg, cuyos valores oscilan entre aproximadamente 111.477 USD/kg y 171.208 USD/kg. La escasa dispersión observada entre ambos límites indica que el mercado del oro mantendría una variación acotada y una tendencia de estabilidad relativa en los próximos años.

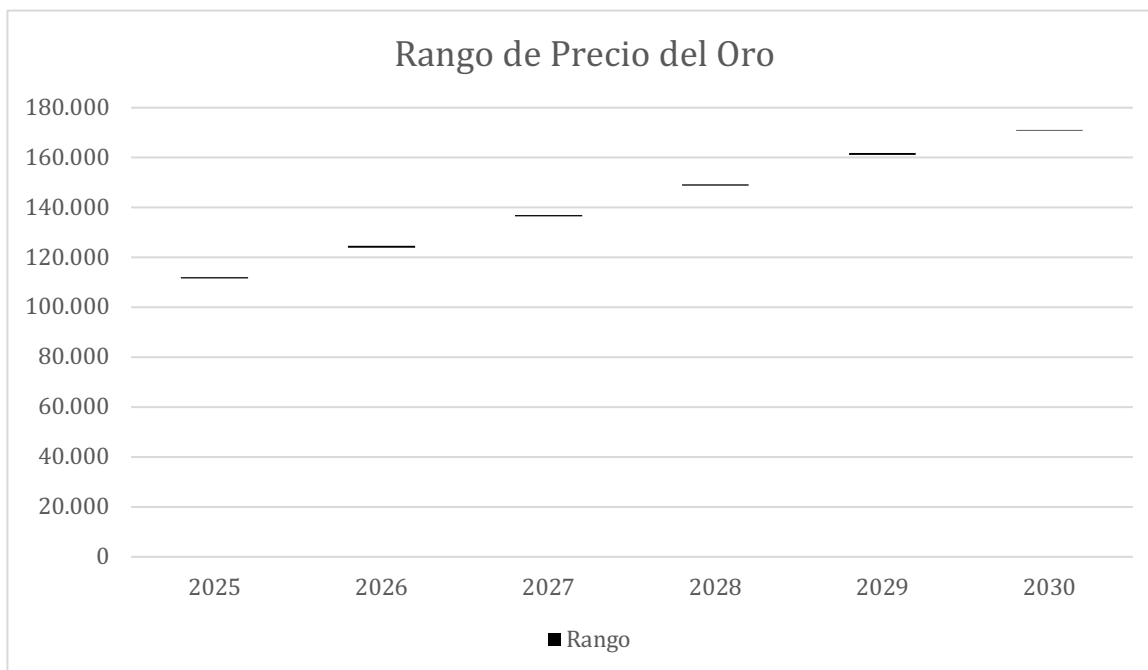


Figura 7: Rango de Precios del Oro (2025-2030)
Fuente: Elaboración Propia realizada por Microsoft Excel.

3.2.3.2 Plata

La plata es un metal con alta demanda tanto en el ámbito industrial como financiero. Su precio internacional tiende a mantenerse al alza debido al aumento en su utilización tecnológica, especialmente en sectores como la electrónica y la electromovilidad. Además, su valor como activo de inversión contribuye a sostener su cotización en contextos de incertidumbre económica.

La TABLA V muestra la proyección del precio internacional de la plata para el período 2025-2030, expresado en dólares por kilogramo (USD/kg). Como en el caso del oro, se incluyen dos escenarios: uno con precios mínimos y otro con precios máximos estimados. (BeatMarket, 2023)

TABLA V: Proyección del Precio Internacional de la Plata (2025-2030)

Año	Precio Mínimo (USD/kg)	Precio Máximo (USD/kg)
2025	941,13	958,74
2026	964,52	1.028,82
2027	1.012,88	1.092,72
2028	1.060,97	1.155,43
2029	1.125,27	1.221,73
2030	1.189,57	1.286,03

En el escenario mínimo, el precio de la plata se incrementaría de 941,13 USD/kg en 2025 a 1.189,57 USD/kg en 2030, lo que representa una suba aproximada del 26%. En el escenario máximo, el precio alcanzaría los 1.286,03 USD/kg al final del período, partiendo de 958,74 USD/kg en 2025, con un incremento cercano al 34%.

La Figura 8 muestra la evolución proyectada del rango de precios de la plata, expresado en USD/kg (eje Y) para el período 2025–2030 (eje X).

Se observa una tendencia ascendente gradual tanto en los valores mínimos (de aproximadamente 941 USD/kg en 2025 a 1.189 USD/kg en 2030) como en los máximos (de 959 USD/kg a 1.286 USD/kg). La diferencia entre ambos valores anuales se mantiene

relativamente constante entre 20 y 100 USD/kg, lo que sugiere una estabilidad relativa del mercado, con incrementos moderados atribuibles a la evolución de la demanda industrial y tecnológica del metal.

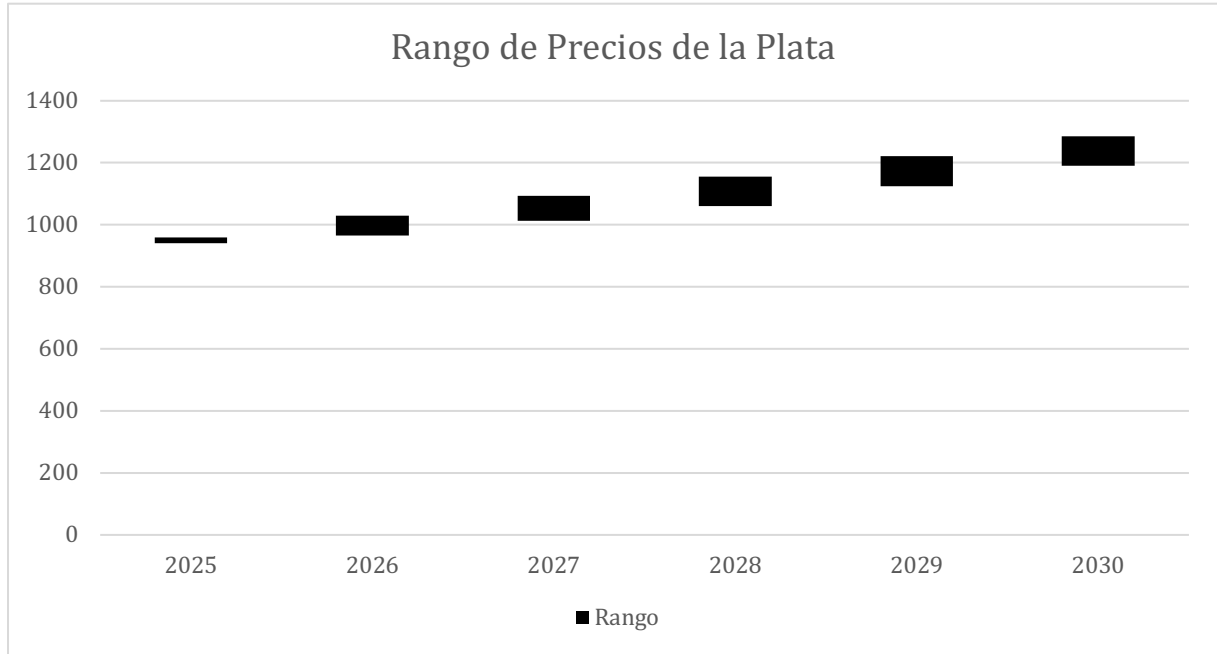


Figura 8: Rango de Precios de la Plata (2025-2030)
Fuente: Elaboración Propia realizada por Microsoft Excel.

En síntesis, las proyecciones indican que la plata mantendrá un comportamiento estable con un leve crecimiento sostenido en su cotización durante los próximos años.

3.2.3.3 Aleaciones para Soldadura

Las aleaciones para soldadura que combinan aluminio, estaño y plomo presentan propiedades diseñadas para optimizar el rendimiento y la funcionalidad en distintas aplicaciones. Estas aleaciones facilitan una soldadura eficiente y resistente, especialmente en componentes electrónicos delicados, gracias a su bajo punto de fusión y buena resistencia a la corrosión, aunque el uso de plomo está cada vez más restringido por razones ambientales y de salud. (Mordor Intelligence, 2025) (Wise Guy Reports, 2025)

Como resultado de estos factores, el precio internacional del estaño bruto ha mostrado una tendencia sostenida al alza, impulsada tanto por la expansión de la industria tecnológica

como por la necesidad de materiales estratégicos para la movilidad eléctrica. Se espera que esta dinámica se mantenga en los próximos años, reflejando la importancia estratégica de este metal en la economía global y en la innovación industrial.

A continuación, se presenta la TABLA VI, que muestra la proyección del precio internacional de las aleaciones para el periodo 2025-2030. En ella se analiza un crecimiento progresivo tanto en el precio mínimo como en el máximo estimado por kilogramo, lo que confirma la tendencia alcista mencionada anteriormente. (Mordor Intelligence, 2025)

TABLA VI: Proyección del Precio Internacional de Aleaciones (2025-2030)

Año	Precio Mínimo (USD/Tn)	Precio Máximo (USD/Tn)
2025	2.200	2.900
2026	2.300	3.000
2027	2.400	3.100
2028	2.500	3.200
2029	2.600	3.250
2030	2.700	3.300

La Figura 9 muestra el rango proyectado de precios de las aleaciones metálicas entre 2025 y 2030, expresado en USD/Tn en el eje vertical.

Se observa una tendencia ascendente moderada, con precios mínimos que aumentan desde aproximadamente 2.200 USD/Tn en 2025 hasta 2.700 USD/Tn en 2030, y precios máximos que crecen de 2.900 USD/Tn a 3.300 USD/Tn en el mismo período. La diferencia entre los valores mínimos y máximos se mantiene estable, cercana a los 700–800 USD/Tn, lo que indica que las variaciones previstas responden a un crecimiento gradual del mercado sin señales de alta volatilidad.

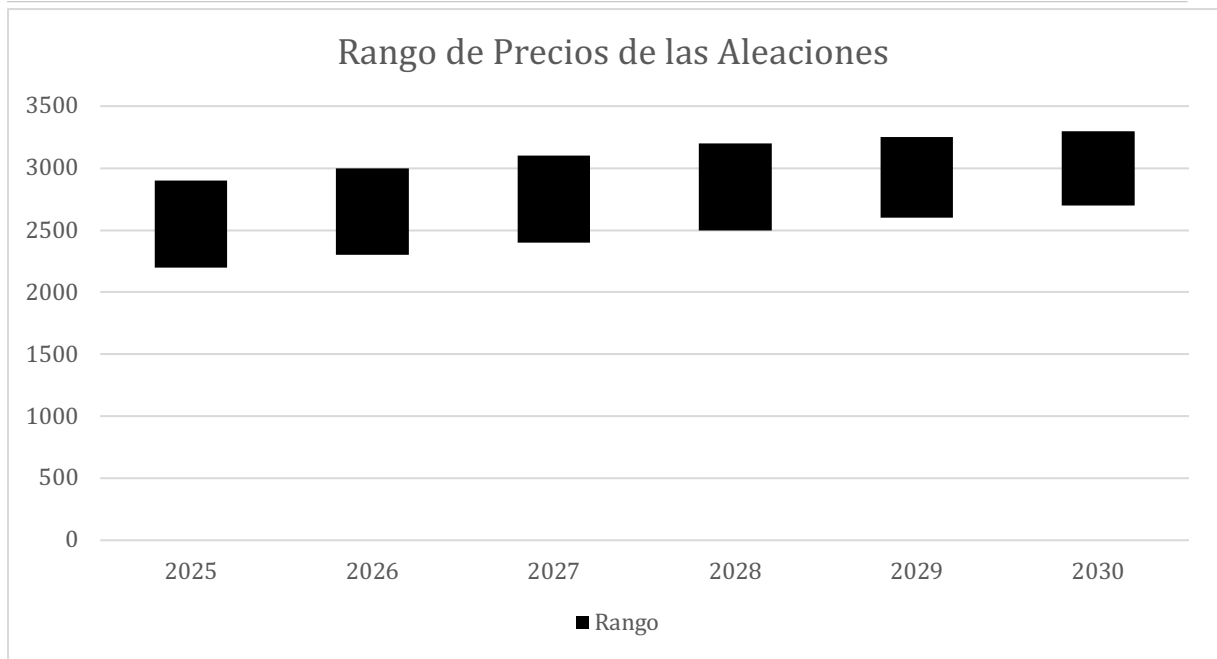


Figura 9: Rango de Precios de las Aleaciones de Aluminio (2025-2030)
Fuente: Elaboración Propia realizada por Microsoft Excel.

En consecuencia, se infiere que las aleaciones mantendrán una evolución positiva y sostenida, en línea con el aumento de la demanda en sectores industriales y manufactureros durante los próximos años.

3.2.3.4 Fertilizantes

Los fertilizantes quelatados contienen micronutrientes complejados⁵ que aumentan su eficiencia y valor nutricional, lo que justifica un precio superior a los fertilizantes tradicionales. Siendo el precio de la urea entre 450 y 530 USD/Tn, los fosfatados se mantienen estables entre 790 y 800 USD/Tn. (IF Ingeniería en Fertilizantes., 2025) (AgroLatam, 2025)

El mercado global de fertilizantes de valor agregado, donde se incluyen los quelatos, tiene precios significativamente más altos que los fertilizantes básicos, con márgenes y costos que suelen ser 2 a 3 veces superiores a los convencionales. Al tratarse de un fertilizante reciclado, el precio previsto será 1,5 veces superior a los convencionales. (MBF Group, 2025)

⁵ Nutrientes unidos a compuestos que facilitan su absorción por las plantas.

Partiendo de la información del mercado argentino de fertilizantes, la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del tamaño del mercado entre 2025 y 2030 es del 6,18% (Motor Intelligence, 2025)

TABLA VII: Proyección del Precio Internacional del Fertilizante (2025-2030)

Año	Precio Mínimo (USD/Tn)	Precio Máximo (USD/Tn)
2025	1.185	1.200
2026	1.258	1.274
2027	1.336	1.353
2028	1.419	1.437
2029	1.507	1.526
2030	1.601	1.620

La Figura 10 presenta la evolución proyectada del rango de precios de los fertilizantes entre 2025 y 2030, expresado en USD/Tn en el eje de ordenadas.

Los valores mínimos aumentan desde aproximadamente 1.185 USD/Tn en 2025 hasta 1.601 USD/Tn en 2030, mientras que los máximos lo hacen de 1.200 USD/Tn a 1.620 USD/Tn, evidenciando un crecimiento sostenido y de baja dispersión a lo largo del período. La estrecha diferencia entre los precios mínimos y máximos anuales (del orden de 15 a 20 USD/Tn) indica una alta estabilidad de precios, con un incremento gradual atribuible al aumento de la demanda agrícola y la tendencia hacia prácticas más sustentables en la producción.

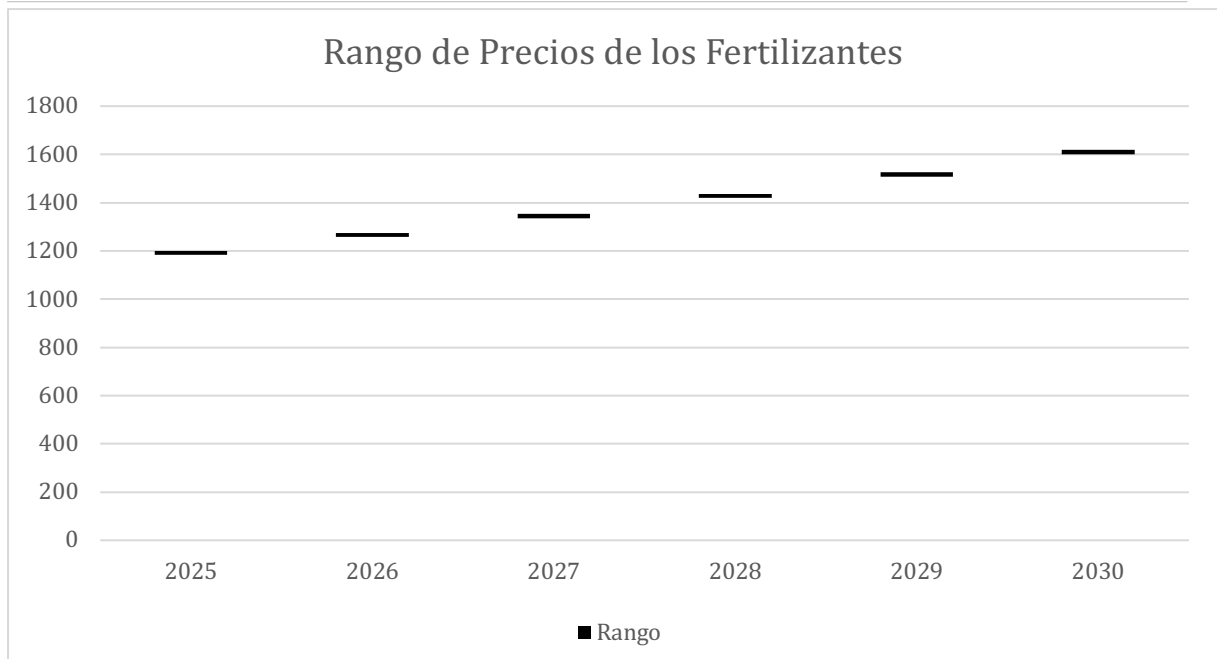


Figura 10: Rango de Precios de los Fertilizantes (2025-2030)
Fuente: Elaboración Propia realizada por Microsoft Excel.

En conclusión, se proyecta que el mercado de fertilizantes mantendrá estabilidad y crecimiento moderado, consolidando una tendencia positiva sin fluctuaciones significativas hasta 2030.

3.2.4 Análisis de Precios de Productos No Tratados

En el contexto actual de creciente demanda de materiales sostenibles y procesos industriales con menor impacto ambiental, el denominado aluminio sucio (aquel que no fue depurado completamente o que contiene impurezas), está ganando relevancia tanto por su valor económico como por su contribución a la economía circular. Esta sección analiza la evolución del precio de este producto, su proyección a futuro y su vinculación con dinámicas del mercado global. Asimismo, se incluye un análisis del comportamiento del precio de la chatarra ferrosa, otro insumo importante en la industria del reciclaje metálico.

3.2.4.1 Aluminio Sucio

La tendencia de aumento en el precio y la demanda del aluminio se replica en el mercado del llamado "aluminio sucio" o aluminio reciclado no completamente limpio, debido a que

ambos comparten factores fundamentales como la creciente demanda en sectores como la automoción, construcción y energías renovables.

En un escenario global marcado por la transición hacia tecnologías limpias y una mayor conciencia ambiental, el reciclaje se ha consolidado como una práctica esencial. En consecuencia, el aluminio sucio se presenta como una fuente valiosa para satisfacer la demanda industrial con menor impacto ecológico y a menores costos de producción. Este contexto explica el aumento paralelo en su cotización.

El precio del aluminio se sitúa entre 0,8 a 1 dólar por kg, con un tipo de cambio de 1.350 pesos por dólar. (Conexion Reciclado, 2025)

A continuación, se presenta una tabla con los precios máximos y mínimos hasta el año 2030 (Conexion Reciclado, 2025)

TABLA VIII: Proyección del Precio del Aluminio Sucio

Año	Precio Mínimo (USD/Tn)	Precio Máximo (USD/Tn)
2025	800	1.000
2026	830	1.030
2027	860	1.060
2028	890	1.090
2029	920	1.120
2030	950	1.150

La Figura 11 muestra la evolución proyectada del rango de precios del aluminio sucio entre 2025 y 2030, expresado en USD/Tn en el eje 'Y'.

Se observa una tendencia ascendente moderada, con valores mínimos que aumentan desde aproximadamente 800 USD/Tn en 2025 hasta 950 USD/Tn en 2030, y máximos que crecen de 1.000 USD/Tn a 1.150 USD/Tn en el mismo período. La diferencia constante de alrededor de 200 USD/Tn entre los valores mínimos y máximos refleja una alta estabilidad del mercado y la ausencia de fluctuaciones abruptas en el precio.

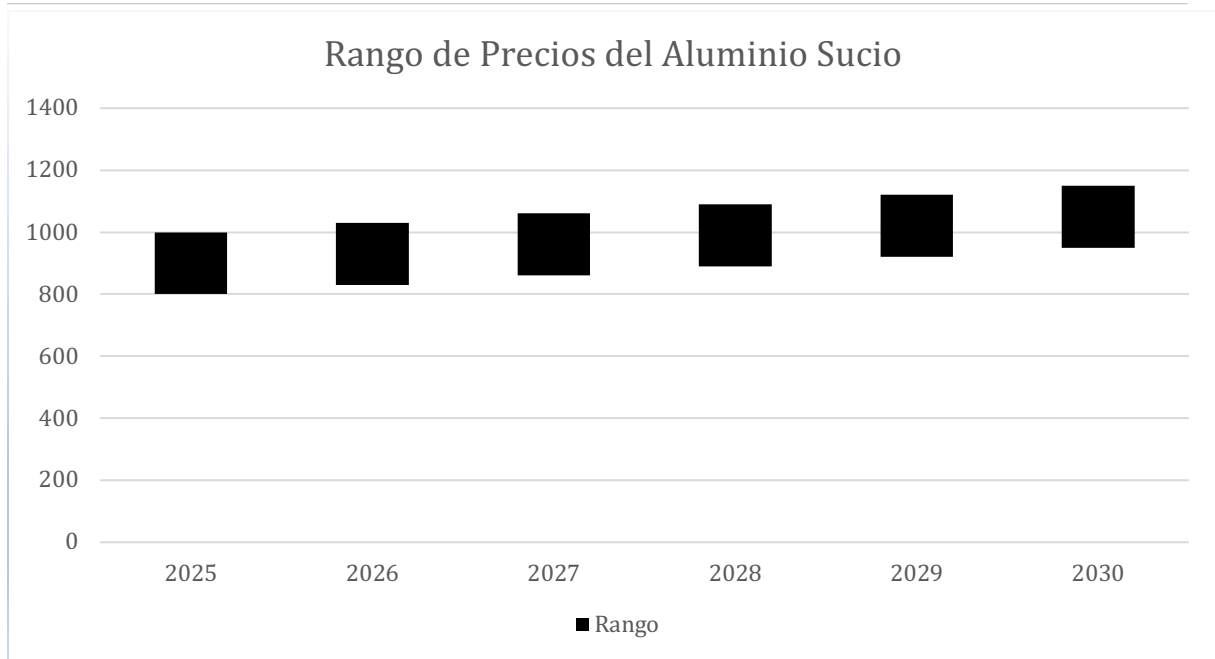


Figura 11: Rango de Precios del Aluminio Sucio (2025-2030)
Fuente: Elaboración Propia realizada por Microsoft Excel.

En conjunto, las proyecciones indican que el precio del aluminio sucio se mantendrá estable, con una leve tendencia alcista impulsada por el incremento progresivo en la demanda del sector metalúrgico y de reciclaje industrial.

3.2.4.2 Chatarra Ferrosa

El valor de la chatarra ferrosa está directamente vinculado al precio del hierro, dado que se compone mayoritariamente de este metal en estado reciclado. Su cotización varía en función de factores similares a los que afectan al hierro en bruto, tales como el nivel de oferta y demanda internacional, la calidad y pureza del material, la disponibilidad general en el mercado, y las condiciones económicas globales.

Además, factores macroeconómicos como las tensiones geopolíticas, los costos logísticos y las regulaciones ambientales pueden incidir simultáneamente en el comportamiento del precio tanto de la chatarra como del hierro primario, generando oscilaciones significativas en el mercado. (Statista, 2025)

TABLA IX: Proyección del Precio del Hierro (2025-2030)

Año	Precio Mínimo (USD/Tn)	Precio Máximo (USD/Tn)
2025	90	100
2026	85	95
2027	85	95
2028	85	90
2029	85	90
2030	85	90

Extrapolando la tendencia, se estiman los precios para la chatarra ferrosa, partiendo en 2025 con precio mínimo de USD 0,11 y máximo de USD 0,12 (Conexion Reciclado, 2025)

TABLA X: Proyección del Precio de la Chatarra Ferrosa

Año	Precio mínimo (USD/Tn)	Precio máximo (USD/Tn)
2025	110	120
2026	100	110
2027	100	110
2028	100	110
2029	100	110
2030	100	110

La Figura 12 muestra el rango de precios proyectado de la chatarra ferrosa entre 2025 y 2030, expresado en USD/Tn.

Se aprecia una tendencia estable, con valores mínimos cercanos a 85 USD/Tn y máximos entre 90 y 100 USD/Tn durante todo el período analizado. La dispersión de precios se mantiene constante y acotada, con una diferencia de apenas 5 a 10 USD/Tn, lo que refleja un mercado de baja volatilidad y escaso margen de fluctuación.

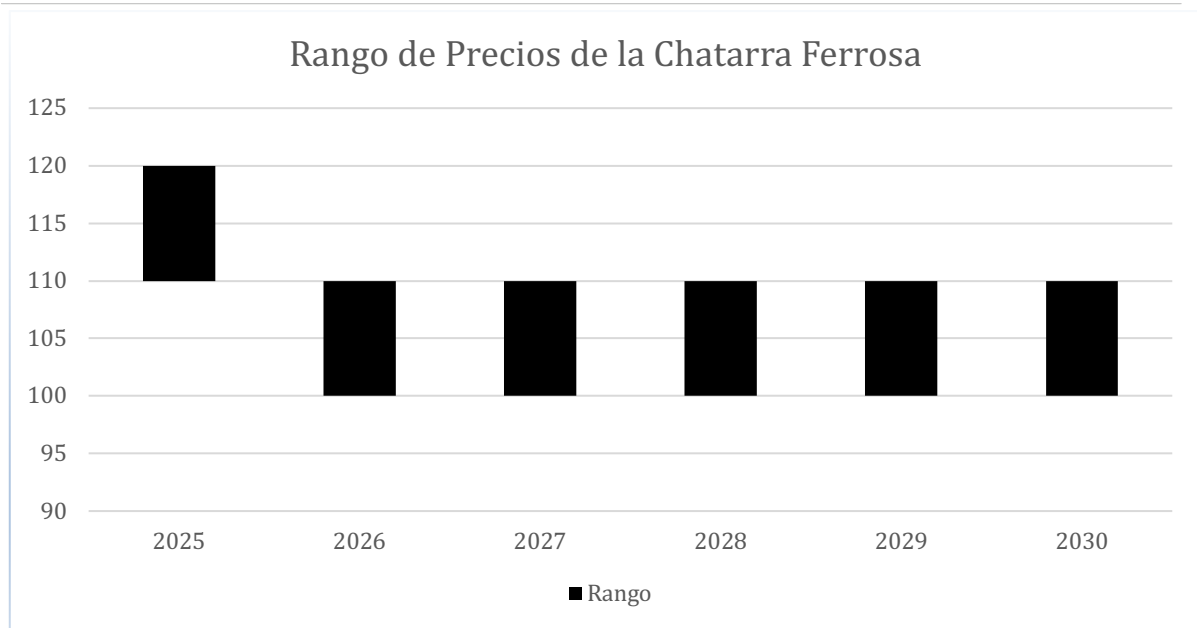


Figura 12: Rango de Precios de la Chatarra Ferrosa (2025-2030)
Fuente: Elaboración Propia realizada por Microsoft Excel.

En síntesis, la chatarra ferrosa presenta estabilidad sostenida en su cotización, atribuible a una oferta y demanda equilibradas en el sector metalúrgico y reciclador, sin variaciones significativas previstas hasta 2030.

3.2.5 Síntesis

Los análisis mencionados con anterioridad muestran que la demanda de metales recuperados de PCBs en Argentina se encuentra en expansión, impulsada por sectores como la electrónica, la automoción y las telecomunicaciones, así como por la implementación de políticas de sostenibilidad y economía circular.

No obstante, la oferta es aún insuficiente: solo el 5% de los RAEE se reciclan adecuadamente, las plantas existentes carecen de capacidad para procesar PCBs de manera integral y la ausencia de fundiciones locales obliga a exportar fracciones concentradas, con pérdida de valor agregado.

Este desajuste entre demanda creciente y oferta limitada resalta la necesidad y la oportunidad de fortalecer el sector mediante inversiones en infraestructura, desarrollo tecnológico y un marco normativo que favorezca la recuperación eficiente y sostenible de los metales contenidos en los residuos electrónicos.

3.3 Segmentación del Mercado

La segmentación del mercado resulta decisiva para identificar y comprender a los distintos actores que intervienen en la cadena de valor del reciclaje de PCBs, considerando sus características, comportamientos y necesidades.

En este contexto, el análisis se divide en dos grandes grupos: los proveedores de RAEE, quienes suministran los residuos electrónicos para el proceso de reciclaje, y el perfil de cliente, que representa a quienes demandan los materiales recuperados.

3.3.1 Proveedores de RAEE

Como se indica en el apartado 3.1.3 Cinco Fuerzas de Porter, los proveedores de RAEE son los actores que generan o recolectan residuos electrónicos y los suministran a empresas recicladoras para su tratamiento y recuperación de materiales valiosos. Su rol es fundamental en la etapa inicial de la cadena de valor, ya que determinan tanto la cantidad como la calidad del insumo disponible para el reciclaje de PCBs.

Entre los principales proveedores se encuentran:

1. Empresas privadas.

Especialmente aquellas vinculadas al sector tecnológico, las telecomunicaciones o los servicios profesionales. Estas organizaciones suelen renovar periódicamente sus equipos por razones de obsolescencia o actualización tecnológica, generando así volúmenes significativos de RAEE de alta calidad, como computadoras, servidores y dispositivos de red.

2. Instituciones públicas y organismos gubernamentales.

Las entidades del Estado, tanto a nivel nacional como provincial o municipal, también desechan equipos electrónicos en desuso. Muchos de estos aparatos son gestionados a través de programas institucionales de disposición responsable o subastas públicas, aunque no siempre existe una trazabilidad clara.

3. Centros de acopio y cooperativas de reciclaje.

Son organizaciones, generalmente de carácter social o comunitario, que recolectan, separan y almacenan RAEE para su posterior venta o entrega a plantas recicladoras. Su rol es crucial para canalizar residuos desde hogares y pequeñas empresas hacia el circuito formal.

4. Recolectores informales o cartoneros.

Estos actores desarrollan tareas de recuperación de RAEE en contextos donde no existe recolección formalizada. Si bien cumplen una función importante en el acceso a ciertos residuos, su intervención suele presentar desafíos asociados a la informalidad, la falta de condiciones laborales adecuadas y la dificultad de seguimiento del material recolectado.

5. Empresas de gestión de residuos.

Incluyen tanto operadores formales autorizados como gestores informales. Su función es actuar como intermediarios entre los generadores de residuos electrónicos y las empresas recicladoras, ya sea mediante la recolección, el transporte o el acopio de los materiales.

Según estudios, las empresas privadas y entidades públicas generan el 60% de los residuos mientras que los consumidores individuales llegan al 40%. (Mesa, 2020) Este panorama subraya la necesidad de abordar ambos segmentos para una gestión integral y eficiente. En el primer caso, dada su mayor contribución, se vuelve primordial formalizar contratos y establecer alianzas estratégicas a largo plazo. Por otro lado, si bien su aporte individual es menor, los consumidores individuales representan un segmento importante. Su participación, especialmente cuando actúan en conjunto con ONG a través de campañas de concientización y reciclaje, resulta esencial para fortalecer el sistema de recuperación de RAEE.

3.3.2 Perfil de Clientes Potenciales

El perfil de los clientes potenciales se define por la demanda de materiales recuperados del reciclaje de PCBs y las características de cada industria usuaria. Para comprender mejor sus necesidades, se incluye un análisis de valor por segmento, que vincula materiales como oro, plata, aleaciones de soldadura, hidróxido de hierro y quelatos con los sectores que los utilizan.

1. Refinadores de Metales.

Estas empresas se especializan en la purificación de metales como oro, plata y aleaciones de soldadura, que luego se comercializan para diversos usos industriales. Su interés en los materiales reciclados se vincula al potencial de rentabilidad, la disponibilidad de insumos locales y la posibilidad de reducir la dependencia de fuentes primarias. Valorán especialmente la pureza, la trazabilidad y la consistencia del suministro. Cuando estos factores están garantizados, los refinadores están dispuestos a pagar precios competitivos, lo que contribuye al fortalecimiento del mercado de recuperación electrónica.

2. Industrias Metalúrgicas y Fundiciones.

Las aleaciones de plomo y estaño recuperadas del tratamiento de RAEE son insumos importantes para industrias metalúrgicas y fundiciones. Se emplean en la fabricación de baterías, soldaduras, componentes metálicos y recubrimientos protectores, aportando a una producción más eficiente y sostenible. (Organización Internacional del Trabajo, 2019)

3. Empresas Manufactureras de Componentes Electrónicos.

Este sector demanda metales de alta pureza para garantizar la calidad de sus productos. El oro metálico es esencial en circuitos integrados, microprocesadores y conectores debido a su excelente conductividad. Las aleaciones metálicas se utilizan en procesos de soldadura, mientras que el aluminio es común en carcasas, disipadores de calor y estructuras. (Organización Internacional del Trabajo, 2019)

4. Empresas de Comercialización y Exportación.

Estas compañías adquieren materiales reciclados para su posterior venta en mercados locales e internacionales. La valorización de metales preciosos, aleaciones y plásticos reciclados les permite reinsertarlos en cadenas productivas globales, impulsando la economía circular. (Organización Internacional del Trabajo, 2019)

5. Cooperativas y Pequeñas Empresas de Reciclaje.

Actúan como eslabones principales dentro de la cadena de valor, ya que muchas de ellas reutilizan materiales previamente recuperados como insumo para nuevos productos o procesos de reciclaje adicionales. De esta forma, fortalecen el mercado de la economía social y solidaria. (Organización Internacional del Trabajo, 2019)

6. Empresas y Productores vinculados a la Agricultura Ecológica o Sostenible.

A partir de la neutralización de soluciones ácidas se obtienen quelatos metálicos, utilizados como fertilizantes para mejorar la disponibilidad de nutrientes en cultivos. Estos insumos impulsan prácticas agrícolas más sostenibles. (Organización Internacional del Trabajo, 2019)

3.3.2.1 Análisis de Valor por Segmento de Cliente

La tabla presentada a continuación realiza un análisis de valor por segmento de cliente⁶ relacionado con los materiales recuperados de PCBs. A través de este análisis, se identifican los principales segmentos de clientes, mencionados con anterioridad, los materiales que estos valoran más y las exigencias que presentan respecto a la calidad y disponibilidad de los materiales reciclados.

Este enfoque permite entender las dinámicas del mercado y cómo cada actor dentro de la cadena de valor percibe y utiliza los materiales recuperados, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas.

⁶ Surgido de la evolución del marketing y la gestión de clientes en el siglo XX, busca principalmente entender y optimizar el valor que cada grupo de clientes aporta al negocio.

TABLA XI: Análisis de Valor por Segmento de Cliente

Análisis de Valor por Segmento de Cliente				
Segmento de Cliente	Materiales Recuperados de Interés	Valor que Percibe	Nivel de Exigencia	Observaciones
Refinadores de Metales	Oro, plata, aleaciones de soldadura.	Rentabilidad, disponibilidad local, reducción de dependencia de fuentes primarias.	Muy alto	Valoran pureza, trazabilidad y suministro constante.
Industrias Metalúrgicas y Fundiciones	Aleaciones de plomo y estaño.	Insumos clave para baterías, soldaduras, recubrimientos y componentes.	Alto	Prefieren materiales que cumplan con especificaciones industriales.
Empresas Manufactureras de Componentes Electrónicos	Oro, aleaciones metálicas, aluminio.	Alta conductividad, precisión en procesos de fabricación, confiabilidad técnica.	Alto	Requieren materiales de máxima pureza para garantizar la calidad de los dispositivos.
Empresas de Comercialización y Exportación	Metales preciosos, aleaciones, plásticos reciclados.	Potencial de reventa y posicionamiento en mercados locales e internacionales	Medio	Buscan materiales con valor de mercado y facilidad de transporte o comercialización.
Cooperativas y Pequeñas Empresas de Reciclaje	Materiales previamente recuperados	Oportunidad de reutilización y reciclaje adicional para productos propios	Medio	Importante para el desarrollo de la economía social y solidaria.
Empresas y Productores Agrícolas Sostenibles	Quelatos metálicos (fertilizantes derivados de metales)	Mejora en la nutrición de cultivos, uso ecológico de subproductos del reciclaje	Medio	Interés creciente por prácticas agrícolas responsables y sostenibles.

El análisis presentado evidencia que los distintos segmentos de clientes asignan un valor específico a los materiales recuperados según sus necesidades productivas, exigencias técnicas y prioridades comerciales. Los refinadores de metales, por ejemplo, priorizan la pureza y trazabilidad, mientras que las industrias metalúrgicas valoran la funcionalidad directa de las aleaciones. Esta diversidad de demandas resalta la importancia de garantizar estándares de calidad, consistencia en el suministro y adaptabilidad a los requerimientos del mercado, fortaleciendo así la cadena de valor del reciclaje de PCBs y su inserción en una economía más sostenible.

3.4 Proyección de Demanda

Como se menciona en el apartado 3.2 Análisis de la Demanda y la Oferta, se establecen los clientes potenciales y los productos que demandarán. En esta sección se procede a proyectar la demanda estimada para cada producto, el cual considera que el mercado objetivo del proyecto se limita exclusivamente al segmento proveniente del reciclaje de metales, es decir, al mercado secundario de materiales recuperados.

3.4.1 Oro

Prácticamente, la producción total de oro en Argentina es exportada. Para estimar la producción futura, se espera que la reglamentación del Régimen de Incentivo para Grandes Inversiones (RIGI) tenga un impacto similar al de la Ley de Inversiones Mineras (Figura 13) (Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2024) (Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera Subsecretaría de Desarrollo Minero, 2023)

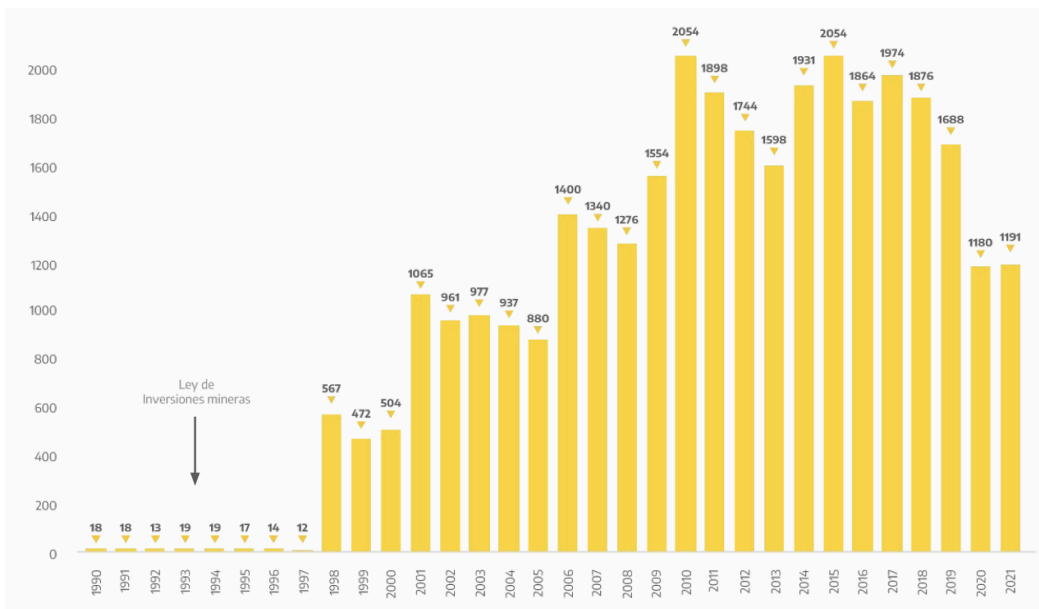


Figura 13: Impacto de la Ley de Inversiones Mineras
Fuente: Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2024.

En el mercado mundial, durante 2012-2023 se aprecia una curva aproximadamente constante de tasa de oro reciclado. Esta relación es de un 20% aproximadamente. (Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera, 2024). En línea con la tendencia global, el mercado

objetivo del oro reciclado se corresponde con el año indicado en la TABLA XII. (Banco Central de la República Argentina, 2024)

TABLA XII: Proyección de la Demanda del Oro

Año	Mercado Total (Tn)	Mercado Objetivo (Tn)
2024	35.33	N/A
2025	44.95	8.99
2026	48.93	9.79
2027	52.74	10.55
2028	54.65	10.93
2029	58.31	11.66
2030	58.31	11.66

3.4.2 Plata

El mercado mundial de la plata registra desde el año 2021 hasta 2023 un déficit atribuible al aumento de la demanda para aplicaciones industriales. (Ministerio de Economía, 2024)

La producción de plata muestra mayor variabilidad que la del oro debido a que aproximadamente el 70% de la plata mundial se obtiene como subproducto de la minería de metales como el cobre, el plomo y el zinc, lo que la hace dependiente de la actividad de otros sectores y no de su demanda directa. (Silver Institute, 2023)

A nivel mundial, la plata presenta un uso industrial intensivo, lo que la hace más sensible a los ciclos económicos y dificulta que la producción acompañe el ritmo de la demanda. (Silver Institute, 2024)

En el caso de Argentina, la proporción de plata reciclada dentro de la oferta total ha oscilado entre el 16% y el 20%, siendo del 18% en 2024 (Dirección de Promoción y Economía

Mínera, 2023). Al igual que el oro, la producción nacional se destina principalmente a la exportación, dado que el consumo interno es mínimo y no se registran cifras oficiales. Por ello, el mercado objetivo nacional puede estimarse en función del 18% de las exportaciones.

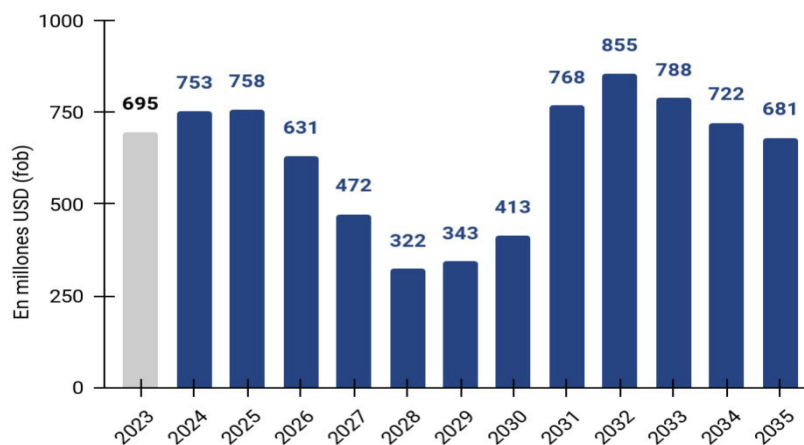


Figura 14: Proyecciones de exportación de plata en Argentina (2024-2035).
Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera.

Con un precio promedio estimado de 23,4 USD por onza troy, este valor se utiliza como referencia para las proyecciones del sector. (Ministerio de Economía, 2024)

TABLA XIII: Proyección de la Demanda de la Plata

Año	Exportaciones (Tn)	Mercado Objetivo (Tn)
2025	830	166
2026	900	180
2027	905	181
2028	755	151
2029	565	113
2030	385	77

3.4.3 Aleaciones de Aluminio

Dado que el aluminio es el principal metal en las aleaciones, la producción de aluminio primario en Argentina, concentrada en la empresa Aluar, alcanza casi 441.000 toneladas anuales, con un uso de capacidad del 96% en 2023. Cerca del 30% de dicha producción se destina al mercado local, principalmente a los sectores de construcción, transporte, envases e industria eléctrica, mientras que el resto se orienta a la exportación.

Para sostener la demanda de aleaciones metálicas, en especial aquellas que combinan aluminio y estaño para mejorar la resistencia al desgaste y la maleabilidad, resulta fundamental la importación de estaño en bruto. Estas aleaciones son altamente valoradas en aplicaciones técnicas y de soldadura, donde el estaño cumple un rol estratégico en el desarrollo industrial nacional. (Informe Industria del Aluminio Argentina, 2024)

Según las proyecciones presentadas en la TABLA XIV, se estima que el mercado global registre una CAGR del 3,32 % en los próximos años, impulsada por la creciente demanda de soldaduras, productos electrónicos y materiales sostenibles. (Mordor Intelligence, 2025)

En Argentina, la tasa de reciclaje de aluminio es reducida, ya que solo se recicla el 7% de la producción nacional. En contraste, a nivel mundial, aproximadamente el 35% del aluminio proviene de metales reciclados. Este segmento constituye el mercado objetivo del presente análisis y ofrece un alto potencial de desarrollo y expansión, impulsado por la mayor adopción de prácticas sostenibles y las oportunidades económicas vinculadas al reciclaje de aluminio. (Mordor Intelligence, 2025) (Secretaría de Política Económica, Ministerio de Economía, Argentina, 2024)

TABLA XIV: Proyección de las Aleaciones de Aluminio

Año	Producción (Tn)	Mercado objetivo (Tn)
2026	190,869	66.804,0
2027	197,558	69.145,3
2028	204,491	71.571,8
2029	211,678	74.087,3
2030	219,129	76.695,1

3.4.4 Fertilizantes

Argentina es el segundo país de América Latina con mayor uso de fertilizantes, con un consumo aproximado de 4,9 millones de toneladas, de las cuales los cultivos extensivos representan un 97,8% del total agrícola. (Bolsa de Comercio de Rosario, 2025)

Aunque los fertilizantes quelados se utilizan principalmente en cultivos hortícolas, frutales y en producciones bajo cubierta, que abarcan una porción menor del área cultivada nacional, su demanda está en crecimiento debido a la necesidad de corregir deficiencias micro nutricionales en estos sistemas de producción intensiva. (Mordor Intelligence, 2024)

Se espera que el mercado crezca a una tasa anual compuesta del 6,18% hasta 2030 (Ver TABLA XV)

TABLA XV: Proyección de la Demanda de los Fertilizantes

Año	Mercado Total (Tn)	Mercado Objetivo (Tn)
2024	4.900.000	107.800
2025	5.200.000	114.462
2026	5.500.000	121.536
2027	5.900.000	129.047
2028	6.200.000	137.022
2029	6.600.000	145.490
2030	7.000.000	154.481

3.4.5 Chatarra Ferrosa

En Argentina, la capacidad productiva instalada de las principales plantas siderúrgicas es de 6,5 millones de toneladas de acero por año, y se reciclan alrededor de 1,2 millones de toneladas de acero provenientes de diversas fuentes, como la automotriz, línea blanca, materiales ferroviarios y naval, así como residuos industriales internos. Lo que representa el 18%. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020)

Según reportes oficiales de la Cámara Argentina del Acero, en 2024, la producción total de acero crudo en Argentina cayó un 26%, pero el volumen de acero reciclado se mantuvo estable en torno a 1,2 millones de toneladas anuales. (Diario El Litoral, 2025) (ReportAcero, 2025)

Usando como base la cifra de 1,2 millones de toneladas de acero reciclado en Argentina y la tasa de crecimiento proyectada para el mercado latinoamericano de acero, es aproximadamente una CAGR del 4% entre 2025 y 2034. Por ende, se realiza una estimación año por año para la demanda de acero reciclado en Argentina hasta 2030. (Informes de Expertos, 2024)

TABLA XVI: Proyección de la Demanda de la Chatarra Ferrosa

Año	Demanda estimada (millones Tn)
2024	1,20
2025	1,25
2026	1,30
2027	1,35
2028	1,40
2029	1,46
2030	1,52

3.5 Consideraciones Finales

El análisis integral del mercado del reciclaje de PCBs en Argentina evidencia un sector en formación, caracterizado por un importante desajuste entre la creciente demanda de metales recuperados y la limitada capacidad de oferta existente. El contexto macroeconómico proyecta señales favorables hacia el mediano plazo, con expectativas de crecimiento y estabilización inflacionaria, lo cual constituye un entorno más propicio para atraer inversiones en proyectos vinculados a la economía circular. Sin embargo, persisten debilidades estructurales y regulatorias que deben ser abordadas para garantizar la consolidación de este sector.

Desde la perspectiva de la demanda, se observa una tendencia ascendente sostenida por la expansión de industrias estratégicas como la electrónica, la automotriz y la metalúrgica, que requieren insumos críticos tales como oro, plata, aleaciones de aluminio y fertilizantes quelados. A su vez, factores regulatorios como la Ley 14.321 de la Provincia de Buenos Aires, que incorpora la REP, y el aumento de la conciencia ambiental en empresas y consumidores, contribuyen a consolidar un escenario favorable para la valorización de los RAEE. En este sentido, el reciclaje de PCBs no solo representa una oportunidad económica, sino también una alternativa para disminuir la dependencia de importaciones de metales estratégicos y reducir la vulnerabilidad externa del país.

En cuanto a la oferta, la situación es inicial. Solo el 5% de los RAEE generados en Argentina son gestionados de manera adecuada, cifra que se encuentra por debajo del promedio regional. Las pocas plantas autorizadas carecen de tecnología avanzada para el procesamiento integral de PCBs, y la ausencia de fundiciones y refinerías especializadas obliga a exportar fracciones semiprocesadas, lo que reduce la posibilidad de capturar valor agregado a nivel local. Este panorama refleja tanto la magnitud del desafío como el potencial de oportunidad: el desarrollo de infraestructura y tecnología específica permitiría no solo aumentar las tasas de recuperación, sino también posicionar a Argentina como un actor regional en el reciclaje de metales críticos.

El análisis competitivo, a través de las fuerzas de Porter y la Matriz del Perfil Competitivo, muestra un mercado moderadamente rivalizado, con predominio de pequeñas y medianas empresas que compiten principalmente por precio debido a su baja capacidad tecnológica. Si bien esto genera un entorno desafiante, también abre espacio para nuevos proyectos capaces de diferenciarse mediante alianzas estratégicas con universidades, centros de investigación y organismos públicos.

A nivel de precios, los metales recuperados proyectan un comportamiento alcista moderado hacia 2030, especialmente el oro y la plata, que mantienen su relevancia tanto industrial como financiera. Las aleaciones de aluminio y los fertilizantes quelados también presentan escenarios de crecimiento, impulsados por la transición tecnológica y la demanda agrícola sostenible. Incluso los materiales no tratados, como el aluminio sucio y la chatarra ferrosa, muestran una tendencia estable o levemente creciente, los cuales se consolidan como insumos estratégicos. Este panorama de precios refuerza el atractivo económico de las iniciativas de recuperación en el que suma un componente de rentabilidad al impacto ambiental positivo.

Por último, el estudio de mercado permite concluir que el reciclaje de PCBs en Argentina enfrenta un escenario de alta demanda insatisfecha, baja capacidad de oferta y oportunidades claras de expansión. Para cerrar esta brecha, resulta necesario fortalecer la infraestructura instalada, promover inversiones en tecnología avanzada, consolidar un marco normativo específico y fomentar la cooperación entre actores públicos y privados. De lograrse estas condiciones, el sector contribuye a la reducción de la huella de carbono y también se transforma en un motor estratégico de desarrollo económico y social para el país.

CAPÍTULO IV ESTUDIO TÉCNICO

4.1 Proceso de Reciclaje y Recuperación de Materiales

El proceso de reciclaje y recuperación de materiales se llevó a cabo en laboratorio durante un período superior a dos años. En este tiempo, se combinaron métodos experimentales con un enfoque de prueba y error en el marco del programa “Evaluación Anual de Capacidades Profesionales”. La investigación abarcó desde el análisis de placas electrónicas hasta la obtención de metales preciosos mediante técnicas mecánicas y químicas. (Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, n.d.)

Durante el proceso, se logró recuperar y producir diversos productos de valor a partir de residuos electrónicos. A continuación, se detallan las cantidades estimadas obtenidas por cada 100 toneladas de residuos tratados:

- **Oro metálico (Au): 0,526 kg**

El oro se recuperó en forma sólida y pura mediante procedimientos de disolución selectiva y separación química. Esta cantidad representa un valor económico significativo y destaca la efectividad del proceso para recuperar este metal noble.

- **Plata metálica (Ag): 19 kg**

La plata se obtuvo mediante precipitación y reducción de sus compuestos, logrando un producto apto para uso industrial o comercial.

- **Aleaciones metálicas (Sn, Al, Pb, Sb, PbSO₄): 12,070 kg**

Se recuperaron metales base y compuestos metálicos que constituyen aleaciones fundamentales para su utilización en fundiciones o procesos metalúrgicos. Esta fracción evita la disposición como residuo peligros y contribuye a la economía circular.

- **Fertilizantes quelados líquidos: 37.000 kg**

Los residuos líquidos generados fueron tratados químicamente con agentes quelantes para producir fertilizantes líquidos con metales micronutrientes (Zn, Fe, Cu, etc.) en formas biodisponibles. Esta producción transforma un subproducto líquido en un recurso valioso para la agricultura sostenible.

El total recuperado representa poco más del 49% del peso inicial, mientras que la diferencia, un poco más del 50%, corresponde a residuos, materiales no valorizados y pérdidas generadas durante el proceso. Estos incluyen principalmente plásticos, vidrios, escorias, lodos, emisiones gaseosas y las inevitables pérdidas inherentes a los tratamientos físicos y químicos. Este porcentaje de recuperación es habitual y está respaldado por estudios técnicos del reciclaje de residuos electrónicos, donde el rendimiento típico en términos de masa recuperada suele encontrarse entre el 40% y 60%. Los materiales no metálicos y los residuos resultantes de las diferentes etapas del proceso limitan una recuperación total en peso. (Instituto Metrológico Metropolitano, 2021)

Se presenta la explicación detallada del proceso seguido del diagrama que ilustra las etapas del reciclaje y recuperación de materiales tecnológicos.

- **Recepción y Clasificación de Residuos**

Tras la recepción de los residuos tecnológicos, se procede a la separación de las PCBs para su posterior tratamiento específico. Además, se separa la chatarra ferrosa y el aluminio sucio, los cuales se venden directamente a chatarrerías o fundiciones. Paralelamente, plásticos, cauchos y fibras son clasificados y derivados a centros de reciclaje especializados.

- **Extracción de microprocesadores y conectores**

Inicialmente, las PCBs son desensambladas manualmente para extraer componentes de alto valor, como microprocesadores y conectores, debido a su elevada concentración de oro (Au^0).

Los microprocesadores, junto con el aluminio y el oro de los conectores, se someten a tratamiento con agua regia, seguido de la adición de sulfato ferroso (FeSO_4) para precipitar el oro. El sólido obtenido se filtra para recuperar el Au^0 .

El líquido restante (sobrenadante) contiene, entre otros metales, plomo disuelto (Pb). Esta solución es sometida a un tratamiento químico con ácido sulfúrico (H_2SO_4) para precipitar el Pb como sulfato de plomo (PbSO_4). Como resultado de este proceso, se obtienen dos fases:

- la parte líquida se reserva para un tratamiento posterior.
- la parte precipitada como un sólido blanco de PbSO_4 .

Ambos subproductos son separados y reservados para su posterior aprovechamiento o tratamiento.

- **Procesamiento de PCBs Despobladas**

Una vez extraídos los componentes principales, las placas despobladas se procesan para recuperar los metales de soldadura. Para ello, las placas son trituradas y atacadas con ácido nítrico (HNO_3).

El filtrado del tratamiento con HNO_3 se divide en dos fracciones:

Primera fracción:

Se obtiene una solución de nitratos metálicos, a la cual se añade cloruro de sodio (NaCl) a baja temperatura para precipitar cloruro de plata (AgCl). Este precipitado se trata con polvo de zinc (Zn) y una solución diluida de ácido clorhídrico (HCl), lo que permite obtener plata metálica (Ag^0).

La solución resultante, cloruro de zinc (ZnCl_2), se reincorpora al sistema ácido original, se agrega el líquido reservado en el proceso de "Extracción de Microprocesadores y Conectores". Finalmente, se quelata⁷ con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en el cual se obtiene el fertilizante.

Segunda fracción:

Se forma un precipitado compuesto por Au^0 , ácido estañoso (H_2SnO_3), antimonio (Sb), estaño (Sn) y Pb , el cual es lavado con agua caliente para separar el Au^0 .

La solución con los residuos restantes, junto con el PbSO_4 obtenido

⁷ El término "quelata" proviene del verbo "quelar", en el que una sustancia se une a un metal formando un compuesto más estable y fácil de manejar.

previamente, se someten a un tratamiento térmico para obtener la aleación de Sn.

El proceso anteriormente descrito se representa gráficamente en el diagrama de flujo que se observa en la Figura 15.

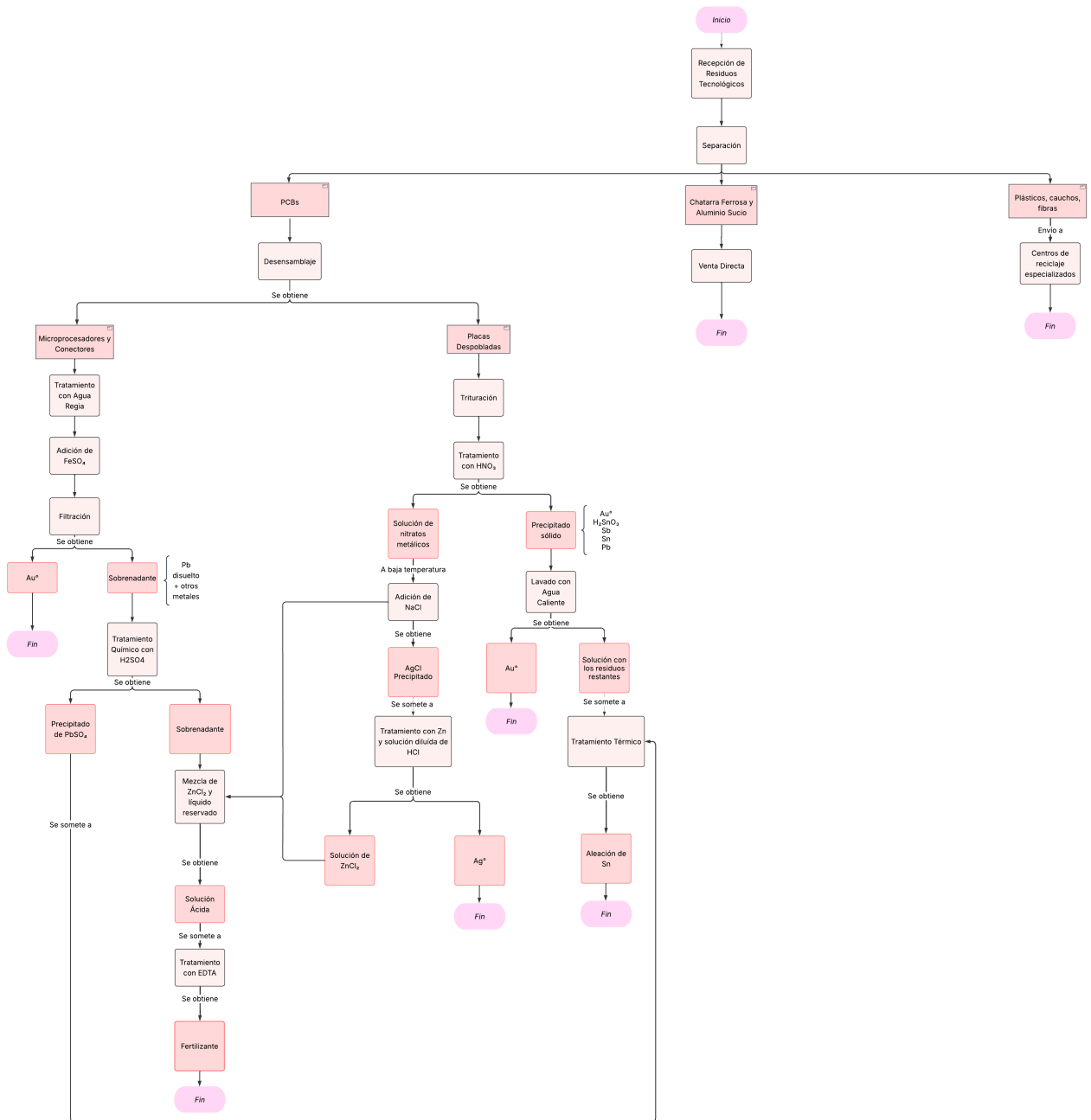


Figura 15: Diagrama de Flujo del Proceso.

Fuente: Elaboración Propia mediante Lucidchart. (LucidChart, n.d.)

4.2 Materias Primas e Insumos Químicos

El proceso requiere una combinación de residuos tecnológicos como materia prima principal y una variedad de insumos químicos (ácidos, sales y agentes precipitantes) para la recuperación de metales valiosos y la gestión ambientalmente responsable de los subproductos. Todos estos materiales e insumos son seleccionados y dosificados cuidadosamente para la recuperación, minimizar los residuos y garantizar la seguridad del proceso.

4.2.1 Residuos Tecnológicos

Los residuos tecnológicos constituyen la materia prima esencial de este proceso. A partir de ellos se extraen las PCBs, los microprocesadores y los conectores, componentes de los cuales se recuperan metales valiosos como Au, Ag y Sn. Además, durante el tratamiento de estos residuos, se obtienen subproductos útiles como fertilizantes, en el que contribuye tanto a la valorización de materiales como a la reducción del impacto ambiental.

4.2.2 Reactivos Químicos

Los reactivos químicos son primordiales para la extracción y purificación de los metales valiosos presentes en los componentes electrónicos. Estos reactivos permiten realizar reacciones específicas que facilitan la disolución, precipitación y separación de diferentes metales.

Cada reactivo tiene una función particular dentro del proceso: desde la disolución selectiva de metales en las PCBs, hasta la recuperación de metales, y la obtención de subproductos útiles.

A continuación, se describen los principales reactivos químicos utilizados, su función y su aplicación en las distintas etapas del tratamiento.

TABLA XVII: Principales Reactivos

Reactivo Químico	Función	Aplicación	Kg /100 Tn
Ácido Nítrico (HNO₃)	Disolución selectiva de metales	Tratamiento de placas desensambladas y trituradas para obtener nitratos metálicos y precipitados sólidos.	50.500
Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)	Separación y precipitación de compuestos metálicos	Tratamiento químico de los sobrenadantes de filtración de microprocesadores y conectores, precipitación de PbSO ₄ .	819
Ácido Clorhídrico (HCl)	Disolución de precipitados	Empleado en forma diluida para tratar AgCl precipitado, junto con Zn ^o , para recuperar plata metálica.	26.000
Agua Regia (HCl + HNO₃)	Disolución de metales preciosos	Recuperación de Au contenido en microprocesadores y conectores.	Obtenido desde HCl + HNO ₃
Sulfato de Hierro (FeSO₄) heptahidratado	Precipitación selectiva de metales	Se agrega al tratamiento con agua regia para favorecer la separación de metales.	290
Cloruro de Sodio (NaCl)	Formación de precipitados	Añadido a la solución de nitratos metálicos para precipitar AgCl.	Obtenido en proceso
Zinc Metálico (Zn^o)	Reducción de compuestos	Reduce el AgCl precipitado para obtener plata metálica	34
EDTA (Ácido Etilendiaminotetraacético)	Agente quelante	Tratamiento de soluciones ácidas residuales para producir fertilizantes quelados.	100
Hidróxido de sodio (NaOH)	Neutralizar	Ajustar PH de los fertilizantes	60.000

4.3 Determinación de la Capacidad de Diseño

Para diseñar y dimensionar la planta, es importante definir su capacidad de producción a partir de un objetivo concreto de participación en el mercado. En este caso, se plantea alcanzar el 2% del volumen total de RAEE generados en Argentina, lo que representa 10.340 toneladas por año.

Esta meta se fundamenta principalmente en criterios técnicos que aseguran la viabilidad operativa del sistema, considerando la capacidad nominal de los equipos seleccionados, la disponibilidad operativa prevista y la coherencia entre las distintas etapas del proceso.

Desde el punto de vista técnico, el valor adoptado se ajusta a la capacidad instalada de diseño, permitiendo una operación continua durante aproximadamente 250 días anuales a régimen nominal. Asimismo, el dimensionamiento de la planta en torno a este 2% facilita la selección de maquinaria y tecnología adecuadas, el cual evita sobredimensionamientos costosos o equipos infrautilizados, y considera la planificación del mantenimiento y la flexibilidad operativa ante variaciones de la demanda.

En relación con la composición de los RAEE, se estima que las PCBs representan el 5% del peso total, los conectores el 3% y los microprocesadores el 1%, que suman en conjunto un 9% de los residuos.

Para garantizar la continuidad operativa ante posibles variaciones en la disponibilidad de materia prima, tareas de mantenimiento o incertidumbres de producción, se incorpora un margen de holgura del 15% sobre la capacidad de diseño. Esto permite mantener un funcionamiento ininterrumpido y facilitar futuras expansiones de capacidad sin requerir modificaciones sustanciales.

De este modo, **la planta se dimensiona para procesar aproximadamente 1.069,5 toneladas anuales de componentes valiosos, equivalentes a unas 4,1 toneladas por día.** A

su vez, se considera una jornada de trabajo de **8 horas diarias, 5 días por semana y 260 días laborales al año.**

La distribución diaria estimada del material a procesar es la siguiente:

Conectores: 1,36 toneladas

Microprocesadores: 0,46 toneladas

PCBs: 2,28 toneladas

A continuación, se presenta una tabla con la estimación de la producción anual de los productos principales, expresada en toneladas (Tn) y su equivalente en kilogramos (kg), con el fin de facilitar su interpretación.

TABLA XVIII: Estimación de la Producción Anual de los Productos Principales

Producto	Producción Anual Estimada (Kg)
Au°	5,629
Ag°	202
Aleaciones	127.900
Fertilizantes	358.000

4.3.1 Dimensionamiento de Materia Prima

Para planificar y dimensionar el espacio requerido en el almacén de reactivos químicos y residuos electrónicos, se considera que la producción anual se mantiene uniforme a lo largo del año, motivo por el cual el valor total anual se divide entre 12 meses a fin de obtener una estimación mensual representativa del volumen y la masa a almacenar. Esta consideración permite simplificar el cálculo de requerimientos de superficie y capacidad, garantizando que el diseño contemple una ocupación constante promedio sin sobreestimar la infraestructura necesaria.

TABLA XIX: Masa Mensual y Anual a Almacenar (kg)

Material	Mensual (kg)	Anual (kg)
Ácido Nítrico (HNO ₃)	62.115	745.380
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	1.008	12.096
Ácido Clorhídrico (HCl)	31,980	383.760
Sulfato de Hierro (FeSO ₄) heptahidratado	360	4.320
Zinc Metálico (Zn°)	41,7	500,4
EDTA	123	1.476
NaOH	73.800	885.600
Residuos Tecnológicos	123.000	1.069.050

TABLA XX: Volúmenes Mensuales y Anuales a Almacenar (litros)

Material	Densidad (kg/L)	Mensual (L)	Anual (L)
Ácido Nítrico (HNO ₃)	1,40	44.367	532.414
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	1,84	548	6.574
Ácido Clorhídrico (HCl)	1,20	26.650	319.800
Residuos Tecnológicos	1,00 aprox.	123.000	1.069.050

Para sólidos como el FeSO₄, Zn° y EDTA, el volumen no se calcula debido a que depende significativamente de la forma física, tipo de embalaje y compactación, variables que afectan su espacio real en almacenamiento.

Para los residuos de PCBs y componentes electrónicos (microprocesadores y conectores), se asume una densidad aproximada de 1 kg/L como referencia para el almacenamiento inicial. Esta cifra es una estimación práctica que considera materiales heterogéneos, con presencia de plásticos, metales y otros elementos, y que varía según el embalaje y la compactación efectiva del residuo. (Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Gestión Ambiental, 2015)

FeSO₄

Para estimar el volumen que ocupa un pallet de FeSO₄ en sacos de 25 kg, se puede abordar el cálculo desde dos enfoques: el volumen individual de cada bolsa o las dimensiones totales del pallet lleno.

FeSO₄ es un sólido cristalino que no se encuentra completamente compactado, por lo que su densidad aparente es intermedia. Cada bolsa de 25 kg suele ocupar alrededor de 0,03 m³. Si se colocan 40 bolsas sobre un pallet (lo habitual para alcanzar 1.000 kg), el volumen total ronda los 1,2 m³. (PochTeca Chile S.A., n.d.)

Zn^o

Para convertir la masa de Zn^o en polvo fino a volumen, se utiliza la densidad aparente del material. En este caso, la densidad considerada es aproximadamente 3,2 g/cm³. Esto significa que cada kilogramo de zinc en polvo ocupa alrededor de 312,5 cm³, o lo que es equivalente, 0,3125 L. (Distribuidores de Químicos Industriales S.A., 2010)

Con esta densidad, se puede estimar el volumen necesario para diferentes cantidades de Zn^o:

- Para un consumo mensual (calculado sobre 30 días), que corresponde a 45 kg, el volumen estimado es de 14,06 L.
- Para un consumo anual de 500 kg, el volumen total necesario será alrededor de 156,25 litros.

EDTA

Los pesos de EDTA convertidos a volumen, los cuales toman una densidad aproximada de 1.300 kg/m³ (Dissolvine, 2010), son los siguientes:

- Para 123 kg de EDTA (mensual): aproximadamente 0,0935 m³
- Para 1.476 kg de EDTA (anual): aproximadamente 1,12 m³

NaOH

La soda cáustica en forma de escamas o gránulos se comercializa habitualmente en sacos de 25 kg. Cada pallet suele contener alrededor de 42 sacos, lo que equivale a aproximadamente 1.050 kg de NaOH por pallet. El volumen ocupado por cada pallet, considerando tanto las bolsas

como el espacio libre entre ellas y la altura estándar del embalaje, es aproximadamente 1,3 m³. En términos anuales, el volumen total estimado asciende a 1.096,5 m³, lo que equivale a cerca de 844 pallets. (Agripac, n.d.)

Una vez definidas las cantidades y los volúmenes de materias primas se proyectan los m³ necesarios para cada insumo durante los próximos cinco años. El dimensionamiento definitivo de la planta se va a realizar con los valores proyectados para el último año de este período para evitar posteriores ampliaciones y asegurar que las instalaciones cuenten con la capacidad suficiente para cubrir la demanda futura.

TABLA XXI: Volumen de Materia Prima Sólida [m³]

Año	Zn°	FeSO ₄	EDTA	Residuos Tecnológicos	NaOH
2026	0,156	3,240	1,12	1.069,05	1.096,5
2027	0,164	3,402	1,176	1.122,50	1.151,3
2028	0,172	3,572	1,235	1.178,63	1.208,85
2029	0,181	3,750	1,297	1.237,56	1.269,3
2030	0,190	3,938	1,361	1.299,44	1332,75

TABLA XXII: Volumen de Materia Prima Líquida [m³]

Año	HNO ₃	H ₂ SO ₄	HCl
2026	532.414	6.574	319.800
2027	558.034	6.903	335.790
2028	585.936	7.248	352.579
2029	615.233	7.610	370.208
2030	645.995	7.991	388.718

En la gestión de inventarios industriales, se debe mantener un equilibrio entre contar con suficiente material para evitar interrupciones y no acumular exceso que genere costos

innecesarios. Para esto, se definen dos conceptos: El stock de seguridad⁸ y stock máximo⁹. El equilibrio entre ambos permite asegurar la operatividad continua de la planta, reduciendo los riesgos de interrupción del abastecimiento, sobrestock y obsolescencia de materiales.

Dado que el proceso cuenta con un suministro regular, se adopta un modelo de inventario de revisión periódica, con reposición mensual y un nivel de seguridad fijo. El stock de seguridad se establece equivalente a 15 días de consumo, como criterio conservador frente a posibles demoras en el aprovisionamiento o variaciones moderadas en la demanda.

Los cálculos correspondientes se realizaron de la siguiente manera:

1. Consumo diario: Se divide el volumen anual entre 360 días.
2. Stock de seguridad: Se multiplica el consumo diario por 15 días.
3. Consumo mensual: Se divide el volumen anual entre 12 meses.
4. Stock máximo: Resulta de sumar el consumo mensual y el stock de seguridad, asumiendo un ciclo de reposición mensual constante.

Si bien en un enfoque más riguroso el stock de seguridad puede determinarse a partir de la variabilidad de la demanda y del tiempo de reposición, dicho nivel de análisis excede el alcance del presente estudio. En este caso, se adopta un valor fijo definido por política de inventario como simplificación práctica.

La naturaleza física de los materiales (sólidos o líquidos) también influye en el diseño y dimensionamiento de los almacenes, dado que cada tipo requiere condiciones específicas de manipulación, seguridad y control ambiental.

En este sentido, para el dimensionamiento de los almacenes se proyectan los volúmenes necesarios para cada tipo de material, en el que se consideran sus características específicas:

⁸ Cantidad extra que se guarda para evitar faltantes por demoras o aumentos inesperados en la demanda.

⁹ Límite de inventario que se puede guardar, sumando el consumo habitual y el stock de seguridad. Superarlo genera más costos y riesgo de desperdicio.

TABLA XXIII: Stock de Seguridad Necesario

Material	Volumen Anual (m ³)	Stock Seguridad 15 días (m ³)	Consumo Mensual (m ³)	Stock Máximo (m ³)
Químicos Sólidos				
Zn°	0,190	0,0078	0,0158	0,0236
FeSO ₄	3,938	0,1619	0,328	0,4899
EDTA	1,361	0,057	0,113	0,171
NaOH	1.332,75	55,53	111,06	166,59
Total	1.338,24	55,757	111,517	167,28
Residuos Tecnológicos				
Total	1.299,44	53,4	106,8	160,2
Líquidos Ácidos				
HNO ₃	532,414	21,87	44,37	66,24
H ₂ SO ₄	7,991	0,3285	0,666	0,9945
HCl	388,718	15,98	32,39	48,37
Total	929,1	38,2	77,4	115,6

4.3.2 Dimensionamiento de Productos Recuperados

Para realizar un análisis completo del volumen necesario año a año de cada producto, se considera la producción anual estimada y la densidad de cada material.

- Au: 19,32 g/cm³ = 19.320 kg/m³
- Ag: 10,49 g/cm³ = 10.490 kg/m³
- Aleaciones de Soldadura: Dado que estas aleaciones están compuestas mayoritariamente de Al, tomaremos su densidad 2,7 kg/L.
- Fertilizantes quelados: 1,26 kg/L

TABLA XXIV: Producción y Volumen por Año de Productos Recuperados

Prod. Año	Au°		Ag°		Aleaciones		Fertilizantes	
	kg	L	Tn	L	Tn	L	Tn	L
2026	5,629	0,29	0,202	19,26	127,9	47.370	358	286.400
2027	5,910	0,31	0,212	20,21	134,3	49.741	376	300.800
2028	6,206	0,32	0,223	21,26	141,1	52.259	395	316.000
2029	6,516	0,34	0,234	22,31	148,1	54.852	425	340.000
2030	6,842	0,35	0,246	23,45	154,5	57.222	435	348.000

El volumen total estimado para 2030 es de aproximadamente **405.245 litros**. Se usa este valor máximo para dimensionar la planta porque garantiza que tendrá la capacidad necesaria para manejar la producción en su punto más alto.

4.3.3 Dimensionamiento de Residuos No Tratados

Se considera que la planta procesa aproximadamente 10.340 toneladas anuales de RAEE, y que solo un 9% de dicha cantidad (alrededor de 930 toneladas) corresponde a componentes valiosos recuperables, el 91% restante (aproximadamente 9.411 toneladas) está constituido por materiales que no se recuperan económicamente o requieren un tratamiento especial.

La composición estimada de este flujo no valioso es:

- Plásticos: 4.235 toneladas
- Metales ferrosos: 1.595 toneladas
- Aluminio sucio: 1.041 toneladas
- Vidrios: 1.000 toneladas
- Cerámicos y materiales inorgánicos: 600 toneladas
- Materiales peligrosos o contaminantes: 940 toneladas

Estos valores están respaldados por informes internacionales que analizan la composición típica de los RAEE y la gestión de sus fracciones no recuperables. (International Telecommunication Union, 2020)

A continuación, se presenta la tabla con la proyección para los materiales no tratados de RAEE desde 2026 hasta 2030, el cual considera un volumen base en 2026 de 9.411 toneladas y un aumento anual del 5%

TABLA XXV: Proyección para los Materiales No Tratados [Tn]

Año	Plásticos	Metales Ferrosos	Aluminio Sucio	Vidrios	Cerámicos e inorgánicos	Materiales peligrosos	Total
2026	4.235	1.595	1.041	1.000	600	940	9.411
2027	4.447	1.674,75	1.093,05	1.050	630	987	9.882
2028	4.669	1.758,49	1.147,70	1.102,5	661,5	1.036,4	10.376
2029	4.902	1.846,41	1.205,09	1.157,6	694,6	1.088,2	10.894
2030	5.147	1.938,73	1.265,34	1.215,5	729,3	1.142,6	11.439

Para estimar el volumen de los materiales contenidos en los residuos electrónicos, se divide la masa (en toneladas) entre la densidad promedio correspondiente para cada tipo de material, expresada en toneladas por metro cúbico (Tn/m³). Este método es estándar para planificación de espacios, transporte y diseño de procesos en gestión de residuos.

Se utiliza la densidad promedio de remanentes indicada por el United Nations Environment Programme (UNEP) en su manual de gestión de residuos, el cual es una referencia aceptada en estudios ambientales. (Johnson, 2012)

Densidades utilizadas según UNEP:

- Plásticos: 1,0 Tn/m³
- Metales valorizables en chatarra: 4,5 Tn/m³
- Vidrios, cerámicos e inorgánicos: 2,3 Tn/m³
- Materiales peligrosos: 1,5 Tn/m³

TABLA XXVI: Volumen Estimado de Materiales Remanentes Anuales

Material	Toneladas (Tn)	Densidad (Tn/m³)	Volumen anual (m³)
Plásticos	5.147	1,0	5.147
Metales valorizables en chatarra	3.203	4,5	712
Vidrios, cerámicos e inorgánicos	1.945	2,3	846
Materiales peligrosos	1.144	1,5	381
Total			7.086

El volumen anual total proyectado para 2030 de residuos no tratados es de aproximadamente **7.086 m³**, resultante de la suma de los volúmenes individuales de cada fracción: plásticos (5.147 m³), metales valorizables en chatarra (712 m³), vidrios, cerámicos e inorgánicos (846 m³), y materiales peligrosos (381 m³).

Ante la falta de datos oficiales de estacionalidad mensual, se asume que la generación de residuos es uniforme a lo largo del año. Por ello, el volumen anual se divide por 12 para estimar el promedio mensual. Bajo este supuesto, **el volumen mensual estimado es de 590,5 m³ (≈ 591 m³)**.

4.4 Selección de Maquinaria y Equipos

La selección de la maquinaria y los equipos adecuados es un aspecto relevante para garantizar la seguridad y la viabilidad técnica del proceso. Esta etapa define la capacidad de procesamiento, la calidad de los materiales recuperados, los costos operativos, el consumo energético y el impacto ambiental de la planta.

Para ello, se consideran criterios como la naturaleza de los residuos a tratar, los volúmenes de procesamiento proyectados, la tecnología disponible en el mercado y la facilidad de operación y mantenimiento. La elección adecuada de cada máquina y equipo permite mejorar los flujos de trabajo, reducir pérdidas de material valioso y asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad vigentes.

4.4.1 Recepción y Clasificación de Residuos

- Infraestructura de almacenamiento: Capaz de manejar 4,1 toneladas diarias, espacio suficiente para garantizar flujo continuo y evitar acumulaciones.
- Equipos de separación manual/mecánica: Suficiente para separar PCBs, microprocesadores, y conectores. No se detalla cantidad fija, pero se dimensiona para evitar cuellos de botella.

4.4.2 Extracción de Microprocesadores y Conectores

- Reactores de vidrio borosilicato Across International R-200H (3 unidades): Capacidad útil de 200 litros por ciclo, tiempo de proceso de aproximadamente 2 horas. Su diseño con camisa permite un control térmico eficiente. Las 3 unidades en paralelo cubren con holgura una demanda de hasta 1,8 toneladas por día.
- Tanques HDPE para precipitación de $PbSO_4$ (1-2 unidades): 500 litros capacidad cada uno; 2 tanques para operación continua y mantenimiento.

-
- Filtros a vacío con membrana PTFE (2 unidades): Para manejar sólidos y filtrados diarios sin interrupción.
 - Sistemas de agitación (mínimo 2 unidades): Para asegurar homogeneidad en reacciones químicas.

4.4.3 Procesamiento de PCBs Despobladas

- Trituradora de doble eje (1 unidad): Capacidad de 400 kg/hora, cubre 3,2 toneladas por turno de 8 hs, suficiente para 2,28 toneladas diarias.
- Tanques HDPE para tratamiento químico y precipitación (4 unidades de 500L): Permiten realizar entre 3 y 4 lotes diarios sin demoras, que asegura continuidad y flexibilidad.
- Filtros a vacío con membrana PTFE (2 unidades): Para filtración acorde al volumen diario.
- Horno mufla eléctrico (4 unidades): Para fusión de metales incluyendo aleaciones, 20-25 kg por ciclo. Cuatro unidades permiten respaldo y continuidad.

4.4.4 Tratamiento de Fertilizantes

- Volumen total a tratar: Considerando que todos los líquidos generados en las etapas anteriores (sobrenadantes, filtrados, soluciones de precipitación, etc.) se integran en esta etapa, se estima un volumen total cercano a al menos 1.100 litros diarios (sumando capacidad de tratamientos químicos y recuperación)
- Tanques HDPE para quelación con EDTA y neutralización con NaOH:
 - Se requieren al menos 6 tanques de 500 litros cada uno para manejar el volumen acumulado diario con flexibilidad operativa, tratamiento por lotes y mantenimiento simultáneo sin detener la producción.
 - Estos tanques permiten tratar en paralelo los diferentes lotes líquidos derivados, que mantiene la capacidad para un flujo continuo.

- o Dimensiones aproximadas: 0,7 m diámetro x 1,2 m altura.

TABLA XXVII: Resumen de los Equipos Necesarios

Tratamiento	Equipo	Cantidad Requerida
Placas Electrónicas (PCBs)	Trituradora de doble eje	1
Conectores y Microprocesadores	Reactor de vidrio borosilicato	3
Fusión de metales	Horno mufla eléctrica (1200 °C)	4
Tratamiento de efluentes líquidos	Tanques de HDPE (500 L)	12

4.4.5 Descripción de los Equipos

A continuación, se detalla la selección preliminar de la maquinaria y los equipos principales necesarios para llevar a cabo las etapas críticas del proceso. El cuadro presenta las especificaciones técnicas, capacidades operativas, cantidades y referencias de mercado para cada equipo, como base para dimensionar la planta y estimar la inversión requerida.

TABLA XXVIII: Selección de Maquinaria y Equipos Principales

Equipo	Capacidad/ Especificaciones	Dimensiones	Cantidad	Precio Unitario	Ficha Técnica
Trituradora de doble eje	400 kg/hora (3,2 toneladas/turno de 8 h)	2 m largo × 1,5 m ancho	1 unidad	EUR 15.000	Anexo D
Reactores de vidrio borosilicato	200 L por reactor – 2 h por ciclo (3 ciclos/día)	1,22 m ancho × 1,04 m profundidad × 2,77 m altura	3 unidades	USD 19.900	Anexo E
Hornos mufla eléctricos (1200–1400 °C)	20–25 kg por ciclo – 1,5 h por ciclo	1 m ancho × 1 m profundidad × 1,5 m altura	4 unidades	USD 20.592	Anexo F
Tanques HDPE con sistema de agitación	500 L por tanque	0,7 m diámetro × 1,2 m altura	12 unidades	USD 2.968	Anexo G

4.4.6 Mercado Objetivo vs Producción Anual

Se proyecta un crecimiento anual del 5% en el volumen de residuos tecnológicos a procesar. Se considera tanto la expansión prevista de la empresa como la demanda creciente de materiales reciclados.

TABLA XXIX: Proyección de Mercado Objetivo y Producción Estimada (2026–2030)

Año	Au°		Ag°		Aleaciones		Fertilizantes Quelados	
	Mercado Objetivo (Kg)	Producción Anual Estimada (Kg)	Mercado Objetivo (Tn)	Producción Anual Estimada (Tn)	Mercado Objetivo (Tn)	Producción Anual Estimada (Tn)	Mercado Objetivo (Tn)	Producción Anual Estimada (Tn)
2026	979	5,629	180	0,202	66.804,0	127,9	121.536	358
2027	1.055	5,910	181	0,212	69.145,3	134,3	129.047	376
2028	1.093	6,206	151	0,223	71.571,8	141,1	137.022	395
2029	1.166	6,516	113	0,234	74.087,3	148,1	145.490	425
2030	1.166	6,842	77	0, 246	76.695,1	154,5	154.481	435

4.4.7 Planificación de Compras de Equipos

Para garantizar que la planta mantenga su capacidad operativa sin interrupciones ni cuellos de botella, se plantea un plan escalonado de adquisición de equipos. Cada incorporación se fundamenta con cálculos de capacidad instalada y proyecciones de aumento en la carga de trabajo con el objetivo de sostener niveles óptimos de procesamiento a lo largo del tiempo.

Año 2027

- ✓ Reactores de vidrio borosilicato: Se cuenta con 3 reactores, con una capacidad total combinada de aproximadamente 1,82 Tn/día (equivalente a 0,607 Tn/día por reactor). Considerando un incremento anual del 5%, la carga combinada derivada del tratamiento de conectores y microprocesadores se eleva a 1,91 Tn/día, superando la capacidad instalada. Por este motivo, **se propone la incorporación de un reactor adicional**, que aporte cerca de 0,607 Tn/día, lo que asegura así el flujo continuo de la etapa química de extracción.

-
- ✓ Tanques HDPE: Existen 12 tanques destinados al manejo de efluentes líquidos. El incremento de volumen generado por el aumento del 5% hace necesario **adicionar al menos un tanque más** para permitir almacenamiento y tratamiento simultáneo.

 - ✓ Hornos mufla: La planta dispone de 4 hornos mufla, cada uno con capacidad para fundir entre 20 y 25 kg por ciclo, realizando aproximadamente 5 ciclos diarios durante una jornada de 8 horas, lo que equivale a cerca de 0,125 Tn diarias por horno. Se prevé que el volumen anual de aleaciones para fundir crezca de 127,9 Tn a cerca de 154,5 Tn en 5 años, por lo que será necesario añadir hornos adicionales para garantizar la continuidad del proceso. Para los años siguientes al primero, se recomienda disponer de **al menos 5 hornos para cubrir la creciente demanda**.

Año 2029

- ✓ Trituradora doble eje: La capacidad de procesamiento por unidad es de 2,28 Tn/día de PCBs. Con el crecimiento acumulado, la carga diaria alcanza alrededor de 2,65 Tn/día, superando la capacidad de la trituradora existente. Por ello, **se proyecta la adquisición de una segunda unidad**.

- ✓ Reactor de vidrio borosilicato: Con la compra prevista para 2027, la planta contará con 4 reactores, que alcanza una capacidad combinada de 2,43 Tn/día. Sin embargo, el crecimiento proyectado eleva la carga a 2,54 Tn/día, por lo que se justifica **sumar un quinto reactor** para cubrir la demanda.

- ✓ Tanques HDPE: Tras la compra planificada en 2027, la planta dispondrá de 13 tanques. **Se proyecta la adquisición de un tanque adicional** para acompañar el incremento en el volumen de líquidos.

TABLA XXX: Plan Escalonado de Adquisición de Maquinaria y Equipos

Año	Trituradora Doble Eje	Reactores de Vidrio Borosilicato	Hornos Mufla	Tanques HDPE
2026	-	-	-	-
2027	-	1 unidad	1 unidad	1 unidad
2028	-	-	-	-
2029	1 unidad	1 unidad	-	1 unidad
2030	-	-	-	-

4.5 Análisis de Localización

La localización de la planta es un factor determinante para asegurar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto. La elección permite gestionar la logística de abastecimiento y distribución, reducir costos operativos y facilitar el acceso a recursos estratégicos como infraestructura, mano de obra calificada y redes de apoyo institucional y tecnológico.

En este apartado, se presenta un análisis de los criterios de macrolocalización y microlocalización, destacando las ventajas de situar la planta en la Provincia de Buenos Aires como punto de partida, con miras a una futura expansión hacia otras regiones del país que concentran altos volúmenes de generación de residuos electrónicos.

4.5.1 Macrolocalización

La elección de la Provincia de Buenos Aires como ubicación inicial para la planta se fundamenta en su relevancia demográfica, industrial y tecnológica. En primer lugar, Buenos Aires concentra aproximadamente el 40% de la población argentina y una parte considerable de la actividad productiva y tecnológica del país, que la posiciona como la principal generadora de RAEE. Esta alta densidad de generación asegura un flujo constante de insumos para el reciclaje, que mejora la logística de recolección y disminuye los costos de transporte.

La provincia cuenta con una infraestructura consolidada: red vial y ferroviaria extensa, cercanía a puertos marítimos de importancia (Puerto de Buenos Aires y Dock Sud) y accesibilidad a zonas industriales y logísticas como los parques industriales de Pilar, Zárate-Campana, La Plata y Bahía Blanca. Esta conectividad facilita la recepción de materiales desde distintas localidades y la distribución eficiente de los metales recuperados hacia clientes nacionales e internacionales.

Otro aspecto relevante es la disponibilidad de mano de obra calificada y de centros de investigación, universidades y organismos técnicos que permiten articular programas de

innovación, capacitación y mejoras continuas en procesos de reciclaje y tratamiento de residuos tecnológicos.

Además, Buenos Aires es pionera en iniciativas de economía circular y cuenta con marcos normativos que promueven la gestión responsable de residuos (Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, s.f.). Este entorno normativo y de políticas públicas propone condiciones más propicias para la consolidación de alianzas público-privadas y la obtención de incentivos fiscales y líneas de financiamiento sustentables.

Finalmente, la estrategia contempla la posibilidad de replicar este modelo en otras provincias, especialmente en centros urbanos con alto volumen de generación de RAEE, como Córdoba, Santa Fe y Mendoza. Esta expansión gradual permite reducir costos logísticos y fortalecer la red de abastecimiento nacional, en el que disminuye así la dependencia de la importación de metales críticos como oro y plata.

4.5.2 Microlocalización

Luego de definir la localización general de la planta de reciclaje dentro del área metropolitana de Buenos Aires, resulta necesario analizar la microlocalización, es decir, la selección específica del predio. Este análisis considera factores como la disponibilidad de infraestructura, accesos logísticos, cercanía a proveedores de RAEE, distancia a los centros de consumo de materiales recuperados, aspectos ambientales, normativas municipales y posibilidades de expansión futura.

Para llegar a tomar una decisión, se analizan las tres zonas más relevantes de la provincia de Buenos Aires: **Zona Sur** (Almirante Brown, San Vicente), **Oeste** (La Matanza, Moreno y Morón) y **Norte** (Pilar, Escobar, Campana, Tigre y Zárate). Todas estas zonas tienen ventajas que hacen característico su posible elección como, por ejemplo, las buenas redes de transporte para poder llegar a los RAEE o la proximidad a la demanda y proveedores. Sin embargo, también tienen desventajas que se deben afrontar como pueden ser los requerimientos regulatorios o los conflictos con los barrios residenciales.

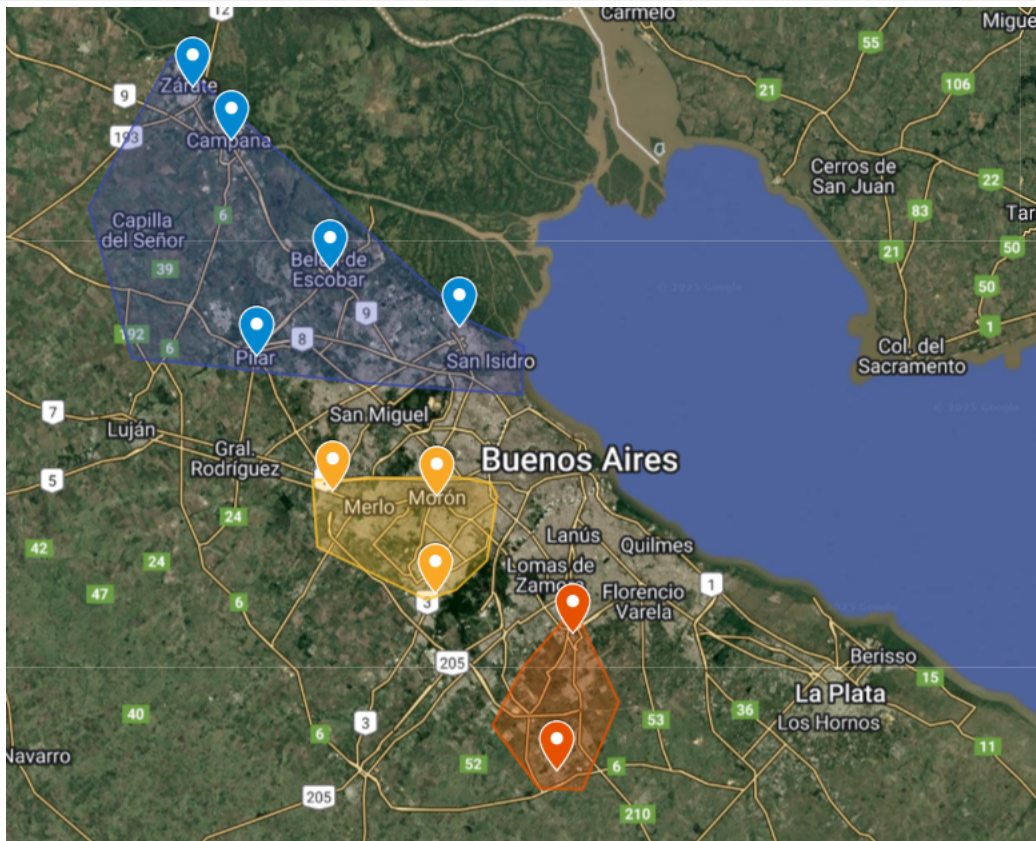


Figura 16: Áreas de estudio para localización de la planta.
Fuente: Elaboración Propia.

Se detalla cada zona por separado para poder identificar cuál es la más conveniente a lo largo del proyecto.

4.5.2.1 Zona Sur

La Zona Sur del Gran Buenos Aires (GBA) se caracteriza por ser un área industrial tradicional con una gran presencia histórica de industrias desde fines del siglo XIX. Esta zona abarca una extensa área que incluye partidos como Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Esteban Echeverría, Ezeiza, San Vicente, Presidente Perón, Almirante Brown, Quilmes, Berazategui y Florencio Varela.

Tanto Almirante Brown como San Vicente son distinguidos para la ubicación de la planta, ya que Almirante Brown, con una población de 584.827 habitantes, forma parte del segundo cordón del GBA, lo que implica una mayor densidad poblacional y, potencialmente,

una mayor generación de RAEE domésticos. San Vicente, con 98.215 habitantes, se ubica en el tercer cordón y presenta una menor densidad.

Una mayor población, como la de Almirante Brown, puede ofrecer mano de obra más amplia y una mayor proximidad a fuentes de residuos electrónicos residenciales. Sin embargo, esta cercanía a zonas pobladas también puede generar una mayor preocupación comunitaria y potencial oposición a la instalación de una planta de tratamiento de residuos peligrosos. Por el contrario, San Vicente, con una menor densidad, podría enfrentar menos resistencia local, pero su mercado laboral local podría ser más limitado.

Dentro de estos partidos, se debe destacar sus parques industriales:

Parque Industrial Burzaco (Almirante Brown)

- Uno de los parques más grandes y consolidados de la Zona Sur, con una superficie de 560 hectáreas y 262 empresas radicadas. (Parque Industrial Burzaco, 2025)
- La presencia de una empresa dedicada a la molienda, reciclaje de materiales y demolición dentro del parque es un indicio favorable, ya que sugiere que tanto el parque como las autoridades locales ya están familiarizados con operaciones de reciclaje. Esta experiencia previa podría llegar a facilitar los procesos de habilitación y la integración de una nueva planta de reciclaje.
- Está muy cerca de la línea Roca, que pasa por la Estación Burzaco (pocas cuadras del parque).
- No posee salida portuaria directa, pero está bien conectado por Camino de Cintura, Av. Calchaquí y otras arterias hacia Dock Sud o Puerto de Buenos Aires, a unos 30-35 km aproximadamente.
- Los costos de los terrenos industriales en Burzaco varían ampliamente, desde aproximadamente USD 73,4/m² para lotes muy grandes (109.000 m² a USD 8.000.000) hasta USD 139,5/m² para parcelas de 2.000 m² (USD 279.000), con fracciones centrales que alcanzan precios más elevados.

Parque Industrial San Vicente

- Este parque es un desarrollo más reciente, con 160 hectáreas, que se encuentra actualmente en comercialización de sus etapas 1, 2 y 3. (O'Keefe, 2025)
- Ofrece parcelas que van desde los 2.000 m² hasta los 17.000 m², lo que permite una gran flexibilidad para diferentes escalas de proyectos.
- Está ubicado estratégicamente sobre la Ruta Provincial N° 6, en el kilómetro 62, que une la zona de Zarate-Campana con la Ciudad de La Plata, y a metros de la rotonda de la Ruta Provincial N.º 58, que comunica con la Ciudad de Buenos Aires.
- Los costos de los lotes en San Vicente parten de USD 40/m², con precios específicos de lotes industriales desde USD 110.000. (O'Keefe, 2025)

A continuación, se presentan los principales criterios para evaluar cuál de los dos parques industriales representa la opción más conveniente para la instalación de la planta:

- **Disponibilidad y Costos de Terrenos Industriales.**
 - Ventajas: Ambos parques ofrecen terrenos de gran tamaño, adecuados para la instalación de una planta industrial. San Vicente presenta una oferta de lotes flexibles en tamaño y con precios iniciales competitivos. Burzaco, al ser un parque consolidado, tiene una amplia variedad de fracciones disponibles. (O'Keefe, 2025) (Parque Industrial Burzaco, 2025)
 - Desventajas: Los precios en Burzaco pueden ser elevados para fracciones de gran tamaño o ubicaciones centrales. San Vicente está aún en expansión, lo que puede generar incertidumbre en plazos y costos finales de infraestructura. (O'Keefe, 2025) (Parque Industrial Burzaco, 2025)
- **Zonificación y Usos del Suelo Permitidos**
 - Ventajas: La radicación en parques industriales simplifica la verificación de zonificación, ya que están designados para uso industrial. Almirante Brown cuenta con zonas "Industrial 1 (Industrial exclusiva)" e "Industrial 2 (Industrial limitada)". San Vicente se enmarca en la Ley 13.744 de Parques Industriales, lo que asegura

una zonificación industrial específica. (O'Keefe, 2025) (Municipalidad de Almirante Brown, 2004)

- Desventajas: No se especifica si la zonificación de estos parques permite explícitamente el tratamiento de residuos peligrosos como los PCBs, lo cual requeriría una confirmación directa con las autoridades municipales y del parque. Es importante recalcar que la zona industrial 2 en Almirante Brown tiene "restricciones en las industrias", lo que podría llegar a ser un problema. (Municipalidad de Almirante Brown, 2004)

- **Infraestructura de Transporte y Conectividad Vial, Ferroviaria y Marítimo**

- Ventajas: Burzaco se beneficia de la Ruta Provincial 4 (Camino de Cintura), una avenida interurbana que conecta múltiples distritos y arterias principales del AMBA. Se realizaron mejoras significativas en esta ruta, que incluye la construcción de colectoras y viaductos, lo cual mejora la conectividad. San Vicente está estratégicamente ubicado sobre la Ruta Provincial N°6, que actúa como el tercer anillo de circunvalación de CABA, conectando todas las rutas de acceso de norte a sur y evitando puntos de conflicto de tráfico. (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2025) (O'Keefe, 2025)
- Desventajas: A pesar de las mejoras, la Ruta 4 puede experimentar altos volúmenes de tráfico. Sin embargo, no se detalla la disponibilidad de acceso ferroviario directo para ambos parques, lo cual es relevante para el transporte de grandes volúmenes de materiales.

- **Servicios Básicos**

- Ventajas: El Parque Industrial San Vicente ofrece una lista completa de servicios: desagüe cloacal, internet, pavimento, teléfono, energía trifásica, agua potable y gas industrial. El Parque Industrial Burzaco, al ser un desarrollo consolidado, implica la existencia de servicios robustos. (O'Keefe, 2025) (GENROD, s.f.)
- Desventajas: En Burzaco, no se detalla la capacidad específica de estos servicios para una operación de alto consumo como una planta de reciclaje, lo que requeriría una verificación en el sitio.

-
- **Regulaciones Ambientales Específicas y Permisos Requeridos**
 - Ventajas: La Provincia de Buenos Aires cuenta con leyes específicas para la gestión de RAEE (Ley 14.321) así como para residuos especiales (Ley 11.720). Ambas mencionadas con detalle en el apartado 2.4 Regulaciones y Normativas.
 - Desventajas: Las ordenanzas municipales específicas de Almirante Brown y San Vicente para el tratamiento industrial de RAEE no están detalladas en la información, lo que requeriría una investigación adicional.

 - **Proximidad a Fuentes de Residuos Electrónicos y Puntos de Acopio**
 - Ventajas: Ambas áreas se encuentran dentro del GBA, que es una de las principales fuentes de generación de RAEE en el país. Almirante Brown cuenta con "Puntos de recepción" para RAEE y "Botellas de Amor"¹⁰ en diversas ubicaciones, incluyendo el área industrial de Burzaco, lo que facilita la recolección de materia prima. (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2022)
 - Desventajas: La eficiencia de la cadena de suministro de RAEE dependerá de la capacidad de la planta para establecer acuerdos con los puntos de acopio y grandes generadores, dado el esquema regulatorio actual.

 - **Disponibilidad de Mano de Obra Calificada y Centros de Formación**
 - Ventajas: Almirante Brown, con su alta población, ofrece un mercado laboral más amplio. La Zona Sur cuenta con instituciones como la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) con tecnicaturas en Química y el Instituto Superior Braun Menéndez con tecnicaturas en Logística, que podrían proveer personal técnico. También existen Centros de Formación Profesional (CFP) en Quilmes y Avellaneda.
 - Desventajas: El reciclaje de PCBs requiere personal calificado en tratamiento de residuos peligrosos, lo que implica capacitación adicional.

¹⁰ Iniciativa que recolecta plásticos de un solo uso dentro de botellas para reciclaje.

- **Incentivos Fiscales Provinciales y Municipales**

- **Ventajas:** La Provincia de Buenos Aires ha implementado la Ley 15.510/2024, que crea un Régimen Provincial de Inversiones Estratégicas, que ofrece exenciones parciales en impuestos como Inmobiliario, Ingresos Brutos y Sellos. Estos beneficios pueden incrementarse si la inversión se localiza en parques industriales o si contribuye a la sostenibilidad ambiental. Almirante Brown, como parte del Grupo III de desarrollo industrial, podría acceder a exenciones impositivas por siete años prorrogables hasta diez. (Provincia de Buenos Aires, 2008) (Provincia de Buenos Aires, 2024)
- **Desventajas:** Los incentivos fiscales específicos para "industria verde" en Almirante Brown o San Vicente no están detallados, más allá de los beneficios generales por inversión en sostenibilidad a nivel provincial. La aplicación de estos beneficios suele estar sujeta a la aprobación de proyectos y al cumplimiento de compromisos. (Provincia de Buenos Aires, 2024)

En conclusión, la Zona Sur ofrece parques industriales consolidados como Burzaco y desarrollos modernos como San Vicente. Almirante Brown (Parque Industrial Burzaco) se presenta como el área más relevante debido a su tamaño, la cantidad de empresas radicadas y la presencia de una actividad de reciclaje preexistente, lo que podría facilitar la integración de una nueva planta. Su conectividad vial es robusta, pero la densidad poblacional cercana podría requerir una gestión activa de la relación con la comunidad.

4.5.2.2 Zona Oeste

La Zona Oeste del Gran Buenos Aires comprende partidos como La Matanza, Tres de Febrero, Hurlingham, Morón, Ituzaingó, Merlo, Moreno, General Rodríguez y Marcos Paz. Es conocida por su desarrollo industrial consolidado y su ubicación estratégica entre las zonas sur y norte. Además, se caracteriza por ser la más poblada del conurbano y por su importante actividad industrial, ya que ofrece un acceso logístico favorable y una amplia base de mano de obra técnica, derivada de su población urbana y perfil productivo industrial.

La Matanza, Moreno y Morón son partidos destacados en la Zona Oeste. La primera de ellas es el partido más extenso y poblado del conurbano bonaerense, con 1.841.247 habitantes. Su gran tamaño y densidad poblacional la convierten en una fuente significativa de RAEE y un vasto mercado laboral. Por su parte, Moreno (576.632 habitantes) y Morón (331.183 habitantes) también albergan importantes polos industriales.

Dentro de estos partidos, se debe destacar sus parques industriales:

Parque Industrial La Matanza (Virrey del Pino)

- Está ubicado sobre la Ruta Nacional N° 3, km 42.500, en Virrey del Pino.
- Ofrece una amplia variedad de terrenos industriales, desde 3.311 m² hasta 490.000 m².
- Está próximo a la traza del Ferrocarril Belgrano Sur, el cual cruza La Matanza (Ramal González Catán) y conecta con Puente Alsina y zonas logísticas.
- Contiene acceso razonable al Puerto de Buenos Aires por Ruta 3 y Autopista Riccheri, a unos 35-40 km aprox.
- Los precios varían desde USD 195.000 por 3.458 m² (aproximadamente USD 56,4/m²) hasta USD 5.390.000 por 490.000 m² (aproximadamente USD 11/m²) para fracciones muy grandes.

Parque Industrial Franco del Oeste (Moreno)

- Se extiende sobre 55 hectáreas en Trujui, Moreno. (Asociación de Parques Industriales Argentinos, 2022)
- Cuenta con 23 lotes disponibles desde 2.000 m² hasta 20.000 m². (Asociación de Parques Industriales Argentinos, 2022)
- Los costos de los lotes parten de USD 425.850
- El parque admite industrias de primera, segunda y tercera categoría, sujetas a estudio previo.

Parque Industrial DECA Morón

- Está ubicado en Valentín Gómez 577, Haedo, Morón. (DECA, 2021)
- Se destaca por su seguridad de 24 horas los 7 días a la semana, y la posibilidad de producción continua. (DECA, 2021)

- Los precios de los terrenos industriales en Morón varían, con opciones de galpones y oficinas en alquiler, y naves industriales en venta.

Se procede a realizar la evaluación de criterios de los partidos:

- **Disponibilidad y Costos de Terrenos Industriales**

- Ventajas: La Matanza ofrece una gran variedad de tamaños de lotes, que incluye fracciones muy extensas, con precios competitivos por metro cuadrado para grandes superficies. Franco del Oeste también tiene lotes de tamaño considerable con opciones de financiación.
- Desventajas: Los precios en Morón pueden ser más elevados para naves industriales ya construidas. La disponibilidad de terrenos sin construir en parques más establecidos como DECA Morón no está detallada.

- **Zonificación y Usos del Suelo Permitidos**

- Ventajas: Los parques industriales en La Matanza y Moreno están zonificados para uso industrial, el cual admite industrias de diversas categorías. Esto facilita el proceso de habilitación para una planta de reciclaje. (La Matanza Gobierno)
- Desventajas: Es necesario confirmar si la zonificación específica de cada parque permite el tratamiento de residuos peligrosos (PCBs), ya que la información general sobre zonificación industrial no siempre lo detalla explícitamente.

- **Infraestructura de Transporte y Conectividad Vial, Ferroviaria y Marítimo**

- Ventajas: La Matanza se beneficia del Metrobús sobre la Ruta Nacional 3, que mejora significativamente los tiempos de viaje y la conectividad interna, beneficiando a 240.000 usuarios diarios. Franco del Oeste en Moreno tiene una conectividad con CABA y el interior del país a través del Acceso Oeste, Ruta 23 y Camino del Buen Ayre. Morón también cuenta con excelente accesibilidad a la Autopista del Oeste y al Ferrocarril General Sarmiento. Esta infraestructura de transporte es importante para la planta, ya que permite una logística eficiente tanto para la recolección de RAEE como para la distribución de los materiales

recuperados. La Matanza, al ser el partido más poblado y con una infraestructura de transporte en mejora, se posiciona estratégicamente para la recolección de residuos de origen doméstico y el acceso a un amplio mercado para los productos reciclados.

- Desventaja: Persisten problemas de congestión en vías principales de La Matanza. El gobierno menciona que "*comenzó la etapa hacia el modelo de acceso abierto ferroviario*" en general para trenes de carga, y mejoras en el F.C. Roca, pero no se especifica acceso directo al parque. (Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, 2025)

- **Servicios Básicos**

- Ventajas: Franco del Oeste ofrece energía eléctrica (media y baja tensión), fibra óptica, telefonía, calles pavimentadas, desagües pluviales e industriales, y agua subterránea. DECA Morón cuenta con red de fibra óptica, seguridad 24 horas, y red de gas natural con capacidad industrial. La Matanza, como municipio grande, dispone de servicios públicos como agua potable, drenaje y recolección de residuos. (DECA, 2021)
- Desventajas: La capacidad específica de los servicios para una planta de reciclaje necesitaría ser confirmada en cada parque.

- **Regulaciones Ambientales Específicas y Permisos Requeridos**

- Ventajas: La Matanza ha implementado el programa "Matanza Recicla" que aborda la gestión integral de diversas corrientes de residuos, incluyendo RAEE, y promueve la economía circular. Esto demuestra un compromiso municipal con la gestión de residuos (Municipio de La Matanza, 2025). Las leyes provinciales (Ley 14.321, Ley 11.720) y nacionales (Ley 24.051, Ley 25.670) aplican en toda la zona.
- Desventajas: No hay detalles claros sobre ordenanzas específicas para reciclaje de PCBs en Moreno o Morón.

- **Proximidad a Fuentes de Residuos Electrónicos y Puntos de Acopio**

- Ventajas: La Matanza, al ser el partido más poblado del GBA, representa una de las mayores fuentes de RAEE domésticos. La logística de recolección se estructura a

través de "Estaciones Sustentables", ubicadas en distintas localidades del partido, en los cuales se aceptan elementos pequeños. Sin embargo, para equipos de mayor tamaño, los generadores deben contactar al área de ambiente del municipio por correo electrónico o teléfono para coordinar un punto de entrega o un retiro programado y gratuito.

- Desventajas: Alta competencia por la materia prima debido a la densidad poblacional y otros gestores activos.

- **Disponibilidad de Mano de Obra Calificada y Centros de Formación**

- Ventajas: Universidades como Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM) y Universidad Nacional de Moreno (UNM) pueden aportar profesionales. Existen Centros de Formación Profesional (CFP) en Moreno y Morón, que ofrecen cursos relevantes para la industria.
- Desventajas: Puede requerirse capacitación específica adicional para reciclaje de PCBs.

- **Incentivos Fiscales Provinciales y Municipales**

- Ventajas: La Matanza ofrece beneficios impositivos destinados a industrias y PYMEs que se instalen en el partido y generen empleo local, como la exención total de tasas municipales vinculadas a la habilitación, construcción y seguridad e higiene. Además, las empresas radicadas en parques industriales dentro del municipio pueden acceder a exenciones de hasta el 100% en Ingresos Brutos y en el Impuesto Automotor por un período de cuatro años y medio. Por su parte, Morón cuenta con un programa de incentivos que contempla la exención completa del trámite de habilitación y la Tasa por Seguridad e Higiene durante el primer año de actividad. (Parque Industrial La Matanza, s.f.) (Municipio de La Matanza, s.f.)
- Desventajas: Los incentivos específicos para "industria verde" en Moreno no están detallados. En general, los beneficios municipales suelen tener límites de tiempo y exclusiones para grandes empresas. (Municipio de La Matanza, s.f.)

En síntesis, la Zona Oeste, especialmente el Partido de La Matanza, se destaca por su enorme volumen poblacional, lo que se traduce en una gran fuente de RAEE y una amplia disponibilidad de mano de obra. Las mejoras en infraestructura de transporte y los incentivos fiscales municipales para la radicación industrial y la generación de empleo son muy atractivos. La Matanza, al ser un centro de producción y trabajo, ofrece un ecosistema industrial diverso que podría facilitar sinergias y acceso a servicios complementarios. Su tamaño y centralidad en el GBA la hacen una ubicación estratégica para la recolección y distribución.

4.5.2.3 Zona Norte

La Zona Norte abarca partidos como Vicente López, San Isidro, San Fernando, Tigre, Escobar, Pilar, José C. Paz, Malvinas Argentinas y San Miguel. Esta región es el polo industrial más consolidado y sofisticado del Gran Buenos Aires con una red amplia de proveedores y beneficios fiscales atractivos para grandes inversiones industriales. Aunque la Zona Norte ofrece un entorno robusto y competitivo para industrias de alto valor agregado, también se enfrenta a precios elevados de terrenos industriales, saturación de espacios y normativas más exigentes que pueden dificultar trámites de habilitación.

Pilar, Escobar, Campana, Tigre y Zárate son ciudades y partidos relevantes en la Zona Norte. Pilar (394.754 habitantes) y Escobar (256.268 habitantes) son parte del tercer cordón y albergan importantes polos industriales. Campana y Zárate son ciudades con una fuerte tradición industrial y portuaria, ubicadas estratégicamente en el cordón industrial del río Paraná.

En esta zona, se deben resaltar sus parques industriales:

Parque Industrial Pilar

- Está ubicado en el km 50 de la Panamericana (Ruta Nacional 8)
- Es uno de los polos industriales más importantes de Argentina.
- No cuenta con ramal interno propio, pero está relativamente cerca del Ferrocarril General San Martín, que conecta la zona norte del GBA con Retiro y provincias del interior.
- No tiene puerto directo, pero su ubicación estratégica en el norte del GBA permite conexión con el Puerto de Buenos Aires a unos 60-70 km (dependiendo del acceso vial).

- Ofrece lotes con precios competitivos, como USD 70/m² para parcelas de 6 hectáreas y lotes de 5.000 m² por USD 55.000

Plaza Industrial Escobar

- Está situado en el km 57,5 de la Autopista Panamericana (Ruta Nacional 9)
- Se extiende sobre 126 hectáreas y ofrece acceso exclusivo desde la autopista.
- Es considerado uno de los parques industriales más modernos y tecnológicos de Argentina.
- Los precios de los lotes industriales pueden ser desde USD 120/m² para parcelas de 4.000 m² hasta USD 2000/m² para lotes de 30.000 m²

Parque Industrial Campana

- Está ubicado en el km 70,4 de la Ruta Nacional 9.
- Tiene 450 hectáreas, el cual combina conectividad multimodal y sostenibilidad.
- Ofrece exenciones de impuestos de Ingresos Brutos e Inmobiliario por hasta diez años bajo la Ley 10.547 de Promoción Industrial.
- Los precios de los terrenos industriales en Campana pueden variar, con un lote de USD 813.000 en el corredor Norte.

Parque Industrial Tigre

- Está situado en Austria Norte 1700 y 1800.
- Es un espacio clave para la expansión empresarial con 90 hectáreas de predio.
- Ofrece infraestructura moderna y conectividad fluida con centros de consumo a través de la autopista Panamericana.
- Las empresas pueden acceder a exenciones de Impuesto a los Ingresos Brutos, Impuesto Inmobiliario y patentes de vehículos bajo la Ley 13.656.
- La proximidad al Delta del Paraná puede ser un factor para atraer y retener talento.

Centro Logístico Industrial Planificado (CLIP) Zárate

- Está ubicado sobre el Camino de la Costa Brava, a 3 minutos del km 90 de la Autopista Panamericana (Ruta 9).
- Ofrece lotes industriales desde 1.000 m² hasta 4.800 m².

- Se presenta como un nodo estratégico con conexión directa al AMBA, el norte del país y los principales puertos.

Nuevamente, se realiza la evaluación de criterios:

- **Disponibilidad y Costos de Terrenos Industriales**

- Ventajas: La Zona Norte ofrece una amplia disponibilidad de terrenos en parques industriales modernos y bien planificados. Pilar, Escobar y Campana tienen lotes de diversos tamaños a precios competitivos, especialmente para grandes superficies.
- Desventajas: Los precios por metro cuadrado en algunos parques pueden ser más altos debido a la infraestructura premium y la ubicación estratégica.

- **Zonificación y Usos del Suelo Permitidos**

- Ventajas: Los parques industriales de la Zona Norte están diseñados para uso industrial, lo que simplifica la aprobación de proyectos. (Plaza Industrial Escobar, 2025)
- Desventajas: Al igual que en otras zonas, se requiere una confirmación específica de que la zonificación permite el tratamiento de residuos peligrosos.

- **Infraestructura de Transporte y Conectividad Vial/Ferroviaria**

- Ventajas: La Zona Norte es un centro logístico con excelente conectividad. Pilar y Escobar están sobre la Panamericana (Ruta 8 y Ruta 9, respectivamente). Campana y Zárate se ubican en el corredor industrial del Río de la Plata y el Río Paraná con acceso a la Ruta Nacional 9 y la Ruta Nacional 12 (que conecta con el Mercosur a través del Puente Zárate-Brazo Largo). El Puerto La Plata, cercano a Campana y Zárate, ofrece infraestructura de primer nivel con servicio ferroviario propio y acceso para buques de gran calado. Esta conectividad multimodal es una ventaja competitiva significativa para la planta, permitiendo no solo la recolección eficiente de RAEE, sino también la exportación de materiales reciclados de alto valor. (Plaza Industrial Escobar, 2025)

- Desventajas: La alta concentración industrial y logística puede generar congestión en las rutas principales.
- **Servicios Básicos**
 - Ventajas: Los parques de la Zona Norte ofrecen infraestructura moderna y completa. Pilar cuenta con energía eléctrica, gas natural, internet de banda ancha, desagües pluviales y sanitarios, y sistema contra incendios. Escobar ofrece agua industrial y potable, iluminación LED, fibra óptica, red cloacal y balanza. Campana dispone de energía trifásica, gas natural de alta presión y desagües industriales que vuelcan al Río Paraná. Tigre cuenta con energía de media tensión, pavimento de hormigón, agua de alto caudal e internet de banda ancha.
 - Desventajas: La demanda de energía y agua para la planta podría ser alta, por lo que se necesita confirmar la capacidad disponible en cada parque.
- **Regulaciones Ambientales Específicas y Permisos Requeridos**
 - Ventajas: Municipios como Escobar implementaron campañas de recolección de RAEE, por lo que trabajan con cooperativas y empresas especializadas para su tratamiento seguro. Campana cuenta con una Ordenanza para un Centro de Clasificación y Acopio de materiales reciclables. Mientras que, Zárate tiene un programa RAEE, cuyo fin trata sobre la recolección de estos dispositivos.
 - Desventajas: No se detallan ordenanzas municipales específicas para el tratamiento industrial de PCBs en los partidos, lo que requiere una investigación más profunda.
- **Proximidad a Fuentes de Residuos Electrónicos y Puntos de Acopio**
 - Ventajas: La presencia de puntos de recolección y programas municipales en Escobar y Zárate facilita el acceso a la materia prima. En Pilar, la gestión de residuos, incluyendo los RAEE, se enmarca en un plan provincial y municipal. El municipio ha establecido puntos de transferencia fijos y móviles en diversas localidades como Pinazo, La Lonja, Villa Rosa, Derqui y Pilar Centro. Aunque estos puntos se mencionan principalmente para residuos áridos y verdes (escombros y

poda), la Agencia de Residuos de Pilar busca perfeccionar la recolección y reducir distancias para una mejor prestación de servicios. (Municipalidad de Zárate, 2024)

- Desventajas: La competencia por los residuos podría ser un factor que considerar.

- **Disponibilidad de Mano de Obra Calificada y Centros de Formación**

- Ventajas: Hay una gran oferta educativa técnica: Universidad Nacional de Luján (UNLU) en San Miguel, Centros de Formación Profesional (CFP) en Zárate y San Martín. A su vez, está la presencia de industrias automotrices que fortalecen la base técnica.
- Desventajas: A pesar de la oferta, la escasez general de mano de obra calificada en el GBA podría requerir programas de formación específicos para el reciclaje de PCBs.

- **Incentivos Fiscales Provinciales y Municipales**

- Ventajas: La Provincia de Buenos Aires ofrece el Régimen Provincial de Inversiones Estratégicas (Ley 15.510/2024) con exenciones, estabilidades fiscales, y beneficios adicionales para inversiones en parques industriales y sostenibilidad ambiental. Pilar, como parte del Grupo III de desarrollo industrial, puede acceder a exenciones impositivas por hasta siete años con posibilidad de extensión a diez años. El Parque Industrial Pilar ofrece beneficios fiscales para la industria, como exención del 50% para MiPymes o proyectos tecnológicos/sustentables. El Parque Industrial Campana ofrece hasta diez años de exención de Impuestos de Ingresos Brutos e Inmobiliario, y exención de tasas municipales. Por último, Tigre también ofrece beneficios fiscales significativos bajo la Ley 13.656.
- Desventajas: La obtención de estos incentivos está sujeta a la aprobación de proyectos y al cumplimiento de requisitos específicos. Los incentivos para "industria verde" pueden variar en su alcance y duración.

En resumen, La Zona Norte, y en particular el Partido de Pilar, se posiciona como el área más relevante. Su estatus como un polo industrial de importancia nacional, con una alta concentración de empresas y una infraestructura de servicios completa, lo hace altamente

atractivo. Los incentivos fiscales ofrecidos a nivel provincial y los beneficios específicos para la radicación en parques industriales, incluyendo aquellos para la industria tecnológica y sustentable, son un factor decisivo. La presencia de centros de reciclaje existentes y una base de mano de obra técnica robusta complementan su perfil. La conectividad vial es excelente, y la proximidad a CABA y otras áreas de generación de RAEE es favorable.

4.5.2.4 Matriz de Evaluación Ponderada de Microlocalización

Luego de analizar todos los factores y construir la matriz de microlocalización (TABLA XXXI), se observa que el Parque Industrial Pilar obtuvo el mayor puntaje, por lo que se determina que la locación de la planta será en este partido.

Su infraestructura moderna y completa reduce riesgos operativos, mientras que su excelente conectividad logística facilita tanto la recolección de RAEE como la distribución de los materiales recuperados. A estos elementos se suman incentivos fiscales provinciales y específicos para proyectos sostenibles, que representan un alivio económico en la etapa inicial de inversión.

El entorno industrial consolidado, la existencia de iniciativas de reciclaje similares y la disponibilidad de mano de obra calificada refuerzan la viabilidad del proyecto en esta zona. Además, la distancia respecto de áreas residenciales de alta densidad disminuye potenciales conflictos comunitarios asociados a la operación de una planta de tratamiento de residuos especiales.

Si bien en la Zona Oeste del GBA cuentan con alta disponibilidad de RAEE y estímulos fiscales más atractivos, el contexto industrial, la infraestructura y la previsibilidad operativa convierten al Parque Industrial Pilar en una opción destacada para promover el desarrollo de una actividad estratégica en el marco de la economía circular.



Figura 17: Parque Industrial Pilar.
Fuente: Plaza Industrial.

Para mayor detalle del Parque Industrial Pilar, se recomienda leer el Anexo H.

TABLA XXXI: Matriz de Evaluación Ponderada de Microlocalización

Matriz de Evaluación Ponderada de Microlocalización									
Factores Clave	Peso	Subfactores	Peso Ponderado	Parque Industrial Burzaco (Almirante Brown)		Parque Industrial La Matanza (Virrey del Pino)		Parque Industrial Pilar (Fátima)	
				Rating	Puntaje	Rating	Puntaje	Rating	Puntaje
Materia Prima	0,20	Disponibilidad	0,10	3	0,3	4	0,4	3	0,3
		Logística de Recolección	0,10	2	0,2	3	0,3	3	0,3
Terrenos Industriales	0,20	Disponibilidad de Lotes	0,06	4	0,24	4	0,24	4	0,24
		Transporte y Acceso	0,04	2	0,08	3	0,12	4	0,16
		Zonificación y Uso del Suelo Permitido	0,04	2	0,08	3	0,12	4	0,16
		Costos de Lotes	0,06	3	0,18	4	0,24	2	0,12
Servicios	0,15	Energía Eléctrica	0,05	2	0,1	3	0,15	4	0,2
		Gas Industrial	0,03	2	0,06	3	0,09	4	0,12
		Agua Potable	0,03	2	0,06	3	0,09	4	0,12
		Desagüe/ Drenaje	0,02	2	0,04	3	0,06	4	0,08
		Comunicación	0,02	2	0,04	3	0,06	4	0,08
Vías de Comunicación	0,15	Marítima	0,03	3	0,09	3	0,09	3	0,09
		Rutas	0,07	3	0,21	2	0,14	4	0,28
		Ferrocarril	0,05	3	0,15	2	0,1	2	0,1
Marco Legal	0,15	Leyes y Normas	0,04	3	0,12	3	0,12	3	0,12
		Incentivos Fiscales/ Municipales	0,06	2	0,12	4	0,24	3	0,18
		Regulaciones RAEE/PCBs	0,05	1	0,05	2	0,1	2	0,1
Socio-Cultural	0,15	Ciudades Cercanas	0,02	2	0,04	1	0,02	4	0,08
		Escuelas Técnicas	0,03	2	0,06	3	0,09	4	0,12
		Formación Profesional	0,04	3	0,12	2	0,08	4	0,16
		Percepción Comunitaria	0,06	3	0,18	4	0,24	4	0,24
Total	1		1		2,5		3,1		3,4

4.5.3 Terreno Seleccionado

Una vez definido el Parque Industrial Pilar como ubicación, se elige el siguiente terreno en el cual se conforma la planta.



Figura 18: Ubicación del Terreno en el Parque.
Fuente: Agustín Mieres Negocios Inmobiliarios.



Figura 19: Lote Seleccionado.
Fuente: Agustín Mieres Negocios Inmobiliarios.

El lote se ubica en Calle 5 N.º 1149 del Parque, con un valor de USD 2.457.000. Esta localización sobre una vía interna principal garantiza una circulación fluida y un fácil acceso para el transporte pesado, ya que conecta de forma directa con la Avenida Presidente Frondizi (Ruta 8) y se encuentra muy próximo a la intersección con Calle Del Canal, uno de los corredores más transitados del predio. Además, lo sitúa próximo a importantes empresas industriales con firmas en los sectores plástico, químico, metalúrgico y logístico. (Agustin Mieres Negocios Inmobiliarios, 2025)

Sus medidas aproximadas son 127 metros de frente por 148 metros de profundidad, estableciendo una superficie aproximada de 18.800 m²

TABLA XXXII: Medidas Aproximadas del Lote

Límite	Medida Aproximada	Observaciones
Oeste	148 m	Lateral largo
Norte	127 m	Frente principal sobre Calle 5
Sur	127 m	Contrafrente
Este	148 m	Lateral largo
Perímetro Total	550 m	Suma de todos los lados
Superficie Total	18.798 m² ≈ 1.88 ha	Producto de largo × ancho
Distancia Total	550 m	Recorrido perimetral completo

4.6 Lay-Out

En este apartado se presenta la organización de la planta, incluyendo la disposición de los sectores productivos, los servicios auxiliares, la dotación de personal, el flujo de trabajo y el cálculo de las áreas mínimas. Todos los espacios proyectados cumplen con los requisitos de higiene y seguridad establecidos por la Resolución SRT 801/2015, el cual asegura que la superficie disponible en cada sector supera los valores mínimos exigidos para garantizar condiciones adecuadas de trabajo, circulación y evacuación. (SuperIntendencia de Riesgos del Trabajo, 2015)

4.6.1 Plano General

El plano general de la planta muestra la implantación de los sectores operativos, las áreas auxiliares y las circulaciones. Todas las cotas están expresadas en metros (m), lo que permite interpretar con precisión las dimensiones y relaciones espaciales de cada área.

Si bien el espesor de los muros no se representa mediante cotas específicas en el layout, se adopta un valor uniforme de 0,20 m para todas las paredes. El plano correspondiente se presenta en la Figura 20.

La organización del layout se diseña con el objetivo de garantizar:

1. Flujo continuo de materiales desde la entrada de camiones hasta la salida de productos terminados.
2. Accesibilidad y maniobra segura para vehículos pesados en las zonas de carga y descarga.
3. Separación física entre áreas de procesos productivos, almacenamiento y servicios auxiliares (oficinas, comedor, vestuarios).

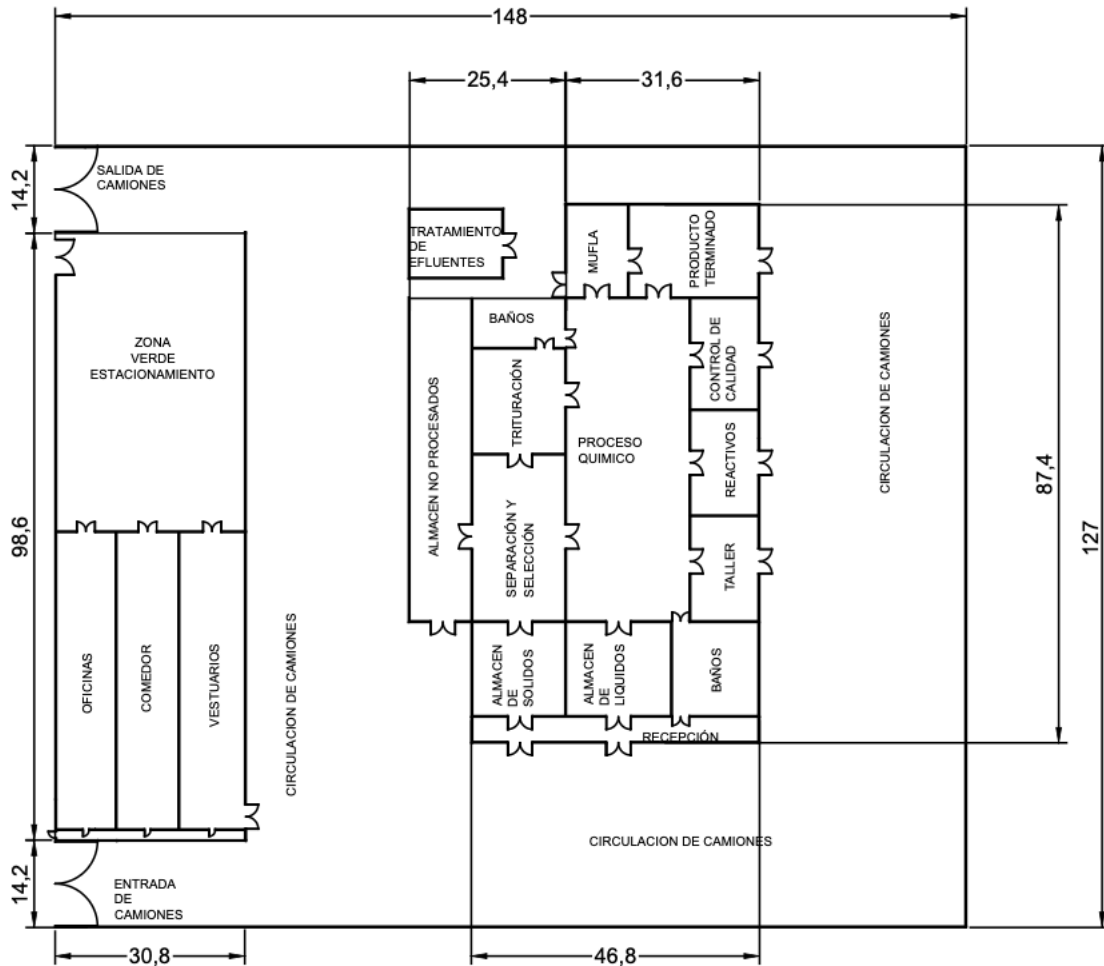


Figura 20: Plano General de la Planta.
Fuente: Elaboración Propia mediante AutoCAD

4.6.2 Sectores Productivos y de Almacenamiento

Los sectores productivos y de almacenamiento cuentan con superficies mayores a las mínimas requeridas, lo que asegura seguridad y eficiencia en las operaciones. Esta planificación también permite futuras ampliaciones y el cumplimiento de la normativa vigente.

4.6.2.1 Clasificación y Desarme RAEE

Este sector cuenta con una superficie de 459 m², frente a un área mínima calculada de 108 m². El cálculo se fundamenta en seis mesas de desarme de 2×1 m (12 m²), pasillos de trabajo y circulación (60 m²) y cintas transportadoras con espacio para maniobras de montacargas (36 m²).

La diferencia disponible permite habilitar tanto la separación manual como semiautomática, con capacidad para instalar múltiples líneas de procesamiento de forma segura.

4.6.2.2 Trituración RAEE

La trituración se desarrolla en un área de 255 m², mientras que el área mínima necesaria es de 50 m². Este cálculo contempla el espacio para una trituradora de doble eje (15 m²), una tolva de carga y descarga (10 m²) y pasillos de seguridad (25 m²).

El espacio sobrante previsto en el plano asegura la posibilidad de incorporar nuevas trituradoras en el futuro.

4.6.2.3 Proceso Químico (Reacción/Química Húmeda)

El proceso químico ocupa una superficie de 1.058,5 m² en el plano, cuando el área mínima calculada es de 114 m². Dicho valor corresponde a la instalación de tres reactores de vidrio de 200 L con bombas (30 m²), doce tanques de HDPE de 500 L (24 m²) y pasillos con áreas de contención secundaria (60 m²).

El sobredimensionamiento garantiza seguridad en las operaciones, la posibilidad de paralelizar lotes y realizar ampliaciones futuras.

4.6.2.4 Hornos Mufla (Tratamiento térmico/Aleaciones)

El espacio destinado a hornos mufla contempla 150 m², frente a un área mínima requerida de 54 m². Este cálculo surge de la disposición de cuatro hornos mufla (16 m²), la zona de carga/descarga y enfriamiento (20 m²) y pasillos de seguridad (18 m²).

El excedente permite incorporar hornos adicionales y mejorar la ventilación general del sector.

4.6.2.5 Almacén de Reactivos (Sólidos Químicos)

El almacén de reactivos sólidos presenta una superficie de 187 m², mientras que el área mínima calculada es de 88 m². Esta necesidad mínima responde a las estanterías de almacenamiento (40 m²) y una esclusa¹¹ de acceso con pasillos de seguridad (48 m²). El área

¹¹ Recinto de acceso intermedio que actúa como barrera de seguridad, que regula el ingreso a zonas restringidas o de riesgo y reduce la posibilidad de contaminación o exposición.

extra disponible asegura la correcta rotación de insumos químicos y el cumplimiento de la normativa vigente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017)

4.6.2.6 Almacén de Sólidos (RAEE entrantes)

Este sector dispone en el plano de 234,1 m², mientras que el área mínima calculada es de 100 m², compuesta por espacio para jaulas y pallets (60 m²) y pasillos de maniobras (40 m²).

El diseño final contempla un sistema de almacenamiento en racks de doble altura, lo que permite apilar los pallets de residuos electrónicos en dos niveles, aprovechando el espacio disponible.

4.6.2.7 Almacén de No Procesados

El almacén de no procesados tiene una superficie proyectada de 524 m², frente a un mínimo calculado de 200 m². El valor base surge de la disposición de plásticos, vidrios y chatarras (120 m²) y pasillos de maniobras (80 m²).

La diferencia en el plano garantiza espacio para acopiar fracciones no valorizables hasta su disposición final o envío externo.

4.6.2.8 Almacén de Líquidos Ácidos

El área asignada al almacenamiento de líquidos ácidos es de 261,4 m², con un área mínima calculada de 56 m². Este valor incluye el espacio para tanques HDPE de 500 L (24 m²), cubetos de contención (16 m²) y pasillos de inspección (16 m²).

El sobredimensionamiento responde a exigencias de segregación química y contención secundaria.

4.6.2.9 Productos Terminados

El área destinada a productos terminados tiene una superficie de 315 m², mientras que el mínimo calculado es de 196 m². Dicho valor contempla el espacio para pallets de metales y aleaciones (100 m²), una zona de consolidación y carga (60 m²) y pasillos de maniobras (36 m²).

La diferencia de superficie permite el acopio temporal de metales recuperados y fertilizantes quelados hasta su distribución.

4.6.3 Servicios Auxiliares

Las áreas de servicios para el personal son diseñadas para contemplar las necesidades de capacidad, confort y normativa vigente. Vestuarios, oficinas y comedor cuentan con dimensiones adecuadas que garantizan higiene, seguridad y funcionalidad, lo que permite un entorno laboral seguro y cómodo para trabajadores y administrativos.

4.6.3.1 Vestuarios

El área de vestuarios está diseñada para una dotación de hasta 33 personas por turno (27 operarios de planta y entre 6 y 8 administrativos), lo que requiere una superficie mínima de 50 m². Este espacio contempla la separación por género, duchas, sanitarios y *lockers* individuales.

La superficie responde a lo estipulado en el Decreto 351/79, lo que certifica condiciones adecuadas de higiene y seguridad para los trabajadores antes y después de cada turno. (Gobierno de la República Argentina, 1979)

4.6.3.2 Oficinas

Las oficinas administrativas están dimensionadas para 6 personas, con un área estimada de 80 a 100 m².

El cálculo considera espacios privados de entre 10 y 12 m² por persona, así como sectores compartidos con un promedio de 6 a 8 m² por puesto. Este diseño permite disponer de áreas diferenciadas para gerencia, administración y recursos humanos.

4.6.3.3 Comedor

El comedor de la planta está proyectado para atender a un máximo de 33 personas, con uso escalonado en los distintos turnos de descanso.

Se estima un área de 40 a 50 m², con mobiliario móvil, cocina ligera y circulación interna adecuada. Este diseño garantiza confort y seguridad alimentaria para el personal en cada jornada laboral.

4.6.4 Dotación de Personal y Organización Operativa

La dotación de personal es planificada en función de la capacidad productiva, la seguridad de los procesos y el cumplimiento de la normativa. **La estructura contempla un total de 33 personas por turno**, distribuidas entre operarios de planta, personal de apoyo y

áreas administrativas y gerenciales. Esta disposición cumple la cobertura de todas las etapas del proceso.

Como se observa en la TABLA XXXIII, el total de 33 personas por turno se distribuye en 27 operativos de planta y 6 administrativos/gerenciales, lo que certifica la cobertura de todas las áreas productivas y de soporte.

TABLA XXXIII: Dotación de Personal por Área

Categoría	Área/Función	Cantidad de Personas
Producción y Operación Directa (27)	Clasificación y Desarme de RAEE	7 (6 operarios + 1 supervisor)
	Trituración	2
	Proceso Químico (reactores)	3
	Hornos Mufla	3
	Tratamiento de Efluentes	1
	Almacenes (reactivos y productos)	1
	Control de Calidad (QC)	1
	Mantenimiento	2
	Limpieza Industrial	1
	HSE / Medio ambiente	1
	Jefe de Planta	1
	Administración interna / logística turno	1
Recepción y patio (descarga, montacargas, apuntador)	3	
Subtotal Producción		27
Administrativos y Gerenciales (6)	Recursos Humanos	2
	Gerencia General	1
	Gerencia Administrativa/Finanzas	1
	Soporte Administrativo/Compras/Proveedores	2
Subtotal Administración		6
Total General		33

A partir del resumen numérico presentado, en la Figura 21 se muestra un organigrama que representa la estructura jerárquica y las relaciones funcionales entre los distintos puestos de la planta.

En este esquema, la Gerencia Administrativa y Finanzas integra tanto la gestión interna como el control financiero, el cual permite visualizar la coordinación entre las áreas de Producción, Soporte operativo y Administración/RR.HH., así como la dependencia de cada puesto dentro de la organización.

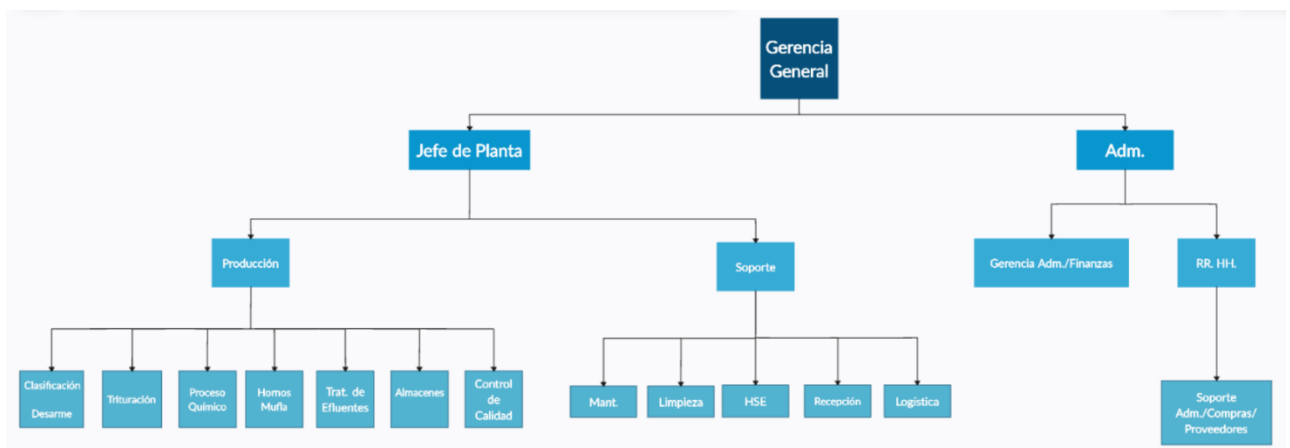


Figura 21: Organigrama de la Planta.

Fuente: Elaboración Propia mediante LucidChart (LucidChart, s.f.)

4.6.5 Flujo de Trabajo

En la Figura 22, se representan los distintos flujos de materiales mediante un sistema de codificación cromática en el cual se visualiza con claridad los recorridos dentro de la planta:

1. **Flujo gris:** Corresponde a la entrada, salida y desplazamiento perimetral de unidades de transporte de carga, que realizan las operaciones de abastecimiento y despacho. Se contemplan calles de maniobra con anchos adecuados para permitir la circulación en un único sentido y evitar interferencias con las operaciones internas.
2. **Flujo amarillo:** Representa el ingreso de insumos y reactivos necesarios para el proceso. Estos son trasladados hacia los almacenes específicos de sólidos o líquidos,

previo a su dosificación en las etapas de operación correspondientes.

3. **Flujo marrón:** Identifica el ingreso de RAEE sin procesar, que son acopiados en el área de Almacenamiento de no procesados antes de su derivación a trituración, separación y selección.
4. **Flujo verde lima – Productos intermedios:** Señala los materiales resultantes de las etapas de trituración, clasificación y procesos químicos que requieren etapas posteriores de tratamiento para alcanzar especificaciones de calidad. Estos productos circulan entre las áreas de separación, proceso químico y mufla.
5. **Flujo rojo:** Corresponde a los subproductos líquidos y sólidos no valorizables que son enviados al sector de tratamiento de efluentes. Allí se aplican procesos fisicoquímicos para endosar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente antes de su disposición.
6. **Flujo verde:** Representa la salida de materiales recuperados y valorizados hacia el área de producto terminado, desde donde se gestiona su expedición a clientes o distribuidores.

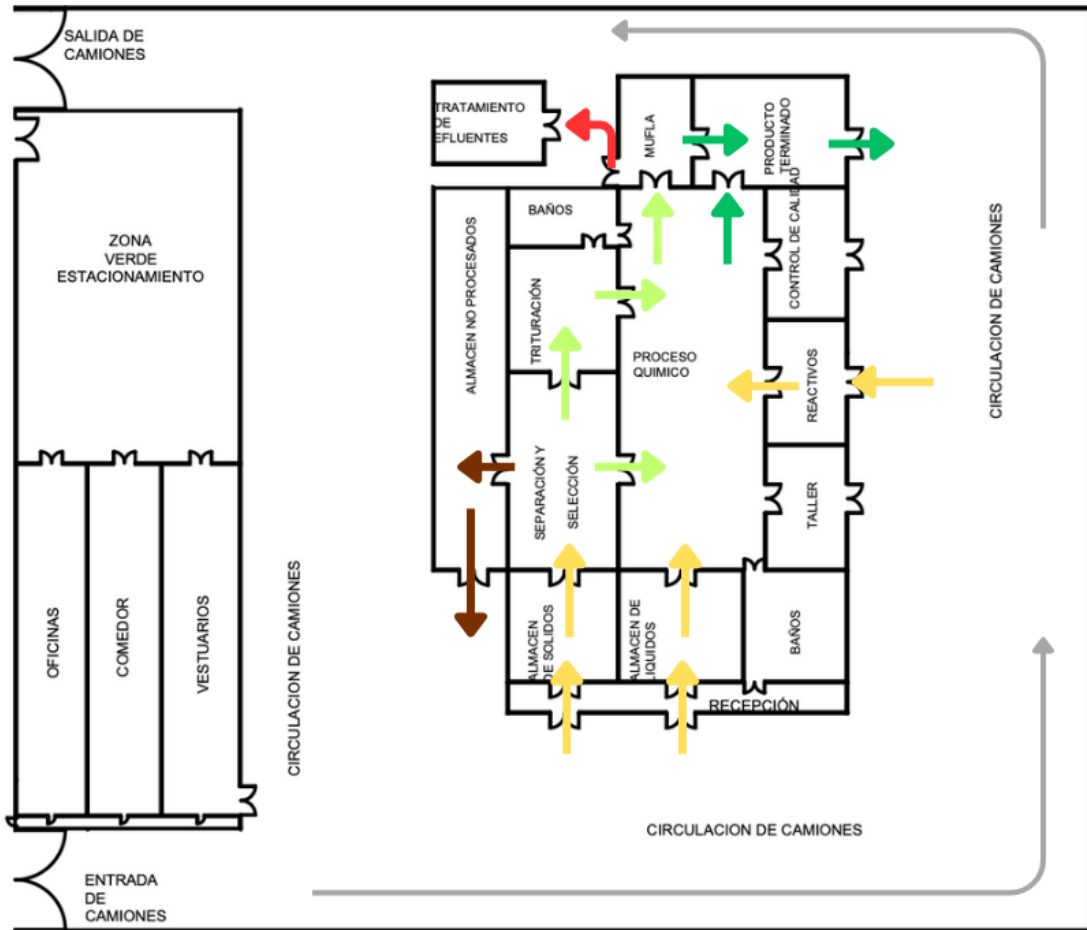


Figura 22: Flujo de Trabajo
Fuente: Elaboración Propia mediante AutoCAD.

4.6.6 Cálculo de Áreas Mínimas y Acopio

Las superficies mínimas de cada sector se calcularon a partir del equipamiento necesario, los pasillos de seguridad para el personal y la cantidad de trabajadores requeridos en cada área. El espacio adicional contemplado garantiza condiciones de seguridad, facilita las maniobras de operación y permite un acopio inmediato de materias primas, lo cual favorece el desarrollo continuo de los procesos productivos sin interrupciones.

En conjunto, la superficie destinada al acopio inmediato de materias primas se estima en **1.332 m²**, lo que proporciona capacidad suficiente para mantener la disponibilidad de insumos y operar de manera eficiente.

4.7 Consideraciones Finales

El estudio realizado en este capítulo permite definir en detalle las condiciones técnicas necesarias para el establecimiento de la planta de RAEE en Argentina. A partir del dimensionamiento de insumos, materias primas, equipos y procesos, se comprueba la factibilidad de implementar un sistema integral de tratamiento que avale la recuperación de metales y subproductos con valor industrial. La caracterización de los procesos muestra que, bajo parámetros adecuados de operación, es posible alcanzar una recuperación eficiente de materiales estratégicos, reduciendo al mismo tiempo los volúmenes de desechos destinados a disposición final.

El análisis no solo evidencia la viabilidad técnica del proyecto, sino también su relevancia en términos ambientales. La propuesta incorpora prácticas de gestión orientadas a la prevención de la contaminación, la minimización de residuos secundarios y la seguridad operativa. De este modo, el diseño planteado contempla medidas de control y de adecuación tecnológica que refuerzan el carácter sostenible del proyecto y permiten anticipar su integración con un sistema de monitoreo ambiental en etapas posteriores.

En síntesis, este capítulo consolida la factibilidad técnica del proyecto, el cual muestra que el reciclaje de RAEE no solo es realizable, sino también estratégico para el país. La implementación de esta planta permite responder a una problemática creciente de residuos electrónicos, aportar valor económico mediante la recuperación de metales de interés industrial, y, al mismo tiempo, contribuir a la transición hacia una economía más sustentable y alineada con las demandas ambientales contemporáneas.

CAPÍTULO V
EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta que ayuda a autenticar que los proyectos se desarrollen de manera sostenible, en el que se consideran los posibles efectos en el entorno natural y social. Este proceso implica analizar el estado inicial del ambiente, identificar y valorar los impactos potenciales, y establecer medidas para mitigar aquellos negativos.

Además, se enmarca en la normativa vigente y considera el nivel de complejidad del proyecto con el fin de cumplir con los requisitos legales y administrativos correspondientes.

Finalmente, se implementan planes de monitoreo que aseguran un seguimiento para la toma de decisiones informadas.

5.1 Línea Base Ambiental del Entorno

Se detalla el estado inicial actual del Parque Industrial Pilar (PIP) en siete dimensiones clave: calidad del aire, agua, estado del suelo, niveles de ruido, flora, fauna y entorno socioeconómico para así poder realizar la identificación y valoración de los impactos potenciales, en el que se toma en cuenta su magnitud, duración, reversibilidad y significancia.

5.1.1 Calidad del Aire

La calidad del aire en torno al PIP está determinada por las emisiones industriales y el tráfico asociado a sus operaciones. Este parque alberga numerosas industrias de categoría 2 y 3 (mediano y alto impacto ambiental), los cuales emiten contaminantes atmosféricos de diversa índole.

Los estudios ambientales recientes que incluyen al PIP confirman que las zonas industriales presentan calidad de aire inferior a las zonas rurales circundantes. Por ejemplo, un informe de las Jornadas Nacionales de Ecología señala que en un parque industrial típico las concentraciones de PM_{2.5}¹² y PM₁₀¹³ superan a las de áreas residenciales céntricas, identificando al sector fabril como fuente emisora persistente de partículas durante todo el día. (Andino, y otros, 2023) Si bien este estudio se realizó en San Juan, refleja una tendencia aplicable a parques industriales de Argentina en general.

¹² Partículas finas en suspensión con un diámetro inferior a 2,5 micrómetros.

¹³ Partículas inhalables con un diámetro inferior a 10 micrómetros.

En el caso específico de Pilar, las autoridades provinciales reconocieron en 2019 que la cuenca baja del río Luján, donde se inserta el PIP, es una “zona de alto deterioro” ambiental por vertidos industriales y urbanos como pueden ser olores químicos o material particulado sedimentable (Casari & Ferrero, 2019).

En síntesis, no se reportan habitualmente emergencias de smog¹⁴ en Pilar, pero la ausencia de monitoreo continuo impide cuantificar adecuadamente la situación. Las evidencias disponibles sugieren que existen emisiones industriales significativas que podrían degradar la calidad del aire local, sobre todo en ausencia de vientos. Por ello, se está planificando la instalación de estaciones fijas de medición en el PIP y otros polos industriales, para controlar contaminantes relevantes y asegurar que se cumplan los estándares de aire limpio.

5.1.2 Calidad del Agua

La calidad del agua en el entorno del Parque Industrial Pilar constituye una de las mayores preocupaciones ambientales actuales. El PIP se ubica en la cuenca media-baja del río Luján y es drenado principalmente por el Arroyo Larena, un curso de agua que atraviesa o bordea el parque y desemboca en el Luján a través del Canal Agustoni-Petrel (Casari & Ferrero, 2019). Tanto el Arroyo Larena como el propio río Luján reciben los efluentes líquidos tratados de las industrias del PIP, conforme a lo autorizado por las autoridades hídricas.

Se identificaron dos tramos de “alto deterioro” en la cuenca del Luján: uno en la zona agraria Mercedes-Luján (por nutrientes de origen agropecuario) y otro en la zona de Pilar, causado por el vertido de residuos urbanos e industriales complejo (Casari & Ferrero, 2019) Este último se vincula directamente con el PIP y sus efluentes. Investigaciones científico-académicas respaldan esta alerta: la Dra. Leticia Peluso (especialista en ecotoxicología de la UNLP – CONICET) analizó sedimentos de varios cauces del Luján y halló que “la contaminación en Pilar y el parque industrial es más que nada por metales pesados asociados a la actividad industrial, principalmente en el Arroyo Larena” (Casari & Ferrero, 2019). Entre

¹⁴ Tipo de contaminación atmosférica que combina humo y niebla, que crea una neblina densa y a menudo tóxica. (Airly, s.f.)

los químicos encontrados en sedimentos del río y arroyos figuran metales pesados (como cromo, plomo, zinc, etc.) y plaguicidas, con acumulación de materia orgánica en ciertos puntos.

Corroborando la degradación hídrica, se documentaron eventos agudos de contaminación. Un caso emblemático ocurrió en marzo de 2018, en el cual aparecieron cientos de peces muertos en el río Luján a la altura de Pilar, lo que encendió la alarma de la comunidad y ONGs locales. La Asociación Patrimonio Natural de Pilar (gestora de la Reserva Natural local) detectó que aguas arriba del parque industrial no había mortandad de fauna, mientras que aguas abajo sí, concluyendo que “el problema se habría originado en los desagües del predio fabril”. La autoridad ambiental municipal tomó muestras de agua en distintos puntos (río, arroyo dentro del parque, y aguas arriba) para identificar el contaminante y responsable. Si bien los resultados no fueron detallados públicamente, se evidencian fallas en el tratamiento de efluentes de ciertas industrias y la consecuente afectación severa de la vida acuática. Cabe destacar que, por normativa, todos los establecimientos del PIP deben tratar sus efluentes líquidos hasta niveles dentro de los límites legales antes de volcarlos al arroyo. Las repeticiones de mortandades sugieren ya sea ineficiencias en esos tratamientos, descargas clandestinas o accidentes no informados (Pilar de Todos, 2018)

Respecto a la calidad de las aguas subterráneas, el PIP se asienta sobre el acuífero Puelches, uno de los reservorios subterráneos importantes de la región pampeana. Muchas industrias extraen agua de pozos para sus procesos productivos. Un estudio del Observatorio del Conurbano Bonaerense (UNGS) planteó la hipótesis de que “la demanda de agua subterránea por parte de las industrias localizadas en el PIP altera fuertemente la hidrodinámica” del acuífero en la zona (Molina, 2010). Esto implica que la intensa extracción por numerosos pozos industriales podría estar bajando los niveles freáticos y modificando los flujos subterráneos naturales.

En resumen, la calidad del agua superficial en la zona del PIP es deficiente: los cursos receptores (Arroyo Larena y río Luján) muestran indicadores de contaminación por metales pesados, sustancias tóxicas y materia orgánica que exceden lo esperable en un ambiente sano. Este deterioro tiene consecuencias ecológicas (pérdida de biodiversidad acuática, mortandad de

peces) y plantea un riesgo para usos humanos (riego, recreación e incluso para agua potable río abajo en otras localidades). En aguas subterráneas, la preocupación radica más en la cantidad (disminución por sobreexplotación) que en la calidad, pero no se descarta la eventual contaminación puntual.

5.1.3 Estado del Suelo

El suelo donde se asienta el PIP ha sufrido una transformación drástica debido a la urbanización industrial. Gran parte del suelo superficial natural ha desaparecido en el interior del parque, reemplazado por pavimentos, cimientos y capas de suelo compactado, con escasa vegetación cubierta. Por ello, la capacidad de infiltración se redujo notablemente (contribuyendo a escorrentía¹⁵ más rápida e inundaciones en eventos extremos) y las propiedades químicas y biológicas originales se alteraron. Sin embargo, hasta ahora no se han publicado estudios de mapeo de contaminación de suelos en el PIP. Durante años, empresas del parque han sido señaladas por deficiencias en la gestión de residuos peligrosos, incumpliendo la normativa.

Otro aspecto del suelo es su estado físico-estructural. La impermeabilización por construcciones es alta (se estima que Pilar como partido ha impermeabilizado mucho suelo en las últimas décadas, y en el PIP esto es extremo). Esto provoca inundaciones repentinas en áreas aledañas durante lluvias intensas, ya que el agua corre superficialmente hacia el arroyo Larena y a veces desborda.

En conclusión, aunque no hay datos analíticos que confirmen contaminación puntual en el suelo del PIP, las evidencias indirectas permiten señalar que el estado actual del suelo en el parque industrial es mayormente antropizado¹⁶ y con signos de degradación. En este contexto, el suelo ya no cumple funciones ecológicas productivas (agrícolas o de soporte biológico), sino principalmente como base de infraestructura y eventual contención de derrames.

¹⁵ Proceso físico que consiste en el escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial.

¹⁶ Describe algo que ha sido modificado, transformado o afectado por la actividad humana.

5.1.4 Niveles de Ruido

Los niveles de ruido asociados al PIP provienen tanto de fuentes fijas (maquinarias industriales, plantas de energía) como de fuentes móviles (tráfico pesado, camiones de carga y vehículos de personal). La problemática sonora en el PIP, si bien no ha sido cuantificada públicamente con mediciones específicas recientes, es un factor que considerar en la calidad ambiental local y la salud de los habitantes cercanos.

Dentro del parque, cada industria genera ruido en distintos grados: turbinas, prensas, ventiladores, alarmas, etc. No obstante, la disposición espacial del PIP, que ocupa un amplio predio aislado por franjas no edificadas, atenúa la propagación de ruido hacia el exterior. Muchos establecimientos cuentan con amplios retiros respecto al perímetro, creando una zona de amortiguamiento acústico.

En las horas pico (por la mañana temprano y al fin de la tarde), miles de empleados ingresan o salen del parque industrial. Esto genera congestión vehicular en accesos, con bocinazos, frenadas y ruido de motores diésel. La Ruta 8 y la autopista Panamericana a la altura del km 59-61 suelen tener embotellamientos industriales. Los barrios cercanos (p. ej. Villa Rosa, Parque Irizar) perciben aumento de ruido en esos horarios. A su vez, dentro del parque, la operación de camiones, montacargas y maniobras logísticas (carga/descarga) produce ruidos intermitentes, a veces durante la noche en empresas de turnos 24 hs. Si bien la mayoría de las naves industriales están cerradas y atenuadas, operaciones al aire libre (p. ej. movimiento de contenedores, sirenas de alarma, pruebas de equipos) pueden generar picos de ruido ocasionales.

No se cuenta con datos recientes de niveles sonoros medidos en decibeles en las zonas residenciales alrededor del PIP. La legislación bonaerense fija para áreas industriales un máximo de aproximadamente 70 dB(A) diurno en fuente y aproximadamente 60 dB(A) nocturno en receptor residencial. Es probable que en el límite del parque esos valores se cumplan, excepto durante sucesos atípicos como explosiones o escapes. De hecho, en las evaluaciones de impacto, las industrias suelen declarar que “no trascienden ruidos al exterior”

(UNE S.R.L., 2019). Cualquier nuevo proyecto debe presentar estudios acústicos predictivos. En uno de ellos se afirmaba que, con aislaciones adecuadas, el ruido combinado no excedería los 50 dB en el receptor más cercano, aunque la realidad luego fue cuestionada por los vecinos.

En resumen, los niveles de ruido generados por el PIP se consideran bajo control, sin superar habitualmente los umbrales normativos en el exterior. Esto se debe a la planificación que incluyó distancias *buffer* y a que muchas fuentes ruidosas están confinadas. No obstante, existen impactos puntuales: tráfico pesado en accesos, y ciertas instalaciones de alto ruido que requieren mitigación.

5.1.5 Flora

Dentro del PIP, la cobertura vegetal es muy reducida: predominan las superficies construidas, pavimentos y loteos. Las únicas plantas presentes son en su mayoría especies ornamentales o implantadas, árboles introducidos para arbolado (ej. ligustros, plátanos, álamos en filas rompeviento), césped en espacios verdes de oficinas, y algunos arbustos en cercos perimetrales. La flora autóctona original ha sido desplazada casi por completo en el interior del parque.

La calidad del hábitat para la flora en el entorno inmediato del PIP se vio degradada por varios factores: contaminación, urbanización e introducción de especies exóticas. Como se mencionó anteriormente, la contaminación hídrica y de suelos afecta a la vegetación acuática, ya que se observan tramos del arroyo con excesos de algas y plantas flotantes, mientras que en sectores contaminados con metales la diversidad de plantas acuáticas se reduce. Asimismo, vertidos tóxicos pueden quemar o secar la vegetación ribereña tras episodios agudos.

En cuanto a la vegetación terrestre, la presión antrópica (pisoteo, movimiento de suelo, herbicidas para mantenimiento) impide que se regenere una comunidad nativa estable. En los márgenes del parque, algunas franjas verdes actúan como cortinas forestales o separaciones con barrios; esas áreas suelen estar forestadas con eucaliptos, casuarinas u otras especies foráneas de rápido crecimiento para actuar como barrera visual y de polvo. Si bien cumplen cierta

función, estas especies no son propias del ecosistema original y aportan poca biodiversidad asociada.

Un impacto relevante es la pérdida de conectividad ecológica. El emplazamiento del PIP en medio de lo que antes era un continuo rural significó una barrera para la dispersión de especies. El mosaico actual combina industrias, barrios privados y áreas periurbanas, con pocos corredores biológicos. Esto dificulta la supervivencia de poblaciones de plantas silvestres locales y favorece a aquellas adaptadas a la perturbación (muchas veces malezas cosmopolitas).

En síntesis, la flora autóctona en la zona del PIP es casi totalmente desplazada por el desarrollo industrial. Lo que subsiste son enclaves reducidos de vegetación natural en las orillas de cursos de agua y en la reserva aguas abajo. La diversidad florística actual en inmediaciones del parque está dominada por especies introducidas y pioneras, con escaso valor de conservación.

5.1.6 Fauna

La fauna de la región del PIP ha experimentado una regresión marcada en diversidad y abundancia, en paralelo a la transformación del entorno.

En la situación original pampeana, la zona albergaba fauna característica de pastizal y humedales: el venado de las pampas y el guanaco, carnívoros topes: el zorro de campo y el gato montés, aves esteparias: el ñandú, perdices, teros, y una rica comunidad de anfibios: reptiles y peces en las áreas anegables. Con el avance de la urbanización industrial, muchas de estas especies no pudieron subsistir localmente. (Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 2003)

Actualmente, dentro del PIP la fauna es escasa y se limita a animales generalistas: pequeñas aves urbanas (gorrión, paloma, benteveo, zorzal), algunos roedores (ratones, cuises en baldíos), lagartijas y anfibios resistentes (sapos, ranas criollas) en charcas remanentes, e insectos variados. Mamíferos de mayor tamaño prácticamente no se encuentran en el predio, salvo quizás comadrejas overas o murciélagos que puedan refugiarse en galpones.

En las zonas adyacentes menos intervenidas, la fauna mejora ligeramente. A lo largo del río Luján y arroyos existen especies acuáticas y ribereñas. Peces autóctonos como tarariras, mojarra, bagres y dientudos habitaban estos cursos; sin embargo, la contaminación ha aniquilado sus poblaciones. Las repetidas mortandades masivas de peces, como la de 2018, evidencian que miles de ejemplares mueren por mala calidad del agua (Pilar de Todos, 2018)

En conclusión, la fauna actual en la zona del PIP es pobre en comparación con su estado original, reducida a unas cuantas especies generalistas y con impactos evidentes como mortandades de peces. La pérdida de fauna refleja la degradación ambiental acumulada.

5.1.7 Entorno Socioeconómico

El entorno socioeconómico del PIP está caracterizado por la interacción entre un intenso desarrollo industrial y la comunidad local de Pilar y zonas vecinas. El parque es motor de crecimiento económico, en el que atrae inversión, empleo e infraestructura, pero también genera desafíos urbanos, sociales y de gobernanza ambiental.

En términos económicos, el PIP representa uno de los pilares productivos de la provincia. Con más de 200 empresas operativas, muchas de ellas de gran porte (nacionales y multinacionales), se estima que aporta miles de puestos de trabajo directos (más de 20 mil diarios) y una gran cantidad de empleos indirectos (DataPilar, 2021).

Muchos habitantes de Pilar dependen directa o indirectamente del parque industrial para su sustento, ya sea trabajando allí o brindando servicios (transporte, comercio, vivienda) a los empleados. Además, la presencia del parque estimuló mejoras viales (duplicación de la Panamericana, accesos pavimentados) y ciertas inversiones en capacitación técnica (por ejemplo, convenios del PIP con universidades locales como la Universidad del Salvador para prácticas profesionales).

No obstante, este crecimiento acelerado también genera tensiones y externalidades negativas. Un fenómeno observado es el solapamiento de usos del suelo: la expansión urbana residencial fue alcanzando las inmediaciones del parque industrial, sin una adecuada zona de

transición. En efecto, barrios como Parque Irizar, Villa Rosa o Fátima tienen viviendas a escasa distancia de industrias de alto impacto. Esto deriva en conflictos socioambientales: vecinos preocupados por contaminación, ruido, tránsito pesado en calles locales y depreciación inmobiliaria.

En términos de salud pública, no se publicaron estudios epidemiológicos específicos correlacionando la cercanía al PIP con enfermedades. Sin embargo, es razonable suponer que la población expuesta a emisiones industriales corre mayores riesgos de padecer afecciones respiratorias (por material particulado, VOCs¹⁷), dérmicas o gastrointestinales (por agua contaminada). Los vecinos señalan problemas de olores, irritación de ojos/garganta en ciertos días, y temen por la incidencia de cáncer u otras dolencias a largo plazo.

En resumen, el entorno socioeconómico del PIP combina progreso y retos. Por un lado, ha intensificado la economía local, generando empleo masivo y urbanización; por otro lado, ha creado conflictos ambientales y demandas de mejora en la calidad de vida. La población circundante muestra preocupación legítima por los impactos, lo que obliga a autoridades y empresas a elevar los estándares de control y a invertir en mitigaciones. Pilar se enfrenta al desafío de equilibrar desarrollo industrial con sostenibilidad ambiental y bienestar social, asegurando que el PIP siga siendo un “gigante productivo” pero inserto armónicamente en su comunidad y territorio. (Chiasso & Contreras, 2024)

5.1.8 Síntesis

A continuación, se presenta una tabla resumen de la situación actual de cada componente ambiental analizado, que permite una comparación rápida de los aspectos clave:

¹⁷ Son compuestos orgánicos volátiles que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente y se encuentran en numerosos productos como pinturas, disolventes, combustibles, adhesivos y materiales de limpieza.

TABLA XXXIV: Resumen de Situación Actual de Parque Industrial Pilar

Componente	Situación Actual (PIP)
Aire	Emisiones industriales (polvos, gases) y tráfico intenso; aún sin monitoreo continuo, pero con planes de instalar estación. Impactos moderados, requieren control.
Agua	El componente más crítico; arroyos y río con metales pesados y materia orgánica, mortandad de peces; riesgo por sobreexplotación de acuíferos.
Suelo	Fuertemente alterado e impermeabilizado; riesgo de contaminación puntual por residuos peligrosos; pérdida de uso agrícola.
Ruido	En general controlado dentro del parque, pero hay molestias por tráfico y casos puntuales (ej. termoeléctricas).
Flora	Flora nativa casi desaparecida; predominan especies exóticas y degradación costanera.
Fauna	Biodiversidad reducida; sobreviven especies urbanas y generalistas; ictiofauna ¹⁸ gravemente afectada.
Entorno Socioeconómico	Alto aporte económico y de empleo (>20.000 trabajadores), pero con conflictos sociales por contaminación, servicios básicos insuficientes y tensiones urbano-industriales.

¹⁸ Conjunto de todas las especies de peces que habitan en un área geográfica determinada, como un río, un lago o un océano, o incluso un territorio continental completo.

5.2 Identificación y Valoración de Impactos

La operación de la planta de reciclaje implica una serie de interacciones con el medio ambiente y con la comunidad, las cuales pueden traducirse en impactos de distinta naturaleza y relevancia. La identificación y valoración de dichos impactos constituye una etapa fundamental en la evaluación ambiental, ya que permite reconocer tanto los efectos adversos que deben ser gestionados y mitigados como los beneficios que aporta el proyecto en el marco de la economía circular.

En este apartado, se analizan los impactos potenciales sobre los principales componentes ambientales (aire, agua, suelo, ruido y salud humana), así como también sobre aspectos complementarios como el consumo de recursos, la generación de residuos sólidos secundarios (RSS), la biodiversidad y los factores socioeconómicos. La valoración se realiza considerando criterios de magnitud, duración, reversibilidad y significancia, lo cual facilita distinguir los impactos críticos que requieren medidas de control prioritarias, de aquellos de menor incidencia o de carácter positivo.

5.2.1 Identificación de Impactos

En esta sección, se identifican los impactos potenciales de la planta sobre aire, agua, suelo, ruido, salud humana y otros factores relevantes. Se consideran tanto los efectos negativos, que requieren mitigación, como los positivos, que representan beneficios ambientales y sociales.

En la siguiente tabla, se identifican tanto impactos negativos (emisiones de polvo, generación de efluentes y riesgos para la salud de los trabajadores) como impactos positivos, especialmente aquellos asociados a la gestión formal de RAEE, la recuperación de metales estratégicos y la contribución a la economía circular.

TABLA XXXV: Identificación de Impactos de la Planta de Reciclaje

Factor Afectado	Impacto	
	Negativo	Positivo
Aire	Emisión de polvo por trituración y transporte de PCBs.	Reducción de emisiones indirectas por manejo formal de RAEE.
	Liberación de vapores metálicos.	-
Agua	Consumo de agua en limpieza y procesos industriales.	Disminución de lixiviados de RAEE en basurales.
	Posible generación de efluentes con metales pesados o ácidos.	-
Suelo	Derrames accidentales de sustancias químicas.	Reducción de RAEE en rellenos sanitarios y recuperación de metales.
	Contaminación por residuos sólidos no valorizables.	-
Ruido	Ruido de trituradoras, separadores y transporte interno.	Los ruidos se concentran dentro del PIP, lejos de áreas residenciales sensibles.
	Vibraciones de maquinaria pesada.	-
Salud Humana	Exposición de trabajadores a polvos metálicos, vapores y químicos.	Reducción de exposición informal de la comunidad a metales pesados.
	Riesgo por ruido prolongado.	Capacitación y formalización de empleos.
Energía y Recursos	Alto consumo eléctrico de la planta.	Recuperación de metales estratégicos, disminuye necesidad de minería.
RSS	Generación de fracciones no reciclables (escorias, plásticos contaminados)	Posible valorización de algunos residuos.
Biodiversidad	Alteraciones mínimas en parque industrial.	Reducción del impacto ecológico global por menor extracción minera.
Socioeconómico	Posible conflicto con recicladores informales.	Generación de empleo formal y fortalecimiento de economía circular.

En general, los impactos negativos son mayormente controlables mediante buenas prácticas operativas y medidas de mitigación, mientras que los impactos positivos reflejan los beneficios ambientales y socioeconómicos que la planta aporta a la región. Esta identificación constituye la base para la siguiente etapa de valoración de impactos, el cual permite priorizar las acciones de mitigación y potenciar los efectos positivos.

5.2.2 Valoración de Impactos

En esta sección, se toma como referencia la TABLA XXXV, para poder realizar la valoración de impactos, en el cual se evalúan criterios como:

- **Magnitud:** Intensidad del impacto sobre el componente ambiental o socioeconómico.
 - Baja/Media/Alta
 - Para positivos, indica relevancia del beneficio.
- **Duración:**
 - Corto Plazo (<1 año)
 - Medio Plazo (1-5 años)
 - Largo Plazo (>5 años)
 - Continuo (durante toda la operación)
- **Reversibilidad:**
 - Reversible: El sistema puede recuperar su estado original.
 - Parcialmente reversible: Recuperación limitada o requiere intervención.
 - Irreversible: Cambio permanente.
- **Significancia:** Evalúa la importancia del impacto considerando contexto local y sensibilidad del ambiente.
 - Alta = Crítico
 - Media = Relevante
 - Baja = Menor

TABLA XXXVI: Valoración de Impactos

Factor	Impactos (-/+)	Mag.	Dur.	Rev.	Sig.
Aire	– Emisiones de polvo y vapores metálicos + Reducción de emisiones indirectas por RAEE formal	Alta (–) Media (+)	Medio-largo (–) Largo (+)	Parcial (–) Reversible (+)	Alta (–) Moderada (+)
Agua	– Efluentes con metales pesados/ consumo de agua + Disminución de lixiviados en basurales informales	Alta (–) Media (+)	Medio-largo (–) Largo (+)	Parcial (–) Reversible (+)	Alta (–) Media (+)
Suelo	– Derrames químicos y residuos sólidos no valorizables + Recuperación de RAEE y reducción de residuos en rellenos	Alta (–) Media (+)	Medio-largo	Parcial	Alta (–) Media (+)
Ruido	– Operación de maquinaria y transporte	Media	Corto	Reversible	Media
Salud Humana	– Exposición a polvos, vapores y ruido + Reducción de exposición informal de la comunidad	Alta (–) Media (+)	Medio-largo (–) Largo (+)	Parcial (–) Reversible (+)	Muy alta (–) Moderada (+)
Energía	– Alto consumo eléctrico + Recuperación de metales reduce minería	Media	Continuo	Reversible	Media
RSS	– Fracciones no reciclables + Valorización de residuos	Media	Continuo	Parcial/Reversible	Media
Entorno Natural	– Alteraciones locales + Reducción del impacto ecológico global	Baja (–) Media (+)	Corto (–) Largo (+)	Reversible	Baja (–) Moderada (+)
Socioeconómico	– Conflictos con recicladores informales + Generación de empleo y economía circular	Media	Medio-largo	Reversible	Media (–) Alta (+)

La valoración muestra que la planta genera impactos negativos (emisiones, efluentes, ruido y riesgos laborales), de magnitud **media a alta** y en algunos casos de reversibilidad parcial, lo que requiere medidas de mitigación y control. Sin embargo, los impactos positivos, como la recuperación de metales, la reducción de contaminación en suelos y aguas, la disminución de emisiones indirectas y la generación de empleo formal, son de larga duración, alta significancia y reversibles, lo que coloca **el balance global del proyecto como favorable y sustentable en el tiempo.**

5.3 Normativa Ambiental Aplicable

En el Partido de Pilar, la gestión ambiental urbana e industrial está regulada por diversas ordenanzas municipales que complementan las leyes provinciales, como la Ley 11.720/97 de Residuos Especiales y la Ley 11.723/94 de Impacto Ambiental. Las Ordenanzas 135/01 (con su modificatoria 263/03), 120/04 y 243/17 establecen el régimen de residuos sólidos, que obliga a los grandes generadores a presentar declaraciones juradas mensuales detallando los residuos generados, incluidos los electrónicos, y especificando su destino final (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2017)

La normativa también establece el control de efluentes líquidos industriales. Todas las plantas deben tratar sus efluentes antes de verterlos, en el que deben cumplir la legislación provincial (Código de Aguas – Ley 5066/58) y nacional (Ley 24.051 y Dec. 245/09). Asimismo, el Código de Ordenamiento Territorial local (Ord. 255/18) indica que los usos industriales deben contar con estudios de aguas y cloacas, que certifica que los caudales y la calidad de los efluentes cumplan con los estándares exigidos. (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2017)

Aunque Pilar no tiene ordenanzas específicas sobre emisiones industriales, la planta recicladora debe respetar las normas provinciales y nacionales de calidad del aire. En la Provincia de Buenos Aires rige el Código de Ordenamiento Ambiental (COA, Decreto 17/2017), que establece límites para emisiones de humo, polvo y gases según la actividad. (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2017)

Toda industria en Pilar debe tramitar su habilitación municipal conforme al “Código de Habilitaciones”, que exige la presentación del plano de planta, el destino del suelo (zonificación) y una memoria descriptiva de procesos industriales. En el caso de industrias que manejan residuos peligrosos o generan emisiones, pueden requerirse estudios técnicos adicionales, junto con la copia del permiso ambiental provincial y el informe de impacto ambiental aprobado, según lo establecido por la Ley 11.723 (Municipalidad del Partido de Pilar, 2018).

Asimismo, la planta implementa un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) conforme a la norma ISO 14001:2015, que permite identificar los aspectos ambientales significativos, establecer objetivos de mejora continua y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente. La certificación del SGA contempla auditorías externas, seguimiento de indicadores ambientales y capacitación del personal, el cual promueve una gestión ambiental eficaz y orientada a la mejora continua. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), 2015)

5.4 Determinación del Nivel de Complejidad Ambiental (NCA)

El Nivel de Complejidad Ambiental (NCA) es un procedimiento exigido por la Autoridad Ambiental de la Provincia de Buenos Aires (Decreto 1741/96 y Resolución OPDS 538/99) que tiene como finalidad clasificar a los establecimientos industriales en función de su potencial impacto ambiental.

Este índice se obtiene mediante una fórmula:

$$NCA_i = Ru + Lo + Di + ER + Ri \quad (1)$$

donde:

Ru: rubro/actividad (3 grupos con puntajes 1, 5, 10).

Lo: localización (3 grupos con puntajes 0,1,2).

Di: dimensionamiento = Di_1 (potencia) + Di_2 (superficie) + Di_3 (cantidad de personal).

ER: efluentes y residuos (5 tipos con puntajes 0, 1, 3, 4, 6).

Ri: riesgos (acústico, químico, incendio, explosión: 0/1 cada uno).

TABLA XXXVII: Factores y Valores del Nivel de Complejidad Ambiental (NCA_i)

Factor	Valor	Justificación
Ru	10	Actividad Grupo 3: Tratamiento químico-metalúrgico de RAEE, considerado de alto impacto potencial.
Lo	0	Ubicada en Parque Industrial habilitado, con infraestructura completa de servicios.
Di	4	Planta con 33 trabajadores, 5.720 m ² cubiertos, 18.798 m ² totales, 126,4 HP de potencia instalada.
ER	4	Inventario de HCl supera umbral (25 t), Tipo 3 según Res. 1639/07
Ri	4	Presencia de riesgos acústicos, químicos, de incendio y de explosión.
NCA_i	22	Categoría 2: Impacto Ambiental Medio.

Considerando el rubro de actividad, el inventario de sustancias químicas peligrosas (principalmente ácido clorhídrico), los riesgos asociados, la escala de operación y la localización dentro del Parque Industrial Pilar, el valor obtenido fue:

$$NCAi = 22$$

Lo cual corresponde a la Categoría 2 (impacto ambiental medio). Esta clasificación implica la obligación de presentar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) simplificado y establecer un Plan de Gestión Ambiental con controles periódicos, en cumplimiento de la Ley 11.459 y su reglamentación.

Adicionalmente, la normativa contempla ajustes al valor inicial mediante la siguiente ecuación:

$$NCA = NCAi + AjSP - AjSGA \quad (2)$$

donde:

AjSP: ajuste por situación particular.

AjSGA: ajuste por la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental certificado.

En este caso, se obtuvo $AjSP = 0$ y $AjSGA = -4$, por lo que el valor final resultó:

$$NCA = 18$$

Aún corresponde a Categoría 2, pero con una menor complejidad ambiental atribuida a la incorporación de un sistema de gestión ambiental formal.

Para conocer en más detalle sobre los valores escogidos en la TABLA XXXVII, ir al Anexo I.

5.5 Medidas de Mitigación del Impacto Ambiental

En la planta de reciclaje, el control ambiental y la seguridad laboral son aspectos críticos para reducir los impactos ya mencionados.

En cuanto al **aire**, se recomienda instalar ventilación localizada en zonas de trituración, molienda o procesos que generen polvo, mientras que, para la eliminación de vapores y olores, como resinas y solventes, se utilizan lavadores o *scrubbers* químicos y filtros de carbón activo, los cuales deben mantenerse periódicamente. Asimismo, la planta debe contar con rejillas de aire y presión controlada que eviten fugas hacia zonas no controladas. A su vez, se sugiere capacitar al personal en limpieza continua de las áreas de generación de polvo mediante barrido húmedo o aspiradoras industriales, con el fin de minimizar la suspensión de partículas. (Secretaría de Energía, 2023)

Respecto al **agua**, el principal impacto proviene de los efluentes líquidos cargados de metales pesados generados en procesos de lixiviación hidrometalúrgica. Para reducir este riesgo, se recomienda implementar sistemas de tratamiento que incluyan precipitación química, sedimentación y filtración, con un ajuste final de pH antes de la descarga o reutilización.

Siempre que sea posible, se debe optar por esquemas de circuito cerrado que propaguen la reutilización del agua y reduzcan tanto el consumo como la generación de residuos líquidos. Además, es necesario contar con un plan de contención de derrames, que contemple áreas de operación con canaletas o bandejas drenantes conectadas a pozos de retención externos, y superficies de trabajo impermeables, así como tanques de almacenamiento que cumplan con la normativa aplicable a efluentes industriales. (Secretaría de Energía, 2023)

En cuanto al **suelo**, todas las áreas de acopio, desarme o almacenamiento de RAEE y sustancias peligrosas deben contar con pisos impermeabilizados para evitar la infiltración de contaminantes al subsuelo. En particular, los depósitos transitorios de residuos peligrosos requieren piso de concreto sellado y barrera de contención perimetral con canaletas o sumideros que conduzcan los líquidos hacia pozos de emergencia, en el que se evita derrames de plomo, aceites o sales metálicas alcancen el suelo.

Se recomienda instalar rejillas o separadores de aceite en los sumideros para retener hidrocarburos y metales pesados antes de su tratamiento o disposición final, y mantener estas áreas claramente señalizadas y cubiertas para prevenir escurrimientos por lluvia.

Los suelos deben mantenerse limpios permanentemente, en el que se deben implementar procedimientos de aspirado o recolección de polvo, y contar con kits de emergencia para respuesta inmediata frente a derrames accidentales. (Secretaría de Energía, 2023)

La **salud humana** requiere un plan de prevención de riesgos laborales acorde con la Ley 19.587, que identifica peligros por exposición a sustancias tóxicas y ácidos, así como partículas generadas durante los procesos.

El personal debe usar equipo de protección personal adecuado, que incluya guantes de nitrilo, botas impermeables, mascarillas con filtro para polvo y vapores, protección ocular y auditiva según corresponda. Es obligatorio capacitar continuamente al personal en manipulación segura de RAEE, uso de herramientas de corte y procedimientos de emergencia, señalar las áreas de riesgo y disponer de extintores visibles según la carga de fuego presente. Además, la empresa debe organizar simulacros de emergencia y contar con botiquines, duchas de emergencia y equipos de protección contra inhalación, siguiendo guías de higiene industrial. (Secretaría de Energía, 2023)

La exposición continua al **ruido industrial** puede generar molestias y efectos fisiológicos/psicológicos en los trabajadores y la comunidad circundante. Para mitigar esta problemática se implementan cabinas acústicas alrededor de maquinaria ruidosa como trituradoras, las cuales pueden disminuir los niveles sonoros hasta en 20 dB aproximadamente. Complementariamente, se recomiendan revestimientos absorbentes en pavimentos, silenciadores y campañas organizativas como restringir actividades ruidosas a horas diurnas y proporcionar protección auditiva al personal. (Waves Acoustics, 2024)

Los **residuos sólidos** deben clasificarse y almacenarse en origen, separando metales ferrosos, no ferrosos, plásticos, vidrios, circuitos y cables, así como por peligrosidad. Cada fracción debe disponerse en contenedores etiquetados con tapa para evitar dispersión.

Los residuos peligrosos requieren transporte por gestores autorizados y disposición final especial, y ningún RAEE puede enviarse a rellenos sanitarios sin tratamiento previo, conforme a la Resolución N° 389/10. Es recomendable mantener un registro de los flujos de residuos y señalización clara de los contenedores. (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, 2010)

La **energía** promueve la eficiencia en todas las etapas operativas mediante iluminación LED de bajo consumo, motores eléctricos de alta eficiencia y aprovechamiento de calor residual para calefacción o pretratamiento de procesos. Buenas prácticas incluyen apagar maquinaria fuera de turno, mantener neumáticos de montacargas inflados correctamente y optimizar rutas internas de transporte.

Se fomenta el reúso de residuos inorgánicos como insumos reciclables y la realización de auditorías energéticas periódicas para identificar oportunidades de ahorro y mejorar el desempeño ambiental. (Secretaría de Energía, 2023)

Aunque la planta se ubica dentro del PIP, es esencial reducir cualquier impacto local sobre **flora y fauna**. Se propone mantener barreras vegetales perimetrales, que actúan como cortinas visuales y de dispersión de polvo y ruido, además de servir como microhábitats para especies urbanas resilientes. También se evita la dispersión de residuos ligeros mediante un cerramiento perimetral y techado, que reduce el riesgo de contaminación en áreas verdes vecinas. Además, se considera la posibilidad de colaborar en programas de reforestación compensatoria, impulsados por el municipio o el parque industrial, como medidas de restauración ecológica de impactos residuales.

La planta genera **oportunidades laborales** y puede fortalecer la economía circular, pero también representa desafíos sociales. Por ello, se promueven iniciativas como la priorización de mano de obra local, en conjunto con programas de capacitación en gestión de RAEE y economía circular. Además, se integra a los recuperadores informales mediante convenios que reconozcan y formalicen su rol en la cadena de reciclaje, ofreciendo condiciones seguras y dignas.

Finalmente, en materia de **seguridad industrial**, la planta debe contar con sistemas de protección contra incendios adaptados a la peligrosidad de cada sector, que incluye hidrantes internos, rociadores automáticos, mangueras de emergencia y extintores portátiles triclase, así como detectores de humo en áreas cerradas y distancias mínimas de seguridad entre equipos.

Se restringe el ingreso de fuentes de ignición, se disponen kits de contención para derrames químicos y se capacita al personal en su uso, que garantiza que la combinación de equipamiento fijo, portátil y señalización preventiva minimice los riesgos de incendios o incidentes químicos. (Secretaría de Energía, 2023)

5.5.1 Síntesis

Para evaluar de manera integral los impactos ambientales y las medidas de mitigación aplicadas en la planta, se utiliza una Matriz de Leopold¹⁹ adaptada. El uso de la matriz permite visualizar de manera clara cómo cada etapa del proceso (acopio, desmontaje, trituración, lixiviación, fundición y transporte) incorpora medidas de control ambiental y de seguridad.

Para la TABLA XXXVIII, se deben tener en cuenta los siguientes elementos con el objetivo de ayudar a la comprensión lectora:

✓ = Medida implementada

⚠ = Medida parcial o en proceso de mejora

✗ = Impacto mínimo/no aplicable en esa actividad

¹⁹ Permite cruzar las actividades principales del proceso productivo con los factores ambientales afectados, donde se identifica en cada intersección las acciones de mitigación correspondientes.

TABLA XXXVIII: Matriz de Leopold Adaptada

Factor Tarea	Aire	Agua	Suelo	Ruido	Salud Humana	Energía	Biodiversidad	RSS	Seguridad	Socioeconómico
Recepción y Acopio	✓ Filtros antipolvo	⚠ Techado parcial de áreas	✓ Pavimento impermeable	⚠ Ruido de camiones → control horario	✓ EPP básico (guantes, barbijos)	⚠ Mejoría de logística interna	✓ Cerramiento perimetral y barreras verdes	✓ Clasificación en origen	✓ Extintores fijos en galpones	✓ Generación de empleo logístico local
Desmontaje Manual	✓ Extracción localizada de polvos	✗	✗	✓ Ruido bajo → controlado	✓ EPP y capacitación en manipulación segura	✓ Iluminación LED eficiente	✗ Actividad cerrada, sin afectación	✓ Segregación de piezas y componentes	✓ Extintores portátiles cercanos	✓ Inclusión laboral de recuperadores
Trituración/Separación	✓ Filtros de mangas y encapsulado de equipos	⚠ Circuito cerrado parcial de agua de proceso	✓ Contención de residuos sólidos	✗ Cabinas acústicas para operadores	✓ Cabinas cerradas para evitar exposición	✓ Motores eléctricos de alta eficiencia	⚠ Vegetación perimetral para captación de polvo	✓ Recuperación de plásticos y metales	✓ Cabinas acústicas anti-ruido	✓ Creación de empleo técnico especializado
Lixiviación Química	✓ <i>Scrubbers</i> y carbón activado para gases	✓ Neutralización + filtración de efluentes	✓ Tanques con cubetos de contención	✗ Ruido mínimo de bombas	✓ Protocolos químicos + EPP especializado	⚠ Consumo eléctrico en reactores → Mejora de agitación	⚠ Riesgo indirecto de derrames → pisos impermeables	✓ Lodos tratados y dispuestos por operador habilitado	✓ Duchas y lavaojos de emergencia	✓ Desarrollo de <i>know-how</i> en reciclaje avanzado
Fundición/Recuperación	✓ Campanas de extracción y ventilación forzada	✓ Reuso de agua de enfriamiento	✓ Pavimento reforzado y bandejas de contención	⚠ Ruido de hornos y ventiladores → aislamiento acústico	✓ Protección térmica (ropa ignífuga, caretas)	✓ Recuperación de calor de hornos	✗ Sin impacto directo (actividad cerrada)	✓ Chatarra metálica reciclada	✓ Hidrantes, detectores y alarmas	✓ Aporte a la economía circular formal
Transporte Interno	✓ Vehículos eléctricos o baja emisión	✗	✗	⚠ Ruido de montacargas → rutas internas cortas	⚠ Riesgo de exposición vial reducido con capacitación	✓ Uso de montacargas eléctricos	⚠ Polvo levantado → limpieza de vías	✓ Envases normalizados y etiquetados	✓ Señalización de rutas y zonas de carga	✓ Generación de empleo indirecto (logística, mantenimiento)

5.6 Plan de Monitoreo Ambiental

El Plan de Monitoreo Ambiental tiene como fin verificar la eficacia de las medidas de mitigación propuestas, asegurar el cumplimiento normativo y prevenir impactos negativos derivados del proceso de reciclaje de PCB.

Para ello se controlan parámetros clave en aire (material particulado y gases), agua (efluentes y pozos subterráneos), suelo (contaminación por metales y aceites), residuos (generación, segregación y reciclaje), ruido (ocupacional y perimetral), consumo energético, biodiversidad (relevamientos en el entorno inmediato), salud y seguridad de los trabajadores (EPP, accidentes, análisis de exposición), y aspectos socioeconómicos vinculados al empleo y la percepción comunitaria.

La frecuencia de muestreo, los responsables y la metodología específica se detallan en las tablas siguientes.

TABLA XXXIX: Plan de Monitoreo Ambiental (Impacto Físico)

Impacto Físico	Parámetros a Controlar	Método de Monitoreo	Frecuencia	Responsable
Agua	pH, conductividad, turbidez, Pb, Cu, Sn, Ni.	Muestreo de efluentes + pozos; análisis de laboratorio	Mensual/Semestral	Jefe de Planta
Aire	Material Particulado (PM10, PM2.5) Gases de Combustión (SO ₂ , NO _x ²⁰ , CO)	Muestreadores y equipos portátiles en zonas críticas	Trimestral	HSE
Biodiversidad	Registro de flora y fauna, comparación con línea base	Relevamiento de campo, listado de especies	Anual	
Energía	Consumo eléctrico total, % renovables	Lectura de medidores, reportes internos	Mensual	Área de Mant.
RSS	Generación total (kg/mes), % recuperado, segregación	Planillas de control y auditorías internas	Mensual	Logística
Suelo	Hidrocarburos, aceites, metales pesados; estado de pavimentos y cubetos	Muestreo superficial y análisis en laboratorio	Anual	HSE

²⁰ Término que agrupa los óxidos de nitrógeno (principalmente NO y NO₂), gases contaminantes generados por la combustión que contribuyen a la formación de ozono troposférico, smog y lluvia ácida. (European Environment Agency, s.f.)

TABLA XL: Plan de Monitoreo Ambiental (Impacto Social)

Impacto Social	Parámetros a Controlar	Método de Monitoreo	Frecuencia	Responsable
Ruido	Niveles sonoros dB(A), exposición ocupacional	Sonómetro clase 1, Norma IRAM 4063	Semestral	HSE
Salud y Seguridad	Uso de EPP, accidentes, metales en sangre (Pb)	Checklist mensual + Diagrama de Ishikawa + exámenes médicos	Mensual/ Semestral	
Socioeconómico	Empleo directo e indirecto, formalización, percepción comunitaria	Registros laborales + encuestas comunitarias	Anual	

En resumen, el plan de monitoreo evidencia que la planta de reciclaje integra controles tanto ambientales como sociales, en el que se prioriza la prevención y la mejora continua. No solo eso, sino que se asegura el cumplimiento normativo y la minimización de riesgos sobre el entorno y la salud.

5.7 Higiene y Seguridad Industrial (HS)

El sistema de Higiene y Seguridad Industrial (HS) de la planta se diseña para garantizar condiciones de trabajo seguras, prevenir daños a la salud del personal y reducir riesgos operativos asociados al manejo, procesamiento y recuperación de RAEE.

Se debe tener en cuenta que todas las medidas adoptadas cumplen con la normativa argentina vigente y con estándares internacionales, ya explicadas en el subcapítulo 5.3 Normativa Ambiental Aplicable

Por último, las acciones abarcan condiciones de higiene industrial, seguridad operativa, tratamiento de efluentes y lodos, y protección contra incendios.

5.7.1 Condiciones de Higiene del Proceso

La manipulación de PCBs, chips, conectores y fracciones metálicas genera partículas finas, fibras de vidrio, vapores y polvos metálicos. Para proteger la salud del personal y mantener el aire del ambiente dentro de los límites permisibles (Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, 2003), se implementan las siguientes medidas:

➤ **Control de Polvo**

Se instala un colector Donaldson Torit DFE - Downflo Evolution, equipado con cartuchos Ultra-Web® y eficiencia superior al 99,9% para PM2.5. Este equipo evita la dispersión de polvos metálicos durante trituración y molienda. (Donaldson Company, Inc, 2024)

➤ **Extracción Localizada**

En las mesas de desmontaje se utilizan brazos articulados Nederman FX2, que capturan partículas directamente en el origen y reducen la exposición del operador. (Nederman Holding AB, 2025)

➤ **Ventilación Industrial General**

Se incorporan ventiladores centrífugos Sodeca Serie CH y extractores Sodeca Serie EX (ATEX) en zonas con riesgo de polvo combustible, lo que garantiza una renovación adecuada del aire. (Sodeca S.L., 2025) (Sodeca S.L., 2025)

➤ **Reducción de Ruido**

Se adoptan cabinas acústicas industriales SACINE (Argentina), capaces de reducir entre 20 y 40 dB(A), lo que permite mantener el nivel de exposición del personal por debajo de 85 dB(A). (SACINE, 2025)

5.7.2 Condiciones de Seguridad del Proceso

Las materias primas empleadas (Zn° , $FeSO_4$, EDTA, NaOH, HNO_3 , H_2SO_4 y HCl) presentan riesgos específicos que requieren medidas de seguridad orientadas a evitar reacciones peligrosas, quemaduras químicas, cortes, derrames y liberación de gases tóxicos.

Este apartado detalla las acciones destinadas a garantizar que la manipulación, preparación y uso de estas sustancias se realice dentro de condiciones operativas controladas, en cumplimiento con el SGA, Resolución SRT 801/15 y normativa IRAM aplicable. (Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) , 2015) (Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) , 2003)

5.7.2.1 Seguridad en la Manipulación de RAEE

El material electrónico procesado contiene aristas cortantes, soldaduras con presencia de metales pesados y superficies conductoras. Para prevenir incidentes mecánicos y eléctricos se establecen las siguientes medidas:

- Uso de guantes anticorte EN 388, mangas resistentes a abrasión y calzado con puntera reforzada. (European Committee for Standardization, 2016)
- Protocolos de desenergización y verificación de ausencia de carga en placas y módulos electrónicos antes de su desmontaje.
- Herramientas aisladas según IRAM 2444 para evitar cortocircuitos accidentales durante el desensamble. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), 2019)
- Disposición de contenedores rígidos para evitar lesiones por manipulación manual.

- Prohibición de fractura manual de placas o conectores; toda reducción mecánica se realiza en equipos cerrados.
- Separación de RAEE con restos de baterías o capacitores para evitar fugas térmicas o cortocircuitos.

5.7.2.2 Seguridad en el Manejo de Reactivos Metálicos y Agentes Quelantes

Las sustancias sólidas empleadas en el acondicionamiento de efluentes y procesos químicos requieren medidas específicas:

Zinc Metálico (Zn⁰)

Presenta riesgo de generación de hidrógeno inflamable por reacción con ácidos, fenómeno ampliamente documentado en bases de datos de seguridad química. Para evitar condiciones peligrosas, la manipulación se limita a áreas designadas, libres de fuentes de ignición y con ventilación adecuada.

Se requiere el uso de guantes anticorte EN 388, guantes de nitrilo o neopreno para evitar contacto con polvo fino, lentes de seguridad y calzado de seguridad dieléctrico. Los recipientes metálicos utilizados deben mantenerse conectados a tierra a fin de evitar acumulación electrostática y minimizar el riesgo de ignición accidental. (National Institutes of Health, 2023)

Sulfato Ferroso (FeSO₄)

Puede generar irritación dérmica y ocular durante su manipulación. Se exige el uso de guantes de nitrilo, protección ocular, mascarilla antipolvo P2 para evitar inhalación de partículas y delantal químico impermeable durante la preparación de soluciones. Las soluciones deben prepararse con dosificación controlada, evitando salpicaduras y dispersión del polvo.

En caso de contacto accidental con la piel o los ojos, corresponde realizar un lavado inmediato, siguiendo las indicaciones de la ficha SDS correspondiente y los procedimientos de primeros auxilios internos. (European Chemicals Agency, 2023)

EDTA

Puede favorecer la movilización de metales pesados al contacto con piel lesionada, por lo que se considera una sustancia de manipulación controlada. Se exige el uso de guantes de nitrilo, protección ocular y la prohibición estricta de consumo de alimentos o bebidas en el área de trabajo. La manipulación debe efectuarse en condiciones que reduzcan exposiciones repetidas o prolongadas. (National Institute for Occupational Safety and Health, 2022)

5.7.2.3 Seguridad en el Manejo de Sustancias Corrosivas**Hidróxido de Sodio (NaOH)**

Genera reacciones altamente exotérmicas al contacto con agua. Durante su manipulación se exige protección facial completa, guantes de neopreno o PVC, delantal químico, botas impermeables y manga larga resistente a corrosivos. Debe adicionarse siempre sobre agua fría y trabajar sobre cubetas de contención. (Panreac Química S.L.U., 2023)

Ácido Nítrico (HNO₃)

Puede liberar NO₂, gas tóxico e irritante pulmonar. Se requiere el uso de respirador con filtro para gases ácidos (A2 o equivalente), protección ocular cerrada, pantalla facial, guantes de butilo o neopreno, y delantal químico resistente a ácidos oxidantes. La manipulación debe realizarse bajo campana de extracción y con almacenamiento segregado de orgánicos y metales reactivos. (Fisher Scientific S.L., 2022)

Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)

Presenta un riesgo extremo de quemaduras químicas y reacción exotérmica con agua. Se exige pantalla facial, antiparras, guantes resistentes a ácidos fuertes (butilo, neopreno o PVC), buzo o delantal químico impermeable, y botas de goma resistentes a corrosivos. La dosificación debe ser lenta y con válvulas de aguja, empleando materiales compatibles como PTFE o PVC. (Merck KGaA, 2023) (Merck KGaA, 2023)

Ácido Clorhídrico (HCl)

Libera vapores corrosivos capaces de dañar equipos y estructuras. Durante su manipulación se requiere respirador para gases ácidos, antiparras químicas, pantalla facial, guantes de neopreno o PVC, y protección corporal impermeable a ácidos. Los recipientes deben poseer tapas ventiladas anti-retorno y etiquetado SGA completo. (Quimitrak S.A., 2021)

5.7.3 Tratamiento de Efluentes Líquidos

El proceso de reciclaje de RAEE genera efluentes con metales pesados, sólidos en suspensión y trazas de ácidos, bases y agentes quelantes. Para garantizar el cumplimiento de la normativa de vuelcos “Resolución 336/2003”, la planta utiliza un sistema de tratamiento integral que aborda la neutralización, separación y acondicionamiento de estos efluentes antes de su descarga:

1. Homogeneización y Ecuilización

Los efluentes generados en diferentes sectores del proceso se conducen a un tanque de ecuilización, desde donde se estabilizan las variaciones de pH, caudal y concentración. Un sistema de agitación mecánica previene sedimentaciones prematuras y asegura una mezcla homogénea antes del tratamiento químico.

2. Ajuste de pH y Neutralización

Las corrientes ácidas provenientes de lixiviaciones con HNO_3 , H_2SO_4 y HCl se neutralizan mediante dosificación automática de NaOH y/o carbonato sódico, regulada por sensores de pH en línea que permiten un control estable y confiable del proceso. Cuando el efluente presenta características básicas, se adiciona ácido sulfúrico diluido para restablecer el equilibrio. El sistema se opera en un rango objetivo de pH 6-9, conforme a los requerimientos regulatorios. (Autoridad del Agua (ADA), 2003)

3. Precipitación Química de Metales

El tratamiento se basa en una secuencia que incluye precipitación por hidróxidos, coagulación–floculación con FeSO_4 y polímeros, y una quelación controlada para remover complejos residuales de EDTA. Este esquema asegura la

transferencia de los metales disueltos hacia una fase sólida separable antes de la clarificación y filtrado.

4. Clarificación y Separación Sólido-Líquido

Los flóculos generados durante el tratamiento químico se separan en un decantador lamelar, donde el efluente clarificado continúa hacia la etapa de filtración y los sólidos sedimentados se derivan al sistema de tratamiento de lodos para su acondicionamiento final.

5. Filtrado Final y Control Analítico

El efluente clarificado atraviesa filtros de arena y carbón activado, destinados a reducir turbidez y remover trazas residuales de compuestos orgánicos e inorgánicos. El laboratorio interno realiza controles de conformidad según parámetros regulatorios específicos: pH, DQO²¹, DBO²², SST²³, metales totales y metales característicos del RAEE (Cr, Ni, Cu, Pb). (Autoridad del Agua (ADA), 2003)

6. Descargue Segura

Una vez tratado, el efluente cumple los valores máximos de vuelco pertinentes y puede ser conducido al colector cloacal o industrial habilitado, o bien ser reutilizado parcialmente en operaciones no críticas como lavado de pisos o sistemas de refrigeración indirecta. (Congreso de la Nación Argentina , 1991)

5.7.4 Tratamiento de Lodos

Los lodos generados en el tratamiento de efluentes contienen metales pesados precipitados, hidróxidos metálicos, flóculos, restos de coagulantes y trazas de compuestos orgánicos. Estos materiales se clasifican como residuos peligrosos, conforme a la Ley 24.051 y su normativa complementaria. Por lo tanto requieren un manejo específico y trazable a lo largo de toda la gestión.

²¹ Demanda Química de Oxígeno: cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica e inorgánica del efluente.

²² Demanda Bioquímica de Oxígeno: cantidad de oxígeno utilizada por microorganismos para degradar materia orgánica biodegradable.

²³ Sólidos en Suspensión Totales: concentración de partículas sólidas no disueltas presentes en un efluente.

Espesamiento

Los lodos provenientes del decantador se envían a un tanque espesador, donde el contenido de agua se reduce por gravedad y se optimiza la eficiencia del filtrado posterior. (Congreso de la Nación Argentina , 1991)

Deshidratación

Se emplea un filtro prensa GEA AWP para disminuir la humedad del lodo hasta valores del 25% al 40%, lo que facilita su manipulación y reduciendo el volumen final a disponer. (Congreso de la Nación Argentina , 1991) (GEA Group Aktiengesellschaft, 2024)

Acondicionamiento y Estabilización

Cuando el análisis fisicoquímico lo requiere, se incorporan agentes estabilizantes con el fin de inmovilizar los metales pesados y reducir su capacidad de liberarse al entrar en contacto con soluciones acuosas, conforme a los criterios aplicables para este tipo de ensayo. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), 2019)

Almacenamiento Temporal

Los lodos estabilizados se almacenan en contenedores correctamente etiquetados, sobre pisos impermeables y en cubetos DENIOS resistentes a corrosivos. El tiempo máximo de permanencia se limita a un periodo específico previamente definido. (Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, 1997) (DENIOS, 2025)

Si ocurre alguna emergencia, se dispone de ducha y lavajos Bradley S19-200B. (Bradley, 2025)

Transporte y Disposición Final

La gestión continúa mediante un operador habilitado, responsable del transporte y posterior disposición segura del material, que puede incluir encapsulamiento, confinamiento o tratamiento especializado.

Los certificados de tratamiento y disposición final se integran al sistema de trazabilidad ambiental de la planta, permitiendo un seguimiento completo del residuo. (Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, 1997)

5.7.5 Sistema de Protección Contra Incendios (PCI)

El riesgo de incendio asociado a polvo metálico, fricción mecánica, reactivos químicos y equipos eléctricos exige un sistema integral de PCI. Este sistema considera los criterios reconocidos para detección temprana, extinción portátil, redes fijas de agua, control de atmósferas peligrosas y planes de emergencia. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), 2019)

➤ **Detección y Alarma**

El sistema incorpora detectores fotoeléctricos y térmicos distribuidos en todas las áreas de proceso, vinculados a un panel central con comunicación al puesto de vigilancia. Las alarmas audiovisuales se seleccionan según los criterios aplicables para señalización y notificación.

➤ **Extinción Portátil**

Se disponen extintores específicos para metales (Sprinklers Viking VK102), indispensables por la presencia de residuos metálicos reactivos; Se disponen extintores Ansul Sentry ABC y extintores Ansul Clase D CD-10 en las áreas con polvo metálico; y equipos a base de dióxido de carbono para tableros eléctricos y puestos de control. Todos los equipos se someten a mantenimiento periódico para asegurar su operatividad. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), 2019) (Viking, 2021)

➤ **Red Fija contra Incendios**

El sistema hidráulico fijo incluye hidrantes y mangueras de uso interno con presión adecuada para la operación, así como una red de rociadores automáticos en sectores de almacenamiento, trituración y molienda. La estación de bombeo está compuesta por una bomba jockey, una bomba principal y una unidad de respaldo para garantizar el servicio aun en condiciones de falla. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), 2019)

➤ **Contención de Sustancias Químicas**

Las áreas destinadas al manejo de sustancias corrosivas cuentan con cubetos DENIOS y elementos de contención para evitar derrames peligrosos durante un siniestro. La señalización incluye indicación de incompatibilidades químicas para prevenir mezclas accidentales. (Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) , 2015)

➤ **Control de Atmósferas Explosivas**

Se establece la sectorización de áreas con riesgo de polvo combustible y se emplean equipos eléctricos y extractores diseñados para operar en atmósferas clasificadas. La maquinaria rotante se mantiene conectada a tierra para evitar la generación de chispas electrostáticas. (Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) , 2016)

➤ **Plan de Emergencia y Capacitación**

Se realizan simulacros periódicos con participación de la brigada interna, junto con capacitaciones anuales en uso de extintores, actuación ante emergencias químicas y procedimientos de evacuación. Las rutas de escape están señalizadas con materiales fotoluminiscentes de alta visibilidad. (Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) , 2015)

➤ **Integración con el sistema general de seguridad**

El PCI se integra al esquema global de seguridad mediante monitoreo continuo, mantenimiento programado, registros documentados y actualización del diseño en función de modificaciones en el proceso o en la cantidad de reactivos almacenados. (Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) , 2015)

5.8 Consideraciones Finales

La evaluación de impacto ambiental realizada evidencia que la instalación de la planta en el Parque Industrial Pilar representa un desafío significativo, pero también una oportunidad para avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible. El diagnóstico de la línea base permite constatar que el área presenta ya un grado importante de deterioro ambiental, particularmente en la calidad del agua y la biodiversidad, lo que refuerza la necesidad de que cualquier nuevo proyecto opere bajo estrictos estándares de gestión y control.

La identificación y valoración de impactos muestran que, si bien existen riesgos ambientales asociados al aire, agua, suelo, ruido y salud ocupacional, estos pueden ser mitigados mediante la aplicación de tecnologías adecuadas, planes de manejo y un sistema robusto de seguridad laboral. Al mismo tiempo, se destacan beneficios ambientales y sociales relevantes, como la reducción de RAEE en disposición inadecuada, la recuperación de metales estratégicos y la generación de empleo formal en el marco de la economía circular.

La normativa vigente y la clasificación de la planta en la Categoría 2 del cálculo de NCA establecen un marco regulatorio claro, que exige controles periódicos y la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental certificado. En este sentido, las medidas de mitigación y el plan de monitoreo propuestos responden no solo al cumplimiento legal, sino también a la mejora continua en el desempeño ambiental y social del proyecto.

El sistema de Higiene y Seguridad de la planta asegura condiciones de trabajo controladas y conformes a la normativa, protegiendo al personal frente a los riesgos del manejo de RAEE y reactivos químicos. La gestión adecuada de efluentes, lodos y la incorporación de un sistema integral contra incendios consolidan un entorno operativo seguro y eficiente.

En conclusión, el balance global de la evaluación es **favorable**: la planta, correctamente gestionada, reduce los riesgos inherentes a su actividad y contribuye a resolver problemáticas ambientales ya existentes en la región. La planta se consolida como una alternativa estratégica dentro de la transición hacia un modelo productivo más sustentable.

CAPÍTULO VI
ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 Inversión inicial

Esta sección desarrolla el cálculo de la inversión inicial necesaria para la puesta en marcha de la planta industrial. Con este fin se adopta la metodología propuesta por Peters, Timmerhaus y West (5ª ed.), ampliamente utilizada en el campo de la ingeniería de procesos para la estimación de costos de capital (Peters, Timmerhaus, & West, 2003). Dicho enfoque clasifica la inversión total en dos grandes componentes:

- **Costos Directos**, que incluyen el valor de los equipos instalados, los edificios, las obras civiles y los servicios auxiliares requeridos para el funcionamiento de la planta.
- **Costos Indirectos**, que abarcan los gastos de ingeniería, supervisión y el denominado fee de construcción.

A estos conceptos se les añade una contingencia, calculada sobre la base pre-contingencia, para cubrir imprevistos técnicos, variaciones de mercado y posibles ajustes durante la ejecución del proyecto.

A su vez, se debe destacar que el terreno se incorpora como un costo directo no depreciable. Por este motivo, no forma parte de la base sobre la cual se aplican los porcentajes correspondientes a ingeniería, fee de construcción ni contingencia. Esta diferenciación asegura una estimación más precisa y coherente de los recursos financieros necesarios (Peters, Timmerhaus, & West, 2003).

En la TABLA XLI, se presentan los parámetros de referencia y los factores adoptados para cada partida de inversión, de acuerdo con los rangos establecidos por Peters.

TABLA XLI: Parámetros y Factores para la Inversión Inicial

Partida	Base	Rango Recomendado	Usado
Instalación (aislación/pintura)	% de PEC	25–55%	40%
Instrumentación y control		6–30%	18%
Piping²⁴		10–80%	30%
Eléctrico		10–40%	20%
Edificios de proceso/auxiliares		10–70%	35%
Servicios y mejoras de patio		40–100%	70%
Ingeniería y supervisión	% de Directos sin terreno	5–30%	15%
Gastos de construcción y fee	% de Directos sin terreno	6–30%	12%
Contingencia	% de Pre-contingencia sin terreno	5–15%	10%

En la siguiente tabla, se detalla el cómputo de inversión, que muestra la base de cálculo, los porcentajes aplicados y los montos resultantes para cada componente.

²⁴ Instalación de un conjunto de tuberías, accesorios y válvulas para el transporte seguro y controlado de líquidos, gases u otros fluidos.

TABLA XLII: Cómputo de Inversión

Concepto	Base	Porcentaje	Monto (USD)
Equipos comprados (PEC)	Dato Estudio Técnico	-	\$194.184,00
Instalación	PEC	40%	\$77.673,60
Instrumentación y Control		18%	\$34.953,12
Piping		30%	\$58.255,20
Eléctrico		20%	\$38.836,80
Edificios		35%	\$67.964,40
Servicios y Patio		70%	\$135.928,80
Subtotal Directos SIN terreno (I')			\$607.795,92
Terreno	Directo (no depreciable)	-	\$2.457.000
Ingeniería y Supervisión	Directos SIN terreno (I')	15%	\$91.169,39
Gastos de construcción y Fee	Directos SIN terreno (I')	12%	\$72.935,51
Subtotal Indirectos SIN Terreno			\$164.104,90
FCI Pre-Contingencia SIN Terreno			\$771.900,82
Contingencia	Pre-contingencia SIN terreno	10%	\$77.190,08
FCI Neto de Terreno (sin terreno)			\$849.090,90
FCI Total (incluye terreno)			\$3.306.090,90

De acuerdo con lo expresado anteriormente, la ingeniería, el fee de construcción y la contingencia se aplican sobre la base de costos directos (excluyendo el terreno). Una vez determinados estos valores, el terreno se incorpora como costo directo independiente para conformar el FCI total. (Peters, Timmerhaus, & West, 2003)

6.1.1 Consideraciones de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente

Siguiendo la metodología de Peters, Timmerhaus y West, dentro de los Costos Directos se incluyen también todas las instalaciones necesarias para cumplir con la normativa vigente de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente (HSE).

Esto comprende:

- Sistemas contra incendios (extintores, hidrantes, alarmas).
- Señalización reglamentaria y demarcación de seguridad.
- Protecciones eléctricas y mecánicas, pasarelas y accesos seguros.
- Duchas y lavaojos de emergencia.
- Ventilación industrial.
- Redes de drenaje, contención y obras vinculadas al tratamiento de efluentes líquidos tratados.
- Instalaciones para la gestión de residuos industriales especiales y no especiales (playas de acopio, contenedores específicos, sistemas de pretratamiento).

Todas estas partidas forman parte del alcance de Servicios y mejoras de patio y Edificios auxiliares, y deben considerarse como componentes obligatorios del costo de capital inicial.

6.2 Proyección de Precios de Materias Primas

La presente subsección describe la metodología y los supuestos utilizados para proyectar los costos de insumos químicos y del flujo de RAEE hacia 2030. Para ello, se toman como referencia precios base de proveedores mayoristas y se ajustan mediante las tasas de crecimiento internacional de mercado, complementando con el análisis del marco local respecto al costo de los RAEE en Argentina.

6.2.1 Insumos Químicos

Los precios base provienen de proveedores mayoristas (USD/kg). Su proyección al año 2030 se obtiene aplicando las tasas de crecimiento anual compuesto (CAGR) del mercado internacional reportadas por Mordor Intelligence para cada producto o segmento, tal como se presenta en la tabla correspondiente (2025–2030) (Mordor Intelligence, 2025).

TABLA XLIII: Resultados de Proyección (USD/kg)

Producto	Proveedor	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ácido nítrico (68%)	Pramol Química	0,76	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84
Ácido sulfúrico (98%)	MERANOL	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
Ácido clorhídrico (32%)	Pramol Química	0,28	0,29	0,29	0,3	0,31	0,32
Hidróxido de sodio	Centuaro Alpha	0,70	0,72	0,74	0,75	0,76	0,78
Sulfato ferroso heptahidratado	MERANOL	2,23	2,29	2,35	2,4	2,47	2,53
EDTA		3,8	3,95	4,12	4,29	4,47	4,66
Zinc metálico	KORZIN S.A.C.I.	2,64	2,69	2,75	2,8	2,85	2,91

6.2.2 RAEE

En este caso, se asume un costo nulo (USD 0/año) para el flujo de RAEE, ya que éste proviene principalmente de esquemas públicos y municipales de recolección, así como de programas de recepción voluntaria.

Actualmente, no existe un mercado mayorista consolidado ni un esquema nacional de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que transfiera un *gate fee*²⁵ al reciclador. Por lo tanto, los RAEE se entregan sin precio, o incluso con el costo logístico cubierto por el generador o el municipio.

Cabe señalar que, si el mercado evolucionara hacia un esquema similar al modelo europeo WEEE (basado en REP), la materia prima pasaría a tener un costo positivo para el reciclador, financiado mediante cuotas o tarifas aportadas por los productores. (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, n.d.)

²⁵ Cargo que se cobra por el ingreso de residuos a una instalación de procesamiento de residuos.

6.3 Costos Operativos

Para el análisis de costos, se adopta la estructura de la Tabla 6-18 de Peters, Timmerhaus y West (5.^a ed.), que distingue entre costos de fabricación, cargos fijos y gastos generales. Esta clasificación organiza los diferentes componentes del gasto y facilita la estimación del Costo Total del Producto (TPC) (Peters, Timmerhaus, & West, 2003).

En primer lugar, se estiman las partidas que no dependen del TPC, como las materias primas, la mano de obra (incluyendo supervisión), el mantenimiento, los suministros, los análisis de laboratorio, la depreciación, los impuestos y los seguros. Estas partidas representan costos esenciales para la operación de la planta, independientemente del nivel de producción.

Posteriormente, se valoran las partidas relacionadas con el TPC, que incluyen los servicios, la administración, la distribución, las ventas y la investigación y desarrollo. Estos costos son proporcionales al volumen o valor del producto y reflejan los gastos necesarios para apoyar la operación, comercialización y mejora continua de la planta.

El TPC se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{TPC} = \frac{A}{(1-P)} \quad (3)$$

donde:

A = Costos fijos o independientes.

P = Fracción de costos variables o proporcionales al TPC.

En la TABLA XLIV, se detalla la base de capital considerada para el cálculo de gastos operativos (OPEX).

TABLA XLIV: Base de Capital

Base de Capital para OPEX	Valor (USD) / Parámetro	Descripción
FCI Total	\$3.306.090,90	Inversión total fija, que incluye el terreno.
FCI Neto de Terreno	\$849.090,90	Costo base para depreciación, impuestos, seguros y mantenimiento, que excluye el terreno.
Estructura P Adoptada	$P = 17,6\%^{26} \rightarrow (1-P) = 0,824$	Fracción de costos dependientes del TPC.

En la TABLA XLV, se presentan las materias primas consumidas en 2026, junto con sus cantidades, precios unitarios y costos anuales.

TABLA XLV: Materias Primas Consumidas en 2026

Insumo	Consumo (kg/año)	Precio (USD/kg)	Costo (USD/año)
Hidróxido de sodio	885.600	0,72	637.632
Ácido nítrico (68%)	745.380	0,77	573.942,60
Ácido clorhídrico (32%)	383.760	0,29	111.290,40
Sulfato ferroso heptahidratado	4.320	2,29	9.892,80
EDTA	1.476	3,95	5.830,20
Ácido sulfúrico (98%)	12.096	0,35	4.233,60
Zinc metálico	500,4	2,69	1.346,08
RAEE	1.069.050	0	0
Total MP (USD)			1.344.167,68

La siguiente tabla presenta las partidas de costos fijos, que no dependen del TPC. La estimación de la masa salarial se realiza de acuerdo con el Convenio Colectivo de Trabajo que considera la estructura salarial vigente y las cargas sociales bajo el régimen MiPyME con

²⁶ Servicios 5,6%, distribución 8% e investigación y desarrollo 4% = 17,6%

reducción del 50% en las contribuciones patronales. (Sindicato del Personal de Industrias Químicas y Petroquímicas, 2025)

TABLA XLVI: Partidas de Costos Fijos (2026)

Partida	Cálculo	USD/año
Mano de Obra (MO)	$68.566,85 \times 12$ (Ver Anexo J)	806.970,28
<i>Overhead</i> de planta	$43,31\% \times (MO + Mant + Sumin.)$	357.589,13
Laboratorio	$10\% \times$ Mano de obra	80.697,02
Depreciación	$6\% \times 849.090,90$	50.945,45
Mantenimiento	$2\% \times 849.090,90$	16.981,82
Impuestos locales	$2\% \times 849.090,90 - 50\%$	8.490,91
Seguros	$0,7\% \times 849.090,90$	5.943,64
Suministros	$10\% \times$ Mantenimiento	1.698,18
Subtotal Costos Fijos (A sin MP)		1.329.316,44

Al adoptar una distribución equivalente al 17,6% del TPC, se detallan las partidas proporcionales de servicios, distribución e investigación y desarrollo para el año 2026, en el que se indican los porcentajes aplicados y el monto resultante en dólares estadounidenses:

TABLA XLVII: Partidas Proporcionales al TPC

Partida	% s/TPC	Monto 2026 (USD/año)
Servicios	5,6%	188.525,01
Distribución y Ventas	8%	269.094,01
I+D	4%	134.547,01

Por último, en la TABLA XLVIII, se presentan los resultados proyectados para el período 2026–2030, donde se detalla la evolución de las materias primas (MP), las demás partidas, la suma ‘A’ y el TPC anual estimado obtenido, aplicando el factor 0,824.

TABLA XLVIII: Evolución de los Costos Operativos (2026–2030)

Año	Total MP (USD/año)	Otras partidas (USD/año)	ΣA (USD/año)	TPC (USD/año)
2026	1.344.167,68	1.329.316,44	2.673.484	3.244.519,56
2027	1.446.320,80	1.334.033,07	2.780.354	3.374.215,86
2028	1.549.742,88	1.339.157,56	2.888.900	3.505.947,13
2029	1.651.379,78	1.343.543,94	2.994.924	3.634.616,16
2030	1.779.102,18	1.343.543,94	3.122.646	3.789.619,07

El detalle de los cálculos interanuales se presenta en el Anexo K.

6.4 Punto de Equilibrio

El análisis del punto de equilibrio permite identificar el nivel mínimo de operación a partir del cual un proyecto logra cubrir sus costos y comienza a generar beneficios. En términos generales, este método contrasta los ingresos proyectados con la estructura de costos fijos y variables, en el que se determina el umbral de producción, el cual asegura la sostenibilidad de la actividad. Su utilidad radica en que ofrece una medida clara del riesgo económico, al señalar cuántas toneladas deben procesarse para evitar pérdidas.

En el caso de la planta de reciclaje, la producción no se organiza en líneas independientes, sino que todos los productos se obtienen de manera conjunta a partir del procesamiento de residuos electrónicos. Por lo tanto, la unidad de análisis del punto de equilibrio es la tonelada de RAEE procesada, y no cada coproducto de manera aislada. Cada tonelada tratada se transforma en un *mix* de productos en proporciones fijas, según el balance desarrollado en el CAPÍTULO IV.

El cálculo se basa en el ingreso promedio generado por tonelada de RAEE y en el costo variable unitario por tonelada, ubicado en 6.3 Costos Operativos.

La diferencia entre ambos define el margen de contribución unitario (MC_u).

Finalmente, el punto de equilibrio en toneladas de RAEE se determina aplicando la siguiente relación:

$$Q_{PE} = \frac{CF}{MC_u}, \text{ con } MC_u = \left(\sum_{j=1}^m Q_{j/u} \times P_j \right) - CV_u \quad (4)$$

donde:

CF = costos fijos totales de la planta,

$Q_{j/u}$ = cantidad del producto j obtenida por tonelada de RAEE,

P_j = precio de venta unitario del producto j ,

CV_u = costo variable unitario por tonelada de RAEE procesada.

En el cuadro que se presenta a continuación, se adjuntan los ingresos esperados según cada escenario (pesimista, base y optimista). Los precios unitarios considerados y las cantidades de producto provienen de los capítulos previos (CAPÍTULO III y CAPÍTULO IV), a partir de los cuales se han realizado los cálculos. (Ver Anexo L)

TABLA XLIX: Ingresos Esperados según Escenario

Año	Ingreso Pesimista	Ingreso Base	Ingreso Optimista
2026	\$ 2.663.680	\$ 2.832.163	\$ 3.000.647

Para 2026, los resultados esperados son los siguientes:

- Costos fijos (CF): USD 1.329.316,44
- Materias primas (MP): USD 1.344.167,68
- Partidas proporcionales (17,6% del TPC): USD 592.166,03
- Costo variable total (MP + proporcionales): USD 1.936.333,71
- Producción anual considerada (unidades vendidas): 10.340 toneladas de RAEE
- Costo variable unitario (CV_u): USD 182,27/Tn

TABLA L: Resultados Esperados en 2026

Escenario	Ingreso total (USD/año)	Ingreso unitario (USD/Tn)	MC_u (USD/Tn)	Q_{pe} (Tn/año)
Escenario Pesimista	2.663.680	257,66	70.39	18.886
Escenario Base	2.832.163	273,88	86.61	15340
Escenario Optimista	3.000.647	290,21	102.94	12.916

La Figura 23 presenta el gráfico de punto de equilibrio correspondiente a los tres escenarios de evaluación del proyecto. En el eje de abscisas, se representan las toneladas de residuos tecnológicos procesadas por año (Tn/año), mientras que en el eje de ordenadas se expresan los valores monetarios en dólares estadounidenses (USD).

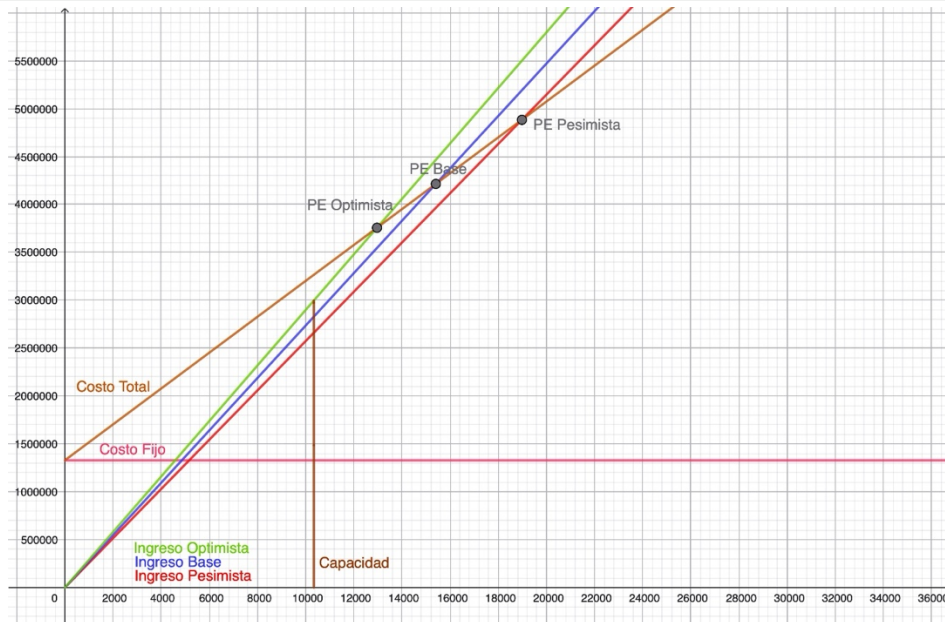


Figura 23: Gráfico de Punto de Equilibrio.

Fuente: Elaboración Propia mediante GeoGebra (*Geogebra, s.f.*)

Las líneas verdes, azules y rojas corresponden respectivamente a los ingresos totales en los escenarios optimista, base y pesimista, mientras que las líneas naranja y rosa representan el Costo Total y el Costo Fijo del sistema. Adicionalmente, la línea vertical marrón señala la capacidad instalada de la planta, equivalente a 10.340 Tn/año.

Se observa que en el escenario pesimista, el punto de equilibrio se ubica muy por encima de la capacidad instalada, lo cual evidencia la inviabilidad económica del proyecto bajo dichas condiciones.

En el escenario base, el umbral de equilibrio aún supera la capacidad instalada, pero se aproxima en mayor medida, lo cual refleja una mejor relación entre ingresos y costos.

Por su parte, en el escenario optimista, el punto de equilibrio se acerca considerablemente a la capacidad instalada, pero todavía la supera levemente. Este comportamiento demuestra la alta incidencia de los costos fijos durante la etapa inicial de operación.

6.5 Análisis de Pareto de Ingresos por Producto

En este apartado, se presenta el análisis de Pareto de los ingresos proyectados con el fin de identificar los productos que poseen mayor incidencia económica dentro de la estructura de ventas del proyecto.

El estudio se desarrolla considerando los tres escenarios planteados con el objetivo de evaluar cómo varía la contribución relativa de cada producto ante diferentes condiciones del mercado. De esta manera, el análisis permite determinar cuáles son los componentes críticos que concentran el mayor porcentaje de los ingresos totales, orientando futuras estrategias de producción, comercialización y priorización de recursos.

En TABLA LI, TABLA LII y TABLA LIII se presentan los resultados del análisis de ingresos estimados para cada producto bajo los tres escenarios considerados. Los valores corresponden al producto entre la producción anual proyectada y el precio unitario esperado en cada caso, expresados en USD/año.

TABLA LI: Análisis de Ingreso en Escenario Pesimista

Producto	Producción Anual (Kg)	Precio unitario (USD/Kg)	Valor de Venta (USD)	Participación de ingresos
Aluminio Sucio	1.045.000	0,830	867.350	33%
Oro	5,629	123.905	697.462	26%
Fertilizante	358.000	1,258	450.364	17%
Aleaciones	127.900	2,300	294.170	11%
Plata	202	964,520	194.833	7%
Chatarra Ferrosa	1.595.000	0,100	159.500	6%

La Figura 24 representa el escenario pesimista, la cual muestra que el aluminio sucio representa la mayor contribución a los ingresos (33%), seguido por el oro (26 %) y el fertilizante

(17%). En conjunto, estos tres productos concentran alrededor del 76% de los ingresos totales, lo que evidencia su alta incidencia económica incluso bajo condiciones desfavorables del mercado.

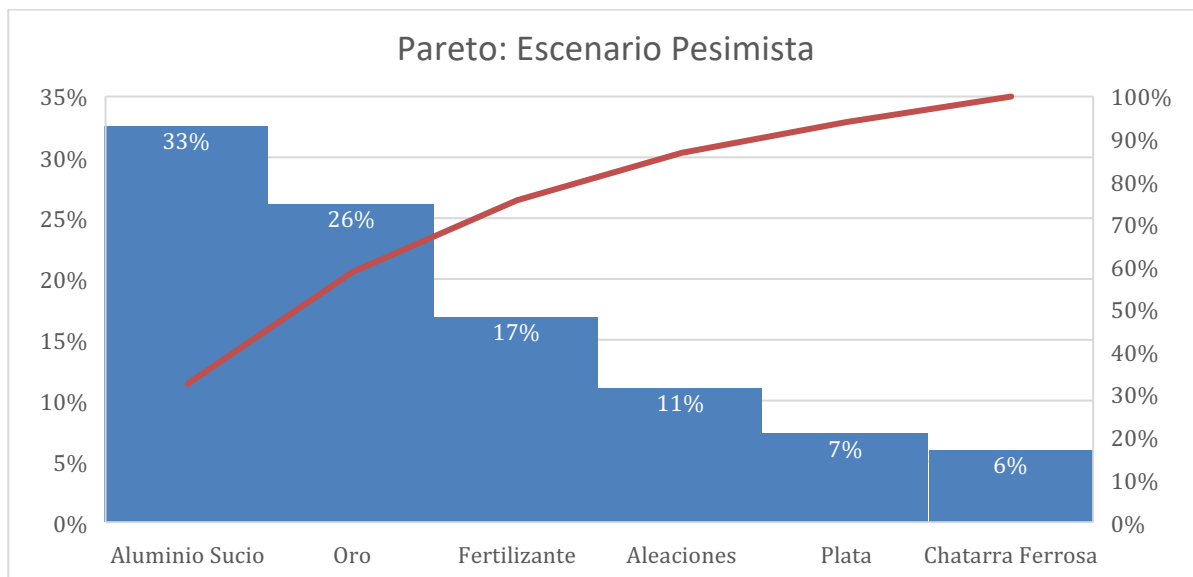


Figura 24: Análisis de Pareto del Escenario Pesimista
Fuente: Elaboración Propia mediante Microsoft Excel

TABLA LII: Análisis de Ingreso en Escenario Base

Producto	Producción Anual (Kg)	Precio unitario (USD/Kg)	Valor de Venta (USD)	Participación de ingresos
Aluminio Sucio	1.045.000	0,930	971.850	34%
Oro	5,629	124.240	699.347	25%
Fertilizante	358.000	1,266	453.228	16%
Aleaciones	127.900	2,650	338.935	12%
Plata	202	996,670	201.327	7%
Chatarra Ferrosa	1.595.000	0,105	167.475	6%

En la Figura 25 se representa el escenario base, el cual mantiene la misma estructura de relevancia, con el aluminio sucio aportando el 34%, el oro el 25% y el fertilizante el 16% de

los ingresos. Las aleaciones y la plata representan participaciones menores pero estables (12% y 7% respectivamente), mientras que la chatarra ferrosa conserva una incidencia marginal del 6%.

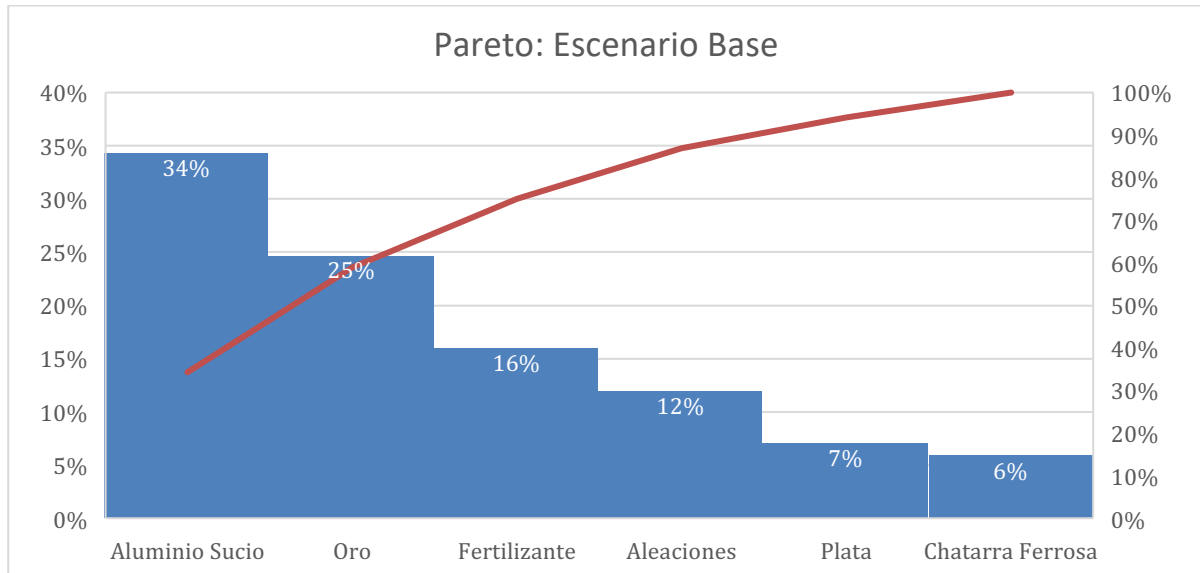


Figura 25: Análisis de Pareto del Escenario Base.
Fuente: Elaboración Propia mediante Microsoft Excel

TABLA LIII: Análisis de Ingreso en Escenario Optimista

Producto	Producción Anual (Kg)	Precio unitario (USD/Kg)	Valor de Venta (USD)	Participación de ingresos
Aluminio Sucio	1.045.000	1,030	1.076.350	36%
Oro	5,629	124.574	701.232	23%
Fertilizante	358.000	1,274	456.092	15%
Aleaciones	127.900	3,000	383.700	13%
Plata	202	1.028,820	207.821	7%
Chatarra Ferrosa	1.595.000	0,110	175.450	6%

Por último, la Figura 26 refleja que, en el escenario optimista, hay una mejora general de los valores absolutos, manteniendo el orden de contribución relativo: el aluminio sucio incrementa su participación al 36%, el oro alcanza el 23%, y el fertilizante el 15%. En este

escenario favorable, los tres principales productos continúan concentrando aproximadamente el 74% de los ingresos proyectados.

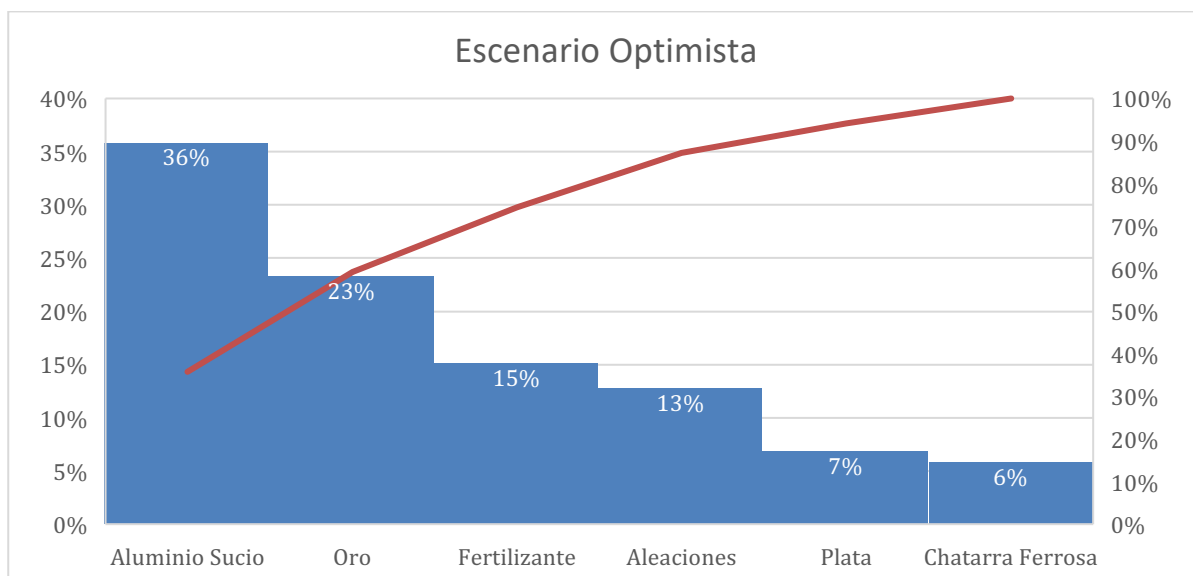


Figura 26: Análisis de Pareto del Escenario Optimista.
Fuente: Elaboración Propia mediante Microsoft Excel

6.6 Consideraciones Finales

En 2026, el punto de equilibrio (PE) en toneladas de RAEE procesadas supera la capacidad instalada en los tres escenarios (pesimista, base y optimista). Con la estructura actual de costos fijos (CF) y costos variables unitarios (CV_u), la planta no cubre sus costos: **el margen de contribución es insuficiente para absorber los CF antes de agotar la capacidad**. El riesgo operativo proviene de CF altos en el arranque, por lo que alcanzar el PE exige ganar escala y/o mejorar el margen unitario.

El ajuste de escala está condicionado por el techo de oferta local de RAEE. En Argentina, en 2022, se generaron unas 517 kilotoneladas de RAEE, pero la recolección formal fue solo del 5% ($\approx 25,8$ kilotoneladas). Una nueva empresa no puede planificar reciclar más de lo que efectivamente se recolecta: con 10.340 toneladas anuales de capacidad, el proyecto aspiraría a $\approx 40\%$ del volumen formalmente reciclado hoy, una proporción muy alta para un entrante, salvo que amplíe la recolección junto con el mercado.

Para alcanzar el PE, la empresa debe actuar en dos frentes: Primero, **ampliar la oferta de material reciclado** mediante convenios de REP con fabricantes e importadores, acuerdos con municipios, fortalecimiento de la logística inversa y creación de puntos limpios. Sin mayor captación de RAEE, la escala de operación no crecerá y el PE seguirá fuera de alcance.

En paralelo, **mejorar el margen unitario**. Esto implica priorizar fracciones de mayor valor e incorporar contratos de venta con cláusulas de indexación para proteger el precio, reducir el CV_u a través de compras más eficientes de químicos y energía, mejorar la eficiencia energética y operativa, aumentar los rendimientos metalúrgicos y, finalmente, valorizar subproductos que hoy no generan ingresos.

Al inicio, el PE queda por encima de la capacidad por la combinación de CF elevados y la limitada oferta formal de RAEE. **La viabilidad depende de ampliar la recolección nacional (del 5% actual), perfeccionar el margen unitario y modular los CF**. Con un plan de abastecimiento agresivo y mejoras operativas, el proyecto podría llevar el PE por debajo de la capacidad hacia 2027–2028; sin expansión de la recolección, el riesgo será estructural.

El análisis de Pareto de ingresos refuerza este diagnóstico al evidenciar que una proporción reducida de productos concentra la mayor parte de la rentabilidad total. En los tres escenarios considerados, **el aluminio sucio y el oro representan en conjunto el 59% de los ingresos anuales según el escenario**, lo que indica una estructura de ingresos concentrada y dependiente de estas fracciones.

Por lo tanto, la rentabilidad global del proyecto estará estrechamente vinculada al comportamiento técnico y comercial de estos dos productos, así como a la estabilidad de sus precios y volúmenes de recuperación.

CAPÍTULO VII
ANÁLISIS FINANCIERO

7.1 Cálculo de la WACC

Para determinar la viabilidad económico-financiera del proyecto, es primordial calcular el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC). Este indicador refleja la tasa mínima de rentabilidad que el proyecto debe generar para cumplir con las expectativas de acreedores y accionistas, el cual combina el costo de la deuda y el costo del capital propio de acuerdo con la estructura de financiamiento utilizada (Peters, Timmerhaus, & West, 2003).

El cálculo del WACC requiere definir los siguientes parámetros:

1. Tasa libre de riesgo (R_f): Se utiliza el rendimiento del bono del Tesoro de los Estados Unidos a 10 años, que al 2025 se sitúa en aproximadamente 4,12% anual en dólares (Trading Economics, 2025).
2. Prima de riesgo país: Argentina presenta un riesgo país elevado con un *default spread*²⁷ de 11,88% y un *Equity Risk Premium*²⁸ total estimado en 20,35% (Damodaran, A., 2025).
3. Beta del proyecto (β): Se adopta un valor de 1,2 en el que se considera la sensibilidad típica de proyectos industriales en mercados emergentes con exposición a riesgos operativos y macroeconómicos.
4. Costo del equity (K_e): calculado mediante el modelo CAPM²⁹ ajustado por riesgo país:

$$K_e = R_f + \beta \times (ERP_{Arg}) \quad (5)$$

Sustituyendo los valores, el $K_e = 28,54\%$

²⁷ Diferencia de rendimiento entre bonos corporativos y bonos del gobierno, que refleja el riesgo de impago.

²⁸ Rendimiento adicional que los inversionistas esperan por invertir en acciones en lugar de activos sin riesgo.

²⁹ Fórmula que relaciona el riesgo sistemático de un activo con su rendimiento esperado sobre la tasa libre de riesgo.

-
5. Costo de la deuda (K_d): Mientras que bonos corporativos USD de empresas argentinas con buen perfil rinden entre 7-8%, la deuda soberana Argentina en dólares ha presentado rendimientos de ~12% en tramos largos.
En ese contexto, adoptar un $K_d = 12,8\%$ incorpora un spread adicional al riesgo operativo, crediticio y sectorial del proyecto. (Ambito, 2025) (InvertirOnline, 2025)
 6. Tasa de impuesto corporativo (t): 35% según legislación vigente en Argentina. (Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP), 2025)
 7. Estructura de capital: Se asume una composición del 45% de equity y 55% de deuda, consistente con prácticas de financiamiento industrial en contextos de riesgo elevado.

Con estos valores, el WACC se calcula como:

$$WACC = \frac{E}{E + D} \times K_e + \frac{D}{E + D} \times K_d \times (1 - t) \quad (6)$$

Sustituyendo los valores, la **WACC $\approx 17,5\%$**

7.2 Cálculo del Valor Terminal con Flujo Constante Finito

El valor terminal con flujo constante finito se utiliza habitualmente cuando un proyecto mantiene flujos estables durante un período determinado posterior al horizonte explícito de proyección.

Su cálculo se realiza trayendo al presente los flujos futuros FC_{2030} descontados a al WACC, según la siguiente expresión:

$$VT = \sum_{n=1}^N \frac{FC_{2030}}{(1 + WACC)^{n+5}} \quad (7)$$

donde:

FC_{2030+n} = flujo de caja libre proyectado para los años posteriores a 2030 (en este caso, 2031–2035)

$WACC$ = tasa de descuento

$n + 5$ = distancia temporal desde el año base (2025) hasta cada flujo

Este enfoque parte de la idea de que, una vez que el proyecto alcanza su madurez operativa, genera flujos de caja constantes durante un tiempo limitado, hasta su cierre o renovación de activos (Damodaran, 2012). Sin embargo, en este estudio no se aplica el modelo de flujo constante finito debido a la existencia de créditos fiscales acumulados en los primeros años de operación, como resultado de pérdidas operativas.

Cuando el EBIT es negativo, el impuesto a las ganancias no se paga y se origina un crédito fiscal equivalente al 35% de la pérdida fiscal, que se compensa contra ganancias futuras. Este crédito reduce la carga impositiva en los años siguientes hasta su absorción total. En estos casos, la aplicación de un valor terminal único genera una distorsión en los resultados, ya que los flujos futuros se ajustan por los beneficios fiscales diferidos. Por esta razón, los flujos correspondientes al periodo 2031-2035 se calculan de forma explícita y año por año, en lugar de resumirse en un valor terminal agregado.

Para este cálculo, las variables operativas (ventas, TPC, depreciación y EBIT) permanecen constantes a partir de los valores alcanzados en 2030, pero con la incorporación del efecto de los créditos fiscales sobre el impuesto a las ganancias. De esta forma, los flujos reflejan el comportamiento real del proyecto y su situación fiscal, evitan sobreestimaciones y mantienen coherencia con la evolución impositiva y operativa del modelo.

7.3 Proyección de Flujos

Para estudiar la evolución económico-financiera del proyecto bajo distintas condiciones de mercado, se elaboraron estados de resultados simplificados para el período 2026–2030, en el que se diferencian los tres escenarios definidos en el CAPÍTULO VI: pesimista (TABLA LIV), base (TABLA LV) y optimista (TABLA LVI). La metodología aplicada combina las proyecciones de ingresos por ventas con los costos operativos y la depreciación anual calculada sobre el FCI neto de terreno.

A continuación, se explica cómo se construyen los valores en USD de cada partida en las tablas:

1. Ventas: Corresponden a los ingresos anuales proyectados en cada escenario. (Ver Anexo L)
2. Total Product Cost (TPC): Incluye todos los costos operativos anuales, en el que se incorpora la depreciación.
3. Depreciación: Representa el cargo contable anual (6% del FCI neto de terreno). Se muestra de forma separada en los cuadros para destacar su magnitud, pero ya está contenido dentro del TPC.
4. Earnings Before Interest and Taxes (EBIT): Se obtiene como la diferencia entre las Ventas y el TPC.
5. Impuestos: Es del 35% en el que se calcula únicamente si el EBIT es positivo. En caso contrario, el impuesto se registra en cero.
6. Crédito Fiscal: El crédito fiscal por quebrantos impositivos representa el beneficio tributario que obtiene una empresa cuando en un ejercicio presenta pérdidas contables

o fiscales (EBIT negativo).

7. Resultado Neto: Es el EBIT menos el Impuesto.

8. Flujo de Fondos Libre (FCF): Dado que la depreciación no representa una salida real de caja, se la suma nuevamente al resultado neto. Además, en los años con inversiones adicionales debe restarse el *Capital Expenditure*³⁰ (CAPEX).

TABLA LIV: Proyección de Flujo en Escenario Pesimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	2.663.680	2.956.234	3.273.129	3.620.416	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246
TPC (Costos Totales)	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	-580.840	-417.982	-232.818	-14.200	188.627	188.627	188.627	188.627	188.627	188.627
Impuesto	0	0	0	0	0	66.020	66.020	66.020	66.020	66.020	66.020
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	203.294	146.294	81.486	4.970	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	203.294	349.588	431.074	436.044	436.044	370.025	304.005	237.985	171.966	105.946
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	66.020	66.020	66.020	66.020	66.020	66.020
Resultado Neto	-3.306.091	-580.840	-461.442	-232.818	-54.618	188.627	188.627	188.627	188.627	188.627	188.627
FCF	-3.306.091	-529.895	-407.889	-179.265	1.360	244.605	244.605	244.605	244.605	244.605	244.605

³⁰ Gasto de inversión en activos fijos o bienes de capital que permiten operar o expandir un proyecto.

TABLA LV: Proyección de Flujo en Escenario Base

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	2.832.163	3.134.820	3.462.233	3.816.003	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731
TPC (Costos Totales)	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	-412.356	-239.395	-043.714	181.386	389.112	389.112	389.112	389.112	389.112	389.112
Impuesto	0	0	0	0	63.485	136.189	136.189	136.189	136.189	136.189	136.189
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	144.325	83.788	15.300	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	144.325	228.113	243.413	243.413	179.928	43.739	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	63.485	136.189	43.739	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	-412.356	-282.855	-043.714	140.968	389.112	296.662	252.923	252.923	252.923	252.923
FCF	-3.306.091	-361.411	-229.302	9.839	196.946	445.090	352.640	308.901	308.901	308.901	308.901

TABLA LVI: Proyección de Flujo en Escenario Optimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.000.647	3.313.407	3.651.337	4.011.589	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216
TPC (Costos Totales)	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	-243.873	-60.809	145.389	376.973	589.597	589.597	589.597	589.597	589.597	589.597
Impuesto	0	0	0	50.886	131.941	206.359	206.359	206.359	206.359	206.359	206.359
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	85.356	21.283	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	85.356	106.639	106.639	55.752	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	50.886	55.752	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	-243.873	-104.269	145.389	260.367	383.238	383.238	383.238	383.238	383.238	383.238
FCF	-3.306.091	-192.928	-50.716	198.942	316.345	439.216	439.216	439.216	439.216	439.216	439.216

En los tres escenarios, los FCF muestran una tendencia de mejora a lo largo del tiempo:

En el escenario **pesimista**, los flujos comienzan negativos, pero se vuelven positivos a partir de 2029, manteniéndose crecientes y estables en los años siguientes.

En el escenario **base**, los valores negativos iniciales se revierten rápidamente y, desde 2028, los flujos se consolidan como positivos, en el que aumenta progresivamente hasta superar los 300 mil dólares anuales.

En el escenario **optimista**, los flujos de caja libres son positivos desde 2028 y alcanzan los mayores valores, en el que se estabiliza alrededor de 430.000 USD por año hacia el final del horizonte.

En síntesis, los flujos reflejan una recuperación gradual y sostenida: todos los escenarios muestran que, tras los primeros años con resultados ajustados, la operación del proyecto genera FCF positivos crecientes y estables en el largo plazo.

7.4 Cálculo del Valor Actual Neto

Una vez definidos los parámetros financieros del proyecto, corresponde determinar la Valor Actual Neto (VAN) como principal indicador de viabilidad económica. El cálculo se sustenta en la metodología y supuestos presentados en los apartados anteriores:

1. En el apartado 7.1 Cálculo de la WACC se establece la tasa de descuento a utilizar, correspondiente al WACC, calculada en un 17,5% anual en dólares. Esta tasa refleja simultáneamente el costo de la deuda y del *equity*, ponderados por la estructura de financiamiento adoptada.
2. En el apartado 7.2 Calculo del Valor Terminal se define el criterio de cálculo de los flujos para los periodos de 2031 a 2035.
3. En el apartado 7.3 Proyección de Flujos se presentaron las proyecciones de FCF para el período 2026–2030, diferenciados en tres escenarios (pesimista, base y optimista), que constituyen la base de cálculo de la VAN.

La VAN se determina mediante la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FCF_t}{(1 + WACC)^t} - Inversión Inicial \quad (8)$$

donde:

n es el horizonte de proyección explícito en el que es igual a 10 (hasta 2035)

FCF_t son los flujos de fondos libres proyectados para cada año

WACC es la tasa de descuento.

VT es el valor terminal calculado con flujo constante finito.

Inversión Inicial corresponde al monto calculado en el 6.1

Sustituyendo los valores, los resultados son:

TABLA LVII: Resultados de la VAN

VAN (USD)		
Pesimista	Base	Optimista
-3.707.647	-3.018.792	-2.402.051

En los tres escenarios, la VAN resulta **negativa**, lo que indica **que el proyecto no recupera la inversión inicial ni genera valor económico bajo las condiciones actuales de costos, precios y financiamiento**. Aun en el escenario optimista, el proyecto muestra una brecha significativa respecto al umbral de rentabilidad.

7.5 Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que iguala a cero el Valor Actual Neto de un proyecto. Matemáticamente, representa la tasa de rendimiento promedio que generan los flujos de fondos futuros respecto a la inversión inicial.

Se calcula resolviendo la siguiente ecuación:

$$\sum_{t=1}^n \frac{FCF_t}{(1 + TIR)^t} - Inversión Inicial = 0 \quad (9)$$

donde:

FCF_t es el flujo de fondos en el año correspondiente

n es el horizonte de evaluación

TIR es la tasa interna de retorno

En otras palabras, la TIR indica la rentabilidad implícita del proyecto sin necesidad de asumir una tasa de descuento externa, y se interpreta como el máximo costo de capital que el emprendimiento puede soportar antes de volverse no rentable.

El criterio de decisión es:

- Si $TIR > WACC \rightarrow$ el proyecto es rentable.
- Si $TIR < WACC \rightarrow$ el proyecto no es conveniente.

Por definición, la TIR existe solo cuando el VAN puede anularse en algún valor positivo de tasa de descuento. En este estudio, dado que el VAN permanece negativo en todos los escenarios evaluados, no se alcanza un punto de rentabilidad; por lo tanto, no es posible obtener una TIR positiva que iguale la inversión inicial.

7.6 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad evalúa la robustez económica del proyecto frente a variaciones en los parámetros críticos que determinan su rentabilidad. Su propósito es identificar las condiciones bajo las cuales la planta pueda sostener indicadores positivos de VAN y TIR.

En esta sección se analizan cinco escenarios de sensibilidad para la evaluación del proyecto: la **reducción del Costo Total de Producto (TPC)**, el **costo de capital (WACC)**, y las **variaciones de precios del aluminio y del oro**, así como un **incremento promedio de los precios de venta de los productos recuperados**.

El TPC, que incluye insumos, mano de obra, mantenimiento y gastos generales, se evalúa mediante un proceso iterativo automatizado en Excel (“Búsqueda de Objetivo”), determinando la reducción porcentual necesaria para alcanzar un VAN nulo y estimar el punto de equilibrio económico.

El WACC se analiza considerando un escenario base y uno alternativo del 12%, asociado a la posibilidad de acceder a financiamiento verde más económico.

La sensibilidad de los precios del aluminio y del oro se estudia ajustando sus valores unitarios hasta que el VAN se anule, lo que permite cuantificar la influencia de cada metal en la rentabilidad y el margen de seguridad frente a fluctuaciones del mercado.

Finalmente, un escenario de incremento generalizado de los precios de venta evalúa la elasticidad global de los ingresos y el impacto directo sobre la rentabilidad, que proporciona una visión integral de la resiliencia del proyecto frente a mejoras en los precios de los productos comercializados.

Con estos cinco ejercicios de sensibilidad, se busca determinar las condiciones mínimas y suficientes para que el proyecto sea rentable, cuantificando su impacto sobre el VAN y la TIR.

7.6.1 Sensibilidad del TPC

El presente apartado analiza la aplicación del análisis de sensibilidad al TPC en los tres escenarios considerados para la evaluación económica del proyecto, cuyos flujos de fondos resultantes se presentan en la TABLA LVIII, TABLA LIX y TABLA LX. En esta etapa, todas las variables del modelo permanecieron constantes, variando únicamente el porcentaje del TPC hasta alcanzar el equilibrio económico.

Para obtener estos resultados, se utiliza el procedimiento iterativo previamente descrito, mediante la herramienta “Búsqueda de Objetivo” de Excel, con el objetivo de determinar, en cada escenario, la reducción del TPC necesaria para que el VAN fuera igual a cero. Este enfoque permite cuantificar la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto frente a cambios en la estructura de costos, identificando el nivel mínimo de eficiencia o los márgenes de mejora requeridos para mantener la viabilidad económica bajo distintas condiciones del mercado.

Los resultados muestran una relación directa entre las condiciones de mercado y la magnitud de la reducción del TPC necesaria para alcanzar el equilibrio económico. En el **Escenario Pesimista**, el proyecto requiere una reducción del 33% del TPC para lograr un VAN nulo, lo que refleja una elevada dependencia de la rentabilidad respecto de los costos operativos. En el **Escenario Base**, la reducción necesaria disminuye al 27,7%, mientras que en el **Escenario Optimista** alcanza un valor de 22,4%, evidenciando una menor exigencia de ajuste bajo condiciones favorables.

En consecuencia, se concluye que **el proyecto presenta una sensibilidad moderada frente a variaciones en el TPC** y que una disminución parcial de los costos, la negociación de mejores condiciones de compra o la aplicación de beneficios fiscales podrían permitir su rentabilidad incluso en contextos desfavorables. De este modo, el control de costos y las políticas de abastecimiento se consolidan como factores relevantes para garantizar la sostenibilidad financiera del proyecto.

TABLA LVIII: Proyección de Flujo en Escenario Pesimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	2.663.680	2.956.234	3.273.129	3.620.416	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246
TPC (Costos Totales)	0	2.174.274	2.261.189	2.349.467	2.435.693	2.539.566	2.539.566	2.539.566	2.539.566	2.539.566	2.539.566
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	489.405	695.045	923.662	1.184.723	1.438.680	1.438.680	1.438.680	1.438.680	1.438.680	1.438.680
Impuesto	0	171.292	243.266	323.282	414.653	503.538	503.538	503.538	503.538	503.538	503.538
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	318.113	408.319	600.380	729.652	935.142	935.142	935.142	935.142	935.142	935.142
FCF	-3.306.091	369.058	461.872	653.933	785.630	991.120	991.120	991.120	991.120	991.120	991.120

TABLA LIX: Proyección de Flujo en Escenario Base

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	2.832.163	3.134.820	3.462.233	3.816.003	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731
TPC (Costos Totales)	0	2.346.186	2.439.973	2.535.231	2.628.274	2.740.360	2.740.360	2.740.360	2.740.360	2.740.360	2.740.360
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	485.977	694.848	927.002	1.187.728	1.438.371	1.438.371	1.438.371	1.438.371	1.438.371	1.438.371
Impuesto	0	170.092	243.197	324.451	415.705	503.430	503.430	503.430	503.430	503.430	503.430
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	315.885	408.191	602.551	731.605	934.941	934.941	934.941	934.941	934.941	934.941
FCF	-3.306.091	366.830	461.744	656.104	787.583	990.919	990.919	990.919	990.919	990.919	990.919

TABLA LX: Proyección de Flujo en Escenario Optimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.000.647	3.313.407	3.651.337	4.011.589	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216
TPC (Costos Totales)	0	2.518.098	2.618.757	2.720.994	2.820.855	2.941.154	2.941.154	2.941.154	2.941.154	2.941.154	2.941.154
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	482.548	694.650	930.342	1.190.734	1.438.062	1.438.062	1.438.062	1.438.062	1.438.062	1.438.062
Impuesto	0	168.892	243.128	325.620	416.757	503.322	503.322	503.322	503.322	503.322	503.322
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	313.656	408.063	604.722	733.559	934.740	934.740	934.740	934.740	934.740	934.740
FCF	-3.306.091	364.601	461.616	658.275	789.537	990.718	990.718	990.718	990.718	990.718	990.718

7.6.2 Sensibilidad de la WACC

La tasa de descuento aplicada a los flujos de caja futuros constituye un factor crítico en la determinación del VAN y de la TIR. En el escenario base se adopta un WACC del 17,5%, coherente con las condiciones de financiamiento en Argentina, caracterizadas por un elevado riesgo país, altos costos financieros y restricciones en el acceso al crédito.

No obstante, el sector de reciclaje de RAEE ofrece la posibilidad de acceder a esquemas de financiamiento más favorables mediante programas de promoción de la economía circular, líneas de crédito verdes y fondos internacionales orientados a objetivos ESG (Environmental, Social and Governance). Estos instrumentos otorgan tasas reducidas al reconocer el impacto ambiental y social positivo de la actividad.

En este contexto, se plantea un análisis de sensibilidad con una **reducción del WACC al 12%**, con el propósito de evaluar cómo un menor costo de capital afecta la valorización del proyecto. Esta simulación permite dimensionar el efecto de acceder a financiamiento verde o a instrumentos con respaldo estatal y estimar en qué medida se mejora la rentabilidad proyectada, reforzando la viabilidad financiera del emprendimiento.

TABLA LXI: Resultados de la VAN

VAN (USD)		
Pesimista	Base	Optimista
-3.591.988	-2.821.724	-2.106.745

Bajo esta premisa, la reducción del WACC atenúa parcialmente las pérdidas respecto del cálculo original al 17,5%, pero **en ninguno de los escenarios se alcanza un VAN positivo**. Esto confirma que **la viabilidad del proyecto no depende únicamente del costo de capital**, sino principalmente de la capacidad de generar mayores ingresos operativos.

El análisis adicional indica que cada 1% de reducción en el WACC incrementa el VAN en aproximadamente 21.000 USD en el escenario pesimista, 44.700 USD en el escenario base y 67.900 USD en el escenario optimista. Estos resultados evidencian que la tasa de descuento

es un factor relevante en la valorización financiera; sin embargo, incluso con un costo de capital más bajo, el efecto no revierte los resultados negativos. En conclusión, **la sensibilidad al WACC muestra que el VAN permanece negativo, por lo que el proyecto no resulta rentable bajo los supuestos considerados.**

7.6.3 Sensibilidad del Precio del Aluminio Sucio

El presente apartado analiza la aplicación del análisis de sensibilidad al precio del aluminio sucio, identificado en el Análisis de Pareto de Ingresos por Producto (sección 6.5) como el material de mayor contribución dentro de la estructura de ingresos del proyecto.

Con el objetivo de evaluar su impacto sobre la rentabilidad global, se consideraron tres escenarios económicos, cuyos flujos de fondos se presentan en la TABLA LXIII, TABLA LXIV y TABLA LXV, respectivamente.

En este análisis, todas las variables del modelo permanecieron constantes, variando únicamente el precio de venta del aluminio sucio, aplicado de forma uniforme para todos los años del horizonte de proyección, hasta alcanzar el equilibrio económico en cada escenario.

El procedimiento se ejecuta mediante la herramienta Búsqueda de Objetivo de Excel, ajustando iterativamente el valor unitario de venta del aluminio hasta que la función de VAN alcanzara cero.

Los resultados muestran que, para que el proyecto alcance el punto de equilibrio económico, el precio del aluminio sucio debería incrementarse respecto de las proyecciones originales en los siguientes porcentajes:

TABLA LXII: Resultados del Análisis de Sensibilidad del Precio del Aluminio Sucio

Escenario		
Pesimista	Base	Optimista
+110%	+83%	+61%

Estos valores indican que el proyecto presenta sensibilidad media respecto del precio del aluminio sucio en los escenarios base y optimista, mientras que en el escenario pesimista la sensibilidad resulta baja. Esta clasificación sigue los criterios de Peters y Timmerhaus (2003), quienes señalan que un proyecto exhibe sensibilidad media cuando requiere variaciones entre $\pm 30\%$ y $\pm 100\%$ en una variable crítica para que el VAN cambie de signo, y sensibilidad baja cuando dichas variaciones superan el 100% (Peters, Timmerhaus, & West, 2003).

En este caso, aunque el proyecto depende significativamente del valor de mercado del aluminio, las variaciones necesarias para alcanzar el equilibrio económico son lo suficientemente amplias como para evidenciar un grado de resiliencia frente a fluctuaciones moderadas en su cotización internacional.

TABLA LXIII: Análisis de Precios del Aluminio Sucio en Escenario Pesimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.620.224	3.996.908	4.403.954	4.847.806	5.309.031	5.309.031	5.309.031	5.309.031	5.309.031	5.309.031
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	375.704	622.692	898.007	1.213.190	1.519.411	1.519.411	1.519.411	1.519.411	1.519.411	1.519.411
Impuesto	0	131496	217942	314302	424616	531.794	531.794	531.794	531.794	531.794	531.794
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	244.208	361.290	583.704	748.155	987.617	987.617	987.617	987.617	987.617	987.617
FCF	-3.306.091	295.153	414.843	637.257	804.133	1.043.595	1.043.595	1.043.595	1.043.595	1.043.595	1.043.595

TABLA LXIV: Análisis de Precios del Aluminio Sucio en Escenario Base

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.642.321	4.012.927	4.413.058	4.844.622	5.290.548	5.290.548	5.290.548	5.290.548	5.290.548	5.290.548
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	397.802	638.711	907.111	1.210.006	1.500.929	1.500.929	1.500.929	1.500.929	1.500.929	1.500.929
Impuesto	0	139231	223549	317489	423.502	525.325	525.325	525.325	525.325	525.325	525.325
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	258.571	371.702	589.622	746.086	975.604	975.604	975.604	975.604	975.604	975.604
FCF	-3.306.091	309.516	425.255	643.175	802.064	1.031.582	1.031.582	1.031.582	1.031.582	1.031.582	1.031.582

TABLA LXV: Sensibilidad Precio del Aluminio Sucio en Escenario Optimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.660.577	4.026.516	4.421.293	4.842.294	5.274.820	5.274.820	5.274.820	5.274.820	5.274.820	5.274.820
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	416.057	652.300	915.346	1.207.678	1.485.201	1.485.201	1.485.201	1.485.201	1.485.201	1.485.201
Impuesto	0	145620	228305	320.371	422.687	519.820	519.820	519.820	519.820	519.820	519.820
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	270.437	380.535	594.975	744.573	965.381	965.381	965.381	965.381	965.381	965.381
FCF	-3.306.091	321.382	434.088	648.528	800.551	1.021.359	1.021.359	1.021.359	1.021.359	1.021.359	1.021.359

7.6.4 Sensibilidad del Precio del Oro

El presente apartado desarrolla la aplicación del análisis de sensibilidad al precio del oro, identificado en el 6.5 Análisis de Pareto de Ingresos por Producto como el segundo material con mayor incidencia en los ingresos totales del proyecto, después del aluminio sucio. Debido a su alta cotización y su peso relativo en el valor recuperado de las fracciones metálicas de placas electrónicas y microprocesadores, el oro constituye una variable clave dentro del análisis económico-financiero.

Con el objetivo de evaluar su impacto sobre la rentabilidad global, se consideraron tres escenarios económicos, cuyos flujos de fondos se presentan en la TABLA LXVII, TABLA LXVIII y TABLA LXIX, respectivamente.

En este análisis, todas las demás variables del modelo permanecieron constantes, modificándose únicamente el precio de venta del oro recuperado, aplicado de manera uniforme a lo largo de todo el horizonte de proyección hasta alcanzar el equilibrio económico en cada escenario. El cálculo se realiza mediante la herramienta “Búsqueda de Objetivo” de Excel, ajustando iterativamente el valor unitario de venta del oro hasta que el VAN alcanzara cero.

Los resultados muestran que, para que el proyecto alcance el punto de equilibrio económico, el precio del oro debería incrementarse respecto de las proyecciones originales en los siguientes porcentajes:

TABLA LXVI: Resultados del Análisis de Sensibilidad del Precio del Oro

Escenario		
Pesimista	Base	Optimista
+120%	+100%	+81%

Según los criterios de Peters y Timmerhaus (2003) y Park (2011), el proyecto presenta sensibilidad baja frente a la variación del precio del oro en los escenarios pesimista y base, dado que los incrementos requeridos igualan o superan el 100% para que el VAN cambie de signo. En el escenario optimista, donde la variación necesaria es del 81%, la sensibilidad se considera media, al ubicarse dentro del rango comprendido entre $\pm 30\%$ y $\pm 100\%$.

En síntesis, el análisis confirma que el oro constituye una variable de ingreso con sensibilidad baja en los escenarios pesimista y base, y media en el optimista, lo que refleja una dependencia relevante pero no determinante del proyecto respecto de su cotización internacional.

TABLA LXVII: Sensibilidad Precio del Oro en Escenario Pesimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.503.445	3.926.418	4.384.472	4.884.885	5.385.965	5.385.965	5.385.965	5.385.965	5.385.965	5.385.965
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	258.925	552.202	878.525	1.250.269	1.596.346	1.596.346	1.596.346	1.596.346	1.596.346	1.596.346
Impuesto	0	90.624	193.271	307.484	437.594	558.721	558.721	558.721	558.721	558.721	558.721
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	168.301	315.471	571.041	772.257	1.037.625	1.037.625	1.037.625	1.037.625	1.037.625	1.037.625
FCF	-3.306.091	219.246	369.024	624.594	828.235	1.093.603	1.093.603	1.093.603	1.093.603	1.093.603	1.093.603

TABLA LXVIII: Sensibilidad Precio del Oro en Escenario Base

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.537.810	3.949.698	4.395.257	4.877.726	5.359.601	5.359.601	5.359.601	5.359.601	5.359.601	5.359.601
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	293.290	575.482	889.310	1.243.110	1.569.982	1.569.982	1.569.982	1.569.982	1.569.982	1.569.982
Impuesto	0	102.652	201.419	311.259	435.088	549.494	549.494	549.494	549.494	549.494	549.494
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	190.639	330.604	578.052	767.603	1.020.489	1.020.489	1.020.489	1.020.489	1.020.489	1.020.489
FCF	-3.306.091	241.584	384.157	631.605	823.581	1.076.467	1.076.467	1.076.467	1.076.467	1.076.467	1.076.467

TABLA LXIX: Sensibilidad Precio del Oro en Escenario Optimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.571.877	3.972.773	4.405.968	4.870.427	5.333.519	5.333.519	5.333.519	5.333.519	5.333.519	5.333.519
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	327.358	598.557	900.021	1.235.811	1.543.900	1.543.900	1.543.900	1.543.900	1.543.900	1.543.900
Impuesto	0	114.575	209.495	315.007	432.534	540.365	540.365	540.365	540.365	540.365	540.365
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	212.783	345.602	585.014	762.859	1.003.535	1.003.535	1.003.535	1.003.535	1.003.535	1.003.535
FCF	-3.306.091	263.728	399.155	638.567	818.837	1.059.513	1.059.513	1.059.513	1.059.513	1.059.513	1.059.513

7.6.5 Sensibilidad de los Precios de Venta

El presente apartado analiza la aplicación del análisis de sensibilidad al precio promedio de venta de los productos recuperados, considerando un aumento generalizado y uniforme en todos los precios de comercialización.

Con el propósito de cuantificar dicha incidencia, se consideraron tres escenarios económicos: pesimista, base y optimista, cuyos flujos de fondos resultantes se presentan en la TABLA LXXI, TABLA LXXII y TABLA LXXIII, respectivamente. En este análisis, todas las variables del modelo permanecieron constantes, modificándose únicamente los precios de venta de los productos de forma proporcional y uniforme a lo largo de todo el horizonte de proyección, hasta alcanzar el equilibrio económico en cada escenario.

El procedimiento se ejecuta mediante la herramienta “Búsqueda de Objetivo” de Excel, ajustando el ingreso total anual hasta que la función de VAN alcanzara a cero.

Los resultados muestran que, para alcanzar la condición de equilibrio, los precios de venta promedio deberían incrementarse respecto de las proyecciones originales en los siguientes porcentajes:

TABLA LXX: Resultados del Análisis de Sensibilidad de los Precios de Venta

Escenario		
Pesimista	Base	Optimista
+34,2%	+27,2%	+20,9%

Estos valores reflejan la elasticidad global de los ingresos frente a variaciones generalizadas del mercado, lo que evidencia que el proyecto posee un alto potencial de mejora en su rentabilidad ante aumentos moderados de precios. Además, permiten concluir que una valorización sostenida de los productos fortalecería significativamente la viabilidad económica de la planta.

TABLA LXXI: Sensibilidad Precios de Venta en Escenario Pesimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.575.722	3.968.446	4.393.846	4.860.044	5.340.395	5.340.395	5.340.395	5.340.395	5.340.395	5.340.395
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	331.202	594.230	887.899	1.225.428	1.550.776	1.550.776	1.550.776	1.550.776	1.550.776	1.550.776
Impuesto	0	115921	207981	310765	428900	542.772	542.772	542.772	542.772	542.772	542.772
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	215.282	342.790	577.134	756.110	1.008.005	1.008.005	1.008.005	1.008.005	1.008.005	1.008.005
FCF	-3.306.091	266.227	396.343	630.687	812.088	1.063.983	1.063.983	1.063.983	1.063.983	1.063.983	1.063.983

TABLA LXXII: Sensibilidad Precios de Venta en Escenario Base

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.603.694	3.988.800	4.405.406	4.855.548	5.317.091	5.317.091	5.317.091	5.317.091	5.317.091	5.317.091
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	359.174	614.585	899.458	1.220.932	1.527.472	1.527.472	1.527.472	1.527.472	1.527.472	1.527.472
Impuesto	0	125711	215105	314810	427.326	534.615	534.615	534.615	534.615	534.615	534.615
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	233.463	356.020	584.648	753.188	992.857	992.857	992.857	992.857	992.857	992.857
FCF	-3.306.091	284.408	409.573	638.201	809.166	1.048.835	1.048.835	1.048.835	1.048.835	1.048.835	1.048.835

TABLA LXXIII: Sensibilidad Precios de Venta en Escenario Optimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.628.894	4.007.137	4.415.820	4.851.498	5.296.096	5.296.096	5.296.096	5.296.096	5.296.096	5.296.096
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	384.375	632.922	909.872	1.216.882	1.506.477	1.506.477	1.506.477	1.506.477	1.506.477	1.506.477
Impuesto	0	134531	221523	318.455	425.909	527.267	527.267	527.267	527.267	527.267	527.267
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	249.843	367.939	591.417	750.555	979.210	979.210	979.210	979.210	979.210	979.210
FCF	-3.306.091	300.788	421.492	644.970	806.533	1.035.188	1.035.188	1.035.188	1.035.188	1.035.188	1.035.188

7.6.6 Sensibilidad sobre la Tarifa de Tratamiento de RAEE (Gate Fee)

Además de evaluar la sensibilidad del proyecto frente a variaciones en precios de metales recuperados, costos operativos y capacidad instalada, resulta adecuado analizar el efecto económico-financiero de una eventual tarifa de tratamiento de RAEE (gate fee) aplicada a los generadores de residuos.

En el contexto internacional, los sistemas de REP adoptan frecuentemente un esquema donde los generadores pagan una tarifa por tonelada de RAEE ingresada a planta, destinada a cubrir total o parcialmente los costos de recolección, clasificación y tratamiento.

Con el propósito de cuantificar dicha incidencia, se evaluaron los tres escenarios económicos: pesimista (TABLA LXXV), base (TABLA LXXVI) y optimista (TABLA LXXVII). En este análisis, todas las variables del modelo permanecieron constantes, modificándose únicamente el valor de la tarifa de tratamiento aplicada por tonelada de RAEE procesada, manteniéndose uniforme a lo largo de todo el horizonte de evaluación.

El procedimiento se ejecuta mediante la herramienta “Búsqueda de Objetivo” de Excel, ajustando el valor del gate fee hasta que la función de VAN alcanzara cero, es decir, hasta lograr la condición de equilibrio económico en cada escenario.

Los resultados obtenidos muestran que, para alcanzar el equilibrio financiero, la tarifa mínima de tratamiento requerida en cada escenario sería:

TABLA LXXIV: Resultados del Análisis de Sensibilidad de Gate Fee

Escenario		
Pesimista	Base	Optimista
97,58 USD/Tn	81,91 USD/Tn	66,23 USD/Tn

Estos valores reflejan la dependencia estructural del proyecto respecto del aporte económico externo asociado a la gestión de RAEE, lo que evidencia que la recuperación de materiales, por sí sola, no alcanza para cubrir los costos totales del proceso.

TABLA LXXV: Sensibilidad Gate Fee en Escenario Pesimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	2.663.693	2.956.022	3.273.129	3.620.416	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246	3.978.246
Fee	0	1.043.571	1.095.749	1.150.537	1.208.064	1.268.467	1.268.467	1.268.467	1.268.467	1.268.467	1.268.467
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	462.744	677.556	917.719	1.193.864	1.457.094	1.457.094	1.457.094	1.457.094	1.457.094	1.457.094
Impuesto	0	161961	237145	321202	417852	509.983	509.983	509.983	509.983	509.983	509.983
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acum.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utiliz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	300.784	396.951	596.517	735.593	947.111	947.111	947.111	947.111	947.111	947.111
FCF	-3.306.091	351.729	450.504	650.070	791.571	1.003.089	1.003.089	1.003.089	1.003.089	1.003.089	1.003.089

TABLA LXXVI: Sensibilidad Gate Fee en Escenario Base

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	2.832.163	3.134.820	3.462.233	3.816.003	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731	4.178.731
Fee	0	875.921	919.717	965.702	1.013.988	1.064.687	1.064.687	1.064.687	1.064.687	1.064.687	1.064.687
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	463.564	680.321	921.988	1.195.374	1.453.799	1.453.799	1.453.799	1.453.799	1.453.799	1.453.799
Impuesto	0	162.247	238.112	322.696	418.381	508.830	508.830	508.830	508.830	508.830	508.830
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acum.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utiliz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	301.317	398.749	599.292	736.575	944.969	944.969	944.969	944.969	944.969	944.969
FCF	-3.306.091	352.262	452.302	652.845	792.553	1.000.947	1.000.947	1.000.947	1.000.947	1.000.947	1.000.947

TABLA LXXVII: Sensibilidad Gate Fee en Escenario Optimista

Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.000.647	3.313.407	3.651.337	4.011.589	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216	4.379.216
Fee	0	708.298	743.713	780.898	819.943	860.940	860.940	860.940	860.940	860.940	860.940
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	464.425	682.904	926.288	1.196.916	1.450.537	1.450.537	1.450.537	1.450.537	1.450.537	1.450.537
Impuesto	0	162.549	239.016	324.201	418.921	507.688	507.688	507.688	507.688	507.688	507.688
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acum.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utiliz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	301.876	400.427	602.087	737.577	942.849	942.849	942.849	942.849	942.849	942.849
FCF	-3.306.091	352.821	453.980	655.640	793.555	998.827	998.827	998.827	998.827	998.827	998.827

7.7 Consideraciones Finales

El análisis de sensibilidad permite identificar con precisión las variables que ejercen mayor influencia sobre la rentabilidad del proyecto y las condiciones bajo las cuales podría alcanzar valores positivos de VAN y TIR.

Los resultados muestran que la estructura de costos constituye el factor más determinante, ya que pequeñas variaciones en este componente provocan cambios significativos en los indicadores financieros. La reducción del TPC entre un 22,4% y un 33%, según el escenario, marca el umbral a partir del cual el proyecto adquiere viabilidad económica. Esto evidencia que la rentabilidad depende en gran medida de los costos operativos y fiscales, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias orientadas a reducir gastos estructurales, mejorar condiciones de abastecimiento y acceder a incentivos tributarios.

En segundo término, la sensibilidad al WACC confirma que una disminución del costo de capital mejora parcialmente el VAN, aunque sin revertir los resultados negativos. La tasa de descuento actúa, por tanto, como un factor de ajuste relevante, pero de influencia secundaria frente al peso de los costos en la rentabilidad global.

Respecto de los productos recuperados, el precio del aluminio sucio presenta sensibilidad media en los escenarios base y optimista, y baja en el pesimista, con incrementos requeridos entre 61% y 110% para alcanzar el equilibrio económico. Esto refleja una dependencia significativa del desempeño financiero del proyecto respecto de su valorización, aunque con cierto margen de resiliencia ante variaciones moderadas del mercado.

En el caso del oro, se observa sensibilidad baja en los escenarios pesimista y base, y media en el optimista, con aumentos necesarios entre 81% y 120% para lograr un VAN nulo. Este comportamiento indica una incidencia relevante, aunque no decisiva, en la rentabilidad global de la planta.

A su vez, el incremento promedio de los precios de venta de todos los productos evidencia una sensibilidad global moderada a alta. Se requieren aumentos de 34,2% en el escenario pesimista, 27,2% en el base y 20,9% en el optimista para alcanzar el equilibrio económico. Este resultado sugiere que una mejora generalizada en las condiciones del mercado de materiales reciclados o una valorización sostenida de los metales recuperados podría revertir la situación financiera del proyecto y fortalecer su viabilidad en contextos favorables de precios.

Por último, el análisis de sensibilidad frente a la aplicación de una tarifa de tratamiento refuerza la misma tendencia. Para que el proyecto alcance el equilibrio económico, se requeriría incorporar un gate fee de 97,58 USD/Tn en el escenario pesimista, 81,91 USD/Tn en el escenario base y 66,23 USD/Tn en el optimista. Esto evidencia que la recuperación de valor a partir de los materiales contenidos en los RAEE, si bien contribuye a los ingresos totales, no resulta suficiente por sí sola para sostener financieramente la operación.

En conjunto, los ejercicios de sensibilidad permiten concluir que la viabilidad económica del proyecto depende principalmente del control del TPC, mientras que las variaciones en los precios de los productos recuperados, del WACC o la incorporación de una tarifa de tratamiento ejercen un efecto complementario pero relevante sobre la rentabilidad. El proyecto alcanzaría resultados positivos únicamente en un escenario que contemple una reducción significativa de los costos operativos o fiscales, una revalorización sostenida de los materiales reciclados, o la implementación de un gate fee que compense el diferencial de costos.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

El presente proyecto concluye que la implementación de una planta de reciclaje de RAEE con foco en las PCBs, es técnica y ambientalmente favorable en Argentina, pero su rentabilidad inicial se ve limitada por la estructura de costos local y el elevado costo de capital.

Desde lo técnico, el diseño propuesto métodos mecánicos e hidrometalúrgicos, en el que se logra la recuperación de metales estratégicos de alto valor, como oro y plata, así como la obtención de aleaciones y fertilizantes quelados a partir de subproductos líquidos. La selección de equipos y el dimensionamiento de las áreas productivas confirman la factibilidad operativa, aunque requieren infraestructura especializada, personal capacitado y cumplimiento estricto de la normativa, lo que incrementa la complejidad de implementación.

En términos ambientales, la planta constituye una alternativa sustentable que contribuye a la reducción de contaminantes peligrosos, al aprovechamiento de materiales estratégicos y a la promoción de un modelo de economía circular, disminuyendo la presión sobre los recursos naturales.

En el plano económico, los altos costos de insumos, la presión impositiva y los gastos laborales constituyen barreras significativas que limitan la competitividad. El análisis de punto de equilibrio indica que, en los niveles actuales de operación, los ingresos por la venta de metales recuperados no cubren los costos fijos y variables. Incluso bajo escenarios optimistas de precios, los márgenes resultan insuficientes para sostener la actividad, y la escala de residuos disponible en el país impide incrementar la producción para alcanzar el equilibrio.

El análisis financiero mediante VAN y TIR, considerando una tasa de descuento del 17,5%, evidencia que el proyecto no recupera la inversión inicial en ninguno de los escenarios evaluados, reflejando el alto costo de capital asociado al riesgo país y las condiciones de financiamiento restrictivas. No obstante, los ejercicios de sensibilidad muestran que una reducción de entre 22,4% y 33% en los costos operativos permitiría alcanzar un VAN positivo y una TIR superior al costo de capital, indicando que la rentabilidad depende de menores cargas estructurales y de un acceso más favorable a financiamiento.

El análisis de Pareto de ingresos por producto revela que dos productos concentran aproximadamente el 59% de los ingresos, siendo el aluminio sucio y el oro los de mayor incidencia. Incrementos promedio en los precios de venta de entre 20,9% y 34,2% permitirían alcanzar el punto de equilibrio económico, mostrando la sensibilidad del proyecto a las condiciones del mercado internacional de metales.

Otra alternativa complementaria para mejorar la viabilidad económica-financiera consiste en monetizar fracciones que, si bien fueron separadas en el proceso mecánico, no fueron incluidas en este estudio, como los plásticos recuperados. La valorización de estos materiales permite diversificar las fuentes de ingresos, reducir la cantidad de residuos destinados a disposición final y aumentar la sustentabilidad financiera de la planta.

Dado el aumento reciente de los precios internacionales de los metales, se incorpora en el Anexo M una actualización de los valores de venta y una breve revisión del impacto sobre los principales indicadores financieros. Este análisis permite dimensionar el efecto de los cambios de precios en la rentabilidad proyectada, sin modificar las conclusiones generales del presente estudio.

En síntesis, **la instalación de una planta de reciclaje de RAEE en Argentina es técnica y ambientalmente factible, pero no alcanza la sostenibilidad económica ni financiera en el contexto actual.** Su viabilidad futura dependerá de reducciones significativas de costos, mayor monetización de subproductos y la implementación de políticas públicas e incentivos privados que permitan ampliar la escala de reciclaje y transformar esta actividad en una alternativa rentable y estratégica para la economía del país.

BIBLIOGRAFÍA

- Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP). (2025). *Impuesto a las Ganancias – Personas Jurídicas*. Obtenido de Impuesto a las Ganancias – Personas Jurídicas: <https://www.afip.gob.ar/gananciasYBienes/ganancias/personas-juridicas/determinacion/documentos/Ganancias-Escala-PJ-2025.pdf>
- Agripac. (s.f.). *Ficha Técnica de Materia Prima: Hidróxido de Sodio Sólido*. Obtenido de División Químicos Industriales: <https://agripac.com.ec/wp-content/uploads/2023/12/28.-Ficha-Tecnica-HIDROXIDO-DE-SODIO-SOLIDO-ROKITA.pdf>
- AgroLatam. (18 de 06 de 2025). *agrolatam*. Obtenido de agrolatam: <https://www.agrolatam.com/nota/fertilizantes-mayo-2025-precios-relaciones-compra/>
- Agustin Mieres Negocios Inmobiliarios. (28 de Agosto de 2025). *zonaprop*. Obtenido de zonaprop: <https://www.zonaprop.com.ar/propiedades/clasificado/vecltrin-terreno-2-has-parque-industrial-pilar-44411510.html>
- Airly. (s.f.). Obtenido de <https://airly.org/en/smog-definition-effects-and-causes/>
- Almirante Brown. (s.f.). *Brown Verde*. Obtenido de <https://almirantebrown.gov.ar/>
- Ambito. (25 de febrero de 2025). *Ambito*. Obtenido de ambito.com: <https://www.ambito.com/opiniones/nueva-oportunidad-pararentabilizardolares-bonos-corporativos-rendimientos-8-n6110447>
- Andino, N., Dias, R., Grillo, B., Peñalva, C., Olmo, O., & Fernandez, V. (2023). *CONICET*. Obtenido de Congresos y Reuniones Científicas: https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=38634&congresos=y es&detalles=yes&congr_id=11423710
- Arriols, E. (15 de July de 2024). *Basura tecnológica: causas y consecuencias - Resumen*. Recuperado el 31 de Marzo de 2025, de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/basura-tecnologica-causas-y-consecuencias-1152.html>
- Asociación de Parques Industriales Argentinos. (2022). *APIA*. Obtenido de Parque Industrial Franco del Oeste: <https://apia.ar/parque-industrial/parque-industrial-franco-del-oeste/>
- Attero. (Marzo de 2025). *Attero's Sustainability Goals | Carbon Reduction & Recycling*. Recuperado el Abril de 2025, de Attero Recycling: <https://attero.in/sustainability>
- Attero. (Marzo de 2025). *E-waste Management*. Recuperado el Abril de 2025, de Attero: <https://attero.in/e-waste-management>
- Banco Central de la República Argentina. (7 de Mayo de 2024). *www.bcra.gob.ar*. Obtenido de www.bcra.gob.ar/pdfs/PublicacionesEstadisticas/: <https://www.bcra.gob.ar/pdfs/PublicacionesEstadisticas/proyecciones-de-la-balanza-comercial-2024-2030.pdf>
- Basel Convention. (26 de Noviembre de 2007). *El Convenio de Basilea Reseña....* Obtenido de Basel Convention: https://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/convention/bc_glance-s.pdf
- BeatMarket. (2023). *Pronóstico del precio de la plata para 2024 y pronósticos a largo plazo para los próximos 5 a 25 años*. Obtenido de <https://beatmarket.com/es/silver-price-forecast>
- BeatMarket. (2024). Obtenido de Predicción del precio del oro y pronóstico a largo plazo: <https://beatmarket.com/es/gold-price-forecast>

- Bolsa de Comercio de Rosario. (28 de Marzo de 2025). *Por primera vez en tres años, creció el consumo de fertilizantes en Argentina*. Obtenido de Informativo Semanal: <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/109366>
- Cámara Argentina de Empresas Mineras. (16 de 5 de 2024). *INFORME PRODUCTIVO DE LA MINERÍA ARGENTINA*. Recuperado el 28 de 4 de 2025, de INFORME PRODUCTIVO DE LA MINERÍA ARGENTINA: https://caem.com.ar/wp-content/uploads/2024/09/16May_2024_Informe_productivo_CAEM1-1.pdf
- Casari, S., & Ferrero, A. (10 de Octubre de 2019). *Agencia de Noticias, Ciencias de la Comunicación, UBA*. Obtenido de La contaminación del río Luján no se detiene: <https://anccom.sociales.uba.ar/2019/10/10/la-contaminacion-del-rio-lujan-no-se-detiene>
- Chiasso, C., & Contreras, S. (2024). *Ordenación ambiental y actividad industrial en la cuenca del río Luján, Buenos Aires, al presente*. Universidad Nacional de Luján. Anuario de la División Geografía. Obtenido de <https://anuario-geografia.unlu.edu.ar/anugeografia/article/download/219/200/761>
- Círculo de Políticas Ambientales. (1 de Junio de 2024). *Observaciones y análisis comparativo de los proyectos de ley para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Obtenido de <https://circulodepoliticambientales.org/wp-content/uploads/2024/06/CPA-Observaciones-proyectos-de-ley-PPMM-de-gestion-de-RAEE.pdf>
- Conexion Reciclado. (5 de Agosto de 2025). *conexionreciclado*. Obtenido de conexionreciclado: <https://www.conexionreciclado.com.ar/recursos>
- Damodaran, A. (2012). *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. Obtenido de Wiley: <https://www.wiley.com/en-us/Investment+Valuation%3A+Tools+and+Techniques+for+Determining+the+Value+of+Any+Asset%2C+University+Edition%2C+3rd+Edition-p-9781118130735>
- Damodaran, A. (2025). *Country Risk Premiums*. Obtenido de NYU Stern School of Business: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html
- DataPilar. (1 de Febrero de 2021). *Parque Industrial Pilar*. Obtenido de <https://datapilar.com.ar/index.php/parque-industrial>
- DECA. (2021). *DECA*. Obtenido de <https://deca.com.ar/>
- Diario El Litoral. (30 de Enero de 2025). *El Litoral*. Obtenido de El Litoral (Medio de comunicación regional de Santa Fe, Argentina): https://www.ellitoral.com/economia/informe-economico-desafio-proyecciones-caida-produccion-industria-acero_0_h3s6GEb562.html
- Dirección de Promoción y Economía Minera. (1 de 12 de 2023). *Mercado de plata*. Obtenido de mercado de plata: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/noviembre_2023_-_informe_mecado_de_la_plata.pdf
- Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. (22 de Julio de 2025). *Trenes de carga: Comenzó la etapa hacia el modelo de acceso abierto ferroviario*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/trenes-de-carga-comenzo-la-etapa-hacia-el-modelo-de-acceso-abierto-ferroviario>
- Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). *Proyecto 13 – Modelo de Proyecto Final de Educación Técnica*. Obtenido de Dirección de

- Educación Técnico Profesional:
https://servicios2.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/dir_prov_educ_tecnica_profesional/educacion_tecnica/anexo4/archivos/Proy-13.pdf
- Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera. (30 de 01 de 2024). *Balance Comercial de Minerales en Argentina*. Recuperado el 16 de 05 de 2025, de Balance Comercial de Minerales en Argentina:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2025.01_balance_comercial_de_minerales_en_argentina.pdf
- Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera. (1 de 10 de 2024). *Oro | Un estudio integral de su historia, aplicaciones y usos. Coyuntura internacional y nacional*. Recuperado el 28 de 4 de 2025, de Serie de estudios sobre mercados mineros:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/oro_-_un_estudio_integral_de_su_historia_aplicaciones_y_usos._coyuntura_internacional_y_nacional.pdf
- Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera Subsecretaría de Desarrollo Minero. (1 de 1 de 2023). *INFORME MERCADO DE ORO*. Recuperado el 28 de April de 2025, de Argentina.gob.ar:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_mercado_de_oro.pdf
- Dissolvine. (Marzo de 2010). Obtenido de Product Data Leaflet:
https://www.stobec.com/DATA/PRODUIT/1440~v~data_8286.pdf
- Distribuidores de Químicos Industriales S.A. (3 de Mayo de 2010). Obtenido de Ficha Técnica: Polvo de Zinc: <https://www.dqisa.com/wp-content/uploads/2020/12/POLVO-DE-ZINC.pdf>
- Empleo Cerca. (2025). *Empleo Cerca*. Obtenido de <https://empleocerca.com/pilar/>
- European Environment Agency. (s.f.). *Nitrogen oxides (NOx)*. Obtenido de European Environment Information and Observation Network (Eionet):
<https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eper-chemicals-glossary/nitrogen-oxides-nox>
- Famá, I. E. (2021). *El régimen de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Argentina*. Obtenido de <https://www.derecho.uba.ar/publicaciones/pensar-en-derecho/revistas/19/el-regimen-de-los-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos.pdf>
- Fundación Ambiente y Recursos naturales. (21 de August de 2024). *Reglamentación del RIGI y la Ley de Inversiones Mineras: ¿dos caras de la misma moneda? | FARN*. Recuperado el 28 de April de 2025, de Fundación Ambiente y Recursos Naturales:
<https://farn.org.ar/reglamentacion-del-rigi-y-la-ley-de-inversiones-mineras-dos-caras-de-la-misma-moneda/>
- Fundación de Historia Natural Félix de Azara. (2003). *Plan de manejo de la Reserva Natural del Pilar*. Obtenido de <https://www.fundacionazara.org.ar/img/otras-publicaciones/plan-de-manejo-reserva-de-pilar.pdf>
- GENOX. (17 de July de 2023). *Soluciones para desechos electrónicos: comprensión del reciclaje de PCB - GENOX*. Recuperado el Marzo de 2025, de Genox Recycling:
https://www.genoxtech.com/es/news_i_understanding-pcb-recycling.html
- GENROD. (s.f.). *Plantas de GENROD*. Obtenido de <https://genrod.com.ar/nuestras-plantas/>
- Geogebra. (s.f.). *geogebra*. Obtenido de geogebra: <https://www.geogebra.org>

- Gobierno de Jujuy. (18 de octubre de 2016). *Plan de Cierre de Pirquitas*. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de Actores involucrados abordan el Plan de Cierre de Pirquitas: <https://prensa.jujuy.gob.ar/actores-involucrados-abordan-el-plan-cierre-pirquitas-n5909>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (s.f.). *Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Obtenido de Buenos Aires Ciudad: <https://buenosaires.gob.ar/vicejefatura/ambiente/residuos-especiales/residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-raee>
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (20 de Julio de 2011). *Ley 11.720*. Obtenido de Ambiente GBA: <https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/LEY%2011720.pdf>
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (9 de Agosto de 2017). *Decreto N°2886/17*. Obtenido de Boletines/Pilar: <https://sibom.slyt.gba.gob.ar/bulletins/269/contents/1153874>
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (Julio de 2022). *Ambiente en Diálogo Julio 2022*. Obtenido de La gestión de residuos en la Provincia de Buenos Aires: https://www.ambiente.gba.gob.ar/contenido/ambiente_en_di%C3%A1logo_julio_inal_2022
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (30 de Abril de 2025). *Infraestructura*. Obtenido de https://www.gba.gob.ar/infraestructura/noticias/almirante_brown_katopodis_supervis%C3%B3_la_puesta_en_valor_de_la_ruta_4
- Gobierno de la República Argentina. (5 de Abril de 1979). *Argentina.gob.ar*. Obtenido de Decreto 351/79 - Reglamentación de la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-351-1979-67157/texact>
- González, M. E. (17 de Octubre de 2024). *Parque industrial Pilar hoy, mirada 2024*. Obtenido de <https://parqueindustrialpilar.com/2024/10/17/>
- IF Consulting. (Octubre de 2025). *IF Consulting*. Obtenido de Reporte IF 40/2025 – Mercado de Fertilizantes (octubre 2025): <https://if.com.ar/wp-content/uploads/2025/10/Reporte-IF-40-25.10.03.pdf>
- IF Ingeniería en Fertilizantes. (24 de 02 de 2025). *dataPortuaria*. Obtenido de dataPortuaria: <https://dataportuaria.ar/nota/21164/el-mercado-de-fertilizantes-en-argentina-inicia-2025-con-precios-en-alza-y-baja-demanda>
- Informe Industria del Aluminio Argentina. (29 de 7 de 2024). *Informe Industria del Aluminio Argentina 2024*. Obtenido de Argentina.gob.ar: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aluminio_2024-1.pdf
- Informes de Expertos. (18 de Febrero de 2024). *Informes de Expertos*. Obtenido de Informes de Expertos: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-acero>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2015). *IRAM-ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/doc21.pdf>
- Instituto Metrológico Metropolitano. (12 de Abril de 2021). *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3442/344265925006/html/>

- International Telecommunication Union. (Julio de 2020). *Global E-waste Monitor 2020*.
Obtenido de International Telecommunication Union (ITU) – ITU-D Environment:
https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM_2020_def.pdf
- inversoro. (20 de Octubre de 2025). *inversoro*. Obtenido de Precio del oro hoy :
https://www.inversoro.es/precio-del-oro/precio-oro-hoy/?srsId=AfmBOorZq8zfqOKg9zdWi22t9DuEyJ_8hPLywrK-XaqoxxFKLu11AEEEd
- inversoro. (20 de 10 de 2025). *inversoro*. Obtenido de Precio de Plata en USD por Kilogramo
Hoy: <https://www.inversoro.es/precio-de-la-plata/6meses/kilogramos/USD/#show-chart>
- InvertirOnline. (21 de Febrero de 2025). *¿En qué bonos soberanos invertimos?*
InvertirOnline. Obtenido de InvertirOnline: <https://www.invertironline.com/posts/en-que-bonos-soberanos-invertimos-18-02-2025>
- investing. (20 de 10 de 2025). *investing*. Obtenido de investing :
<https://es.investing.com/commodities/iron-ore-62-cfr-futures>
- Jefatura de Gabinete de Ministros. (10 de Enero de 2005). *Convenio de Estocolmo*. Obtenido
de <https://www.argentina.gob.ar/interior/ambiente/control/acuerdos/estocolmo>
- Jefatura de Gabinete de Ministros. (S.F. de S.F. de S.F.). *Financiamiento sostenible*.
Recuperado el 15 de May de 2025, de Argentina.gob.ar:
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/cofecyt/financiamiento>
- Johnson, S. (1 de octubre de 2012). *UNEP the first 40 years*. Obtenido de United Nations
Environment Programme (UNEP): <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8350>
- La Matanza Gobierno. (s.f.). *Planilla de Valores de FOS, FOT y Densidades Habitacionales
según zonas*. Obtenido de
<https://www.lamatanza.gov.ar/upload/pdf/planeamiento/PLANILLA%20INDICES%20URBANISTICOS.pdf>
- LucidChart. (s.f.). Obtenido de <https://www.lucidchart.com/pages/es>
- Maffei, L., & Burucua, A. (2020). *Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y
empleo en la Argentina*. Recuperado el 2 de May de 2025, de Fundación Ecosur:
<https://www.fundacionecosur.org.ar/documents/noticias/1585935701.pdf>
- MB Group. (Marzo de 2024). *PCB RECYCLING*. Recuperado el Abril de 2025, de PCB
Recycling – PCB RECYCLING Leader in the recycling of integrated printed circuit
boards: <https://recyclingpcb.com/es/>
- MBF Group. (25 de 06 de 2025). *mbfgroup*. Obtenido de Fertilizantes: Situación del Mercado
en 2025 y Análisis de las Previsiones de Precios: <https://mbfgroup.pl/es/fertilizantes-situacion-del-mercado-en-2025-y-analisis-de-las-previsiones-de-precios/>
- Mercado Libre. (2025). *Lotes en Parque Industrial Matanza*. Obtenido de
<https://listado.mercadolibre.com.ar/lote-parque-industrial-matanza>
- Mesa, P. (19 de 10 de 2020). *Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Argentina
y en el AMBA. Panorama y perspectiva de cara a una política de economía circular*.
Recuperado el 26 de 4 de 2025, de Revista Iberoamericana de Derecho Ambiental y
Recursos Naturales - Número 37 - Octubre 2020:
https://latam.lejister.com/articulos.php?Hash=a300fea928875415a4162b5563416fec&hash_t=e2dc654d8d1115e3c03de34f113c0e6e#indice_11

-
- Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). *Mi Provincia Recicla*.
Obtenido de <https://www.ambiente.gba.gov.ar/ruec>
- Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). *Planilla de cálculo NCA – Circular N° 11 [Archivo Excel]*. Obtenido de
https://plataforma.adifse.com.ar/uploads/archivo_adjunto/licitacion/Calculo_NCA_-_circular_N%C2%B011.xls?v=2.1.2
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Argentina.gov.ar*. Obtenido de Portal Oficial del Gobierno de Argentina:
<https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/residuos.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (11 de Abril de 2017). *Resolución 177-E/2017 – Condiciones y requisitos mínimos para el almacenamiento de residuos peligrosos*. Obtenido de Boletín Oficial de la República Argentina:
<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/162468/20170419>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable Presidencia de la Nación. (25 de Noviembre de 2016). *Estructura Normativa de Residuos*. Recuperado el Abril de 2025, de Argentina.gov.ar: <https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/estructura-normativa-de-residuos-1.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Gestión Ambiental. (Diciembre de 2015). Obtenido de Guía Técnica: Gestión de PCB: <https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/Guia%20Tecnica%20Gestion%20PCBs.pdf>
- Ministerio de Economía. (1 de 11 de 2024). *Mercado de Plata*. Recuperado el 8 de 5 de 2025, de Mercado de Plata:
https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/mercado_de_plata_-_noviembre_2024.pdf
- Molina, L. (2010). *Tesina de Licenciatura Ecología Urbana: Explotación del Recurso Hídrico Subterráneo por Actividades Industriales*. Obtenido de
https://observatorioconurbano.ungs.edu.ar/wp-content/uploads/documentos/2010_Luisina%20Molina.pdf
- Monitoreo Regional de los Residuos Electrónicos. (Diciembre de 2022). *Monitoreo regional de los residuos electrónicos para América Latina: resultados de los trece países participantes en el proyecto UNIDO-GEF 5554*. Obtenido de Centro Regional del Convenio de Basilea para América del Sur: https://bcrc-argentina.net.ar/wp-content/uploads/2022/12/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf
- Mordor Intelligence. (2024). *Mordor Intelligence*. Obtenido de Mercado Argentino de Fertilizantes: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/argentina-fertilizer-market>
- Mordor Intelligence*. (25 de 06 de 2025). Obtenido de Análisis de participación y tamaño del mercado de estaño tendencias y pronósticos de crecimiento:
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/tin-market>
- Mordor Intelligence. (2025). *Hydrochloric Acid Market*. Obtenido de Mordor Intelligence: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hydrochloric-acid-market>
- Mordor Intelligence. (30 de 7 de 2025). *Mercado de Aluminio*. Obtenido de Mordor Intelligence: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/aluminum-market>
- Mordor Intelligence. (2025). *Mordor Intelligence*. Obtenido de Sulfuric Acid Market: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/sulfuric-acid-market>

- Mordor Intelligence. (2025). *Mordor Intelligence*. Obtenido de Caustic Soda Market: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/caustic-soda-market>
- Mordor Intelligence. (2025). *Mordor Intelligence*. Obtenido de Iron & Steel Market: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/iron-and-steel-market>
- Mordor Intelligence. (2025). *Mordor Intelligence*. Obtenido de EDTA Market: Mordor Intelligence
- Mordor Intelligence. (2025). *Mordor Intelligence*. Obtenido de Zinc Market: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/zinc-market>
- Mordor Intelligence. (8 de agosto de 2025). *Mordor Intelligence: Mercado de Aluminio*. Obtenido de mordorintelligence: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/aluminum-market?utm>
- Mordor Intelligence. (2025). *Nitric Acid Market*. Obtenido de Mordor Intelligence: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/nitric-acid-market>
- Motor Intelligence. (19 de 06 de 2025). *Mercado de Fertilizantes en Argentina ANÁLISIS DE TAMAÑO Y PARTICIPACIÓN - TENDENCIAS DE CRECIMIENTO Y PREVISIONES HASTA 2030*. Obtenido de Motor Intelligence: <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/argentina-fertilizer-market>
- Municipalidad de Almirante Brown. (12 de Noviembre de 2004). *Ordenanza 3500*. Obtenido de https://a.brown.gob.ar/uploads/hcd/ordenanzas/5b226b5d44220_ORD%208197.pdf
- Municipalidad de Zárate. (2024). Obtenido de Programa RAEE: <https://zarate.gob.ar/programa-raee/>
- Municipalidad del Partido de Pilar. (12 de Julio de 2018). *Ordenanza N.º 227/2018: Código de Habilitaciones Comerciales e Industriales del Partido de Pilar*. Obtenido de Honorable Concejo Deliberante del Pilar: <https://hcdpilar.gov.ar/digesto/ordenanzas/0/227-2018.pdf>
- Municipio de La Matanza. (2025). *LaMatanza.gov*. Obtenido de Ambiente Sustentable - Programas: <https://www.lamatanza.gov.ar/ambiente-sustentable/programas>
- Municipio de La Matanza. (s.f.). *Beneficios para empresas, comercios y pymes*. Obtenido de Economía: <https://www.lamatanza.gov.ar/economia/beneficios-empresas>
- Nisbett, A., Adkins, S., Flanagan, I. J., & Berger, A. (07 de Agosto de 2013). *Proceso de lixiviación y recuperación de metales*. Recuperado el 15 de Marzo de 2025, de Google Patents: <https://patents.google.com/patent/ES2611933T3/es>
- OCDE. (16 de Marzo de 2025). *Steering through Uncertainty*. Recuperado el 15 de Abril de 2025, de https://www.oecd.org/en/publications/oecd-economic-outlook-interim-report-march-2025_89af4857-en.html
- O'Keefe. (2025). *Parque Industrial San Vicente*. Obtenido de <https://okeefe.com.ar/emprendimiento/parque-industrial-san-vicente--3032>
- OMS. (18 de Octubre de 2023). *Desechos eléctricos y electrónicos*. Recuperado el 31 de Marzo de 2025, de Organización Mundial de la Salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-\(e-waste\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-(e-waste))
- ONU. (20 de Marzo de 2024). *La humanidad generó 62 millones de toneladas de desechos electrónicos en 2022*. Recuperado el 25 de Marzo de 2025, de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/story/2024/03/1528476>
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible. (28 de Diciembre de 2010). *Resolución 389/10*. Obtenido de <https://normas.gba.gob.ar/documentos/VmRqXQF1.html>

- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible. (30 de noviembre de 2011). *ley 14231*. Recuperado el 24 de 4 de 2025, de normas: <https://normas.gba.gob.ar/documentos/Bj7QDiyV.html>
- Organización Internacional del Trabajo. (1 de 12 de 2019). *LA CADENA DE VALOR DE LOS DESECHOS ELECTRÓNICOS LA CADENA DE VALOR DE LOS DESECHOS ELECTRÓNICOS*. Recuperado el 24 de April de 2025, de Superintendencia de Riesgos del Trabajo - SRT: <http://publicaciones.srt.gob.ar/Publicaciones%20Ext/A088.pdf>
- Parque Industrial Burzaco. (2025). *SIPAB*. Obtenido de SIPAB: <https://parqueindustrialburzaco.com/proveedores/sector-industrial-planificado-almirante-brown/>
- Parque Industrial La Matanza. (s.f.). *Beneficios Impositivos*. Obtenido de <https://www.pilmsa.com.ar/beneficios.html>
- Parque Industrial Pilar. (2024). *Parque Industrial Pilar*. Obtenido de <https://parqueindustrialpilar.com/acerca-de/>
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers (5th ed.)*. McGraw-Hill. Obtenido de https://elbunkerdequimica.files.wordpress.com/2020/09/plant-design-and-economics-for-chemical-engineers-by-max-peters-klaus-timmerhaus-ronald-west-max-peters-z-lib.org_.pdf
- Peydayesh, M., Boschi, E., Donat, F., & Mezzenga, R. (23 de Enero de 2024). *Recuperación de oro de desechos electrónicos mediante aerogeles amiloides de residuos alimentarios*. Recuperado el Abril de 2025, de Advanced Materials: <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202310642>
- Pilar de Todos. (21 de Marzo de 2018). *Pilar de Todos: El diario digital de Pilar*. Obtenido de Pilar de Todos: <https://www.pilardetodos.com.ar/secciones/noticias/medio-ambiente/aparecieron-cientos-de-peces-muertos-en-el-lujan-y-ambientalistas-apuntan-contra-las-industrias>
- Plaza Industrial Escobar. (2025). Obtenido de <https://plazaindustrial.com.ar/escobar/>
- PochTeca Chile S.A. (s.f.). Obtenido de Ficha Técnica: Sulfato Ferroso heptahidratado: <https://argentina.pochteca.net/wp-content/uploads/2021/06/sulfato-ferroso.pdf>
- Presidencia de la Nación. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.argentina.gob.ar/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- Provincia de Buenos Aires. (27 de Marzo de 2008). *Decreto 523/08 – Reglamentación de la Ley N° 13.656 de Promoción Industrial*. Obtenido de <https://normas.gba.gob.ar/documentos/08nqNiZB.html>
- Provincia de Buenos Aires. (2 de Noviembre de 2011). *Ley 14.321 – Régimen de gestión sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs), Provincia de Buenos Aires*. Obtenido de <https://normas.gba.gob.ar/documentos/Bj7QDiyV.html>
- Provincia de Buenos Aires. (27 de Noviembre de 2024). *Ley 15.510 – Régimen Provincial de Inversiones Estratégicas*. Obtenido de https://trivia.consejo.org.ar/ficha/523225-ley_buenos_aires_155102024._se_crea_el_regimen_provincial_de_inversiones_estrategicas_en_la_provincia_de_buenos_aires
- ReportAcero. (24 de Enero de 2025). *Reportacero*. Obtenido de Reportacero: <https://reportacero.com/cae-26-produccion-de-acero-en-argentina-en-2024/>

- Rowsum. (19 de Mayo de 2023). *La impactante verdad sobre los PCB y su salud*. Recuperado el Abril de 2025, de Rowsum: <https://www.rowsum.com/es/la-impactante-verdad-sobre-los-pcb-y-su-salud/>
- Secretaría de Energía. (21 de Septiembre de 2023). *Proyecto de Energía Limpia para Hogares y Comunidades Vulnerables: Programa de Gestión de Residuos y RAEE*. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/se.pelhycv_-_anexo_iii_programa_de_gestion_de_residuos_y_raee_231018.pdf
- Secretaría de Política Económica, Ministerio de Economía, Argentina. (junio de 2024). *Informe de la cadena productiva del aluminio en Argentina*. Obtenido de Argentina.gob.ar: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aluminio_2024-1.pdf
- Secretaría del Convenio de Rotterdam. (Septiembre de 2004). *Guía sobre la elaboración de normas nacionales para la aplicación del Convenio de Rotterdam*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/a0137s/a0137s00.htm#Contents>
- Sibuet, R. (22 de Noviembre de 2024). *Punto Convergente*. Obtenido de Basura tecnológica: Pocas acciones en la Argentina para controlar el daño ambiental y en la salud de la población: <https://puntoconvergente.uca.edu.ar/basura-tecnologica-que-es-y-por-que-es-un-problema-en-la-argentina/>
- Silver Institute. (23 de 3 de 2023). *World Silver Survey 2023*. Recuperado el 15 de 5 de 2025, de World Silver Survey 2023: <https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2023/04/WSS2023.pdf>
- Silver Institute. (12 de November de 2024). *Global Industrial Demand on Track for a New Record High in 2024*. Recuperado el 15 de May de 2025, de The Silver Institute: <https://silverinstitute.org/global-industrial-demand-on-track-for-a-new-record-high-in-2024/>
- Sindicato del Personal de Industrias Químicas y Petroquímicas. (Julio de 2025). *Convenio y Escalas Salariales*. Obtenido de <https://spiqyp.org.ar/convenios-y-acuerdos/>
- Statista. (Marzo de 2024). *Volumen de generación de residuos electrónicos en Argentina de 2018 a 2022*. Recuperado el Marzo de 2025, de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/1218515/generacion-residuos-electronicos-argentina/>
- Statista. (5 de Agosto de 2025). *Statista*. Obtenido de Precio del Mineral de Hierro a Nivel Mundial: <https://es.statista.com/estadisticas/601129/precio-del-mineral-de-hierro-a-nivel-mundial/>
- SuperIntendencia de Riesgos del Trabajo. (10 de Abril de 2015). *Resolución 801/2015*. Obtenido de argentina.gob.ar: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolucion-801-2015-245850>
- The UNITAR SCYCLE Programme, ITU and Fondation Carmignac. (2024). *THE GLOBAL E-WASTE MONITOR 2024*. Recuperado el Marzo de 2025, de <https://api.globalewaste.org/publications/file/297/Global-E-waste-Monitor-2024.pdf>
- Tin Flows Historic Recycling Input Rate*. (s.f. de 06 de 2021). Recuperado el 16 de May de 2025, de International Tin Association: https://www.internationaltin.org/wp-content/uploads/2021/06/ITA_Factsheet-TIN-RECYCLING.pdf
- Trading Economics. (2025). *United States Government Bond 10Y*. Obtenido de Trading Economics: <https://tradingeconomics.com/united-states/government-bond-yield>

- tradingeconomics. (20 de Octubre de 2025). *tradingeconomics*. Obtenido de AluminumPrice : <https://tradingeconomics.com/commodity/aluminum>
- UNE S.R.L. (6 de Junio de 2019). *Estudio de Impacto Ambiental: Resumen del proyecto (Ley 11.459; Dec. 1741/96 y compl.)*. (M. d. Aires, Ed.) Obtenido de [https://www.ambiente.gba.gob.ar/ParticipacionCiudadana/Resumen%20del%20Proyecto%20UNE%20S.R.L.%20\(2\).pdf](https://www.ambiente.gba.gob.ar/ParticipacionCiudadana/Resumen%20del%20Proyecto%20UNE%20S.R.L.%20(2).pdf)
- UNITAR. (2024). News. Obtenido de 97% of Latin America’s E-Waste is Improperly Managed; Includes an Annual \$1.7 Billion in Recoverable Materials: <https://unitar.org/about/news-stories/news/97-latin-americas-e-waste-improperly-managed-includes-annual-17-billion-recoverable-materials>
- UNITAR. (Noviembre de 2024). *The Global E-waste Monitor 2024*. Recuperado el 01 de Abril de 2025, de E-Waste Monitor: <https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/>
- United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). (Enero de 2022). *E-Waste Monitor*. Obtenido de Transboundary Movements of E-waste in Latin America: Summary Report 2018–2019: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2022/01/TRANSBOUNDARY-MOVEMENTS_LATAM_2022_ENG_Final-2.pdf
- Veritrade. (s.f de s.f de s.f). *800110: estaño sin alear*. Recuperado el 16 de 5 de 2025, de 800110: estaño sin alear: <https://www.veritradecorp.com/es/argentina/importaciones-y-exportaciones/estano-sin-alear/800110>
- Waves Acoustics. (18 de Septiembre de 2024). *Estrategias Efectivas para Mitigar la Contaminación Acústica*. Obtenido de Waves Acoustics: Soluciones Acústicas Integrales : <https://wavesacoustics.com/contaminacion-acustica/>
- Wise Guy Reports. (20 de 09 de 2025). *Informe de Investigación de Mercado Global de Estaño Metal*. Obtenido de Informe de investigación de mercado global de estaño metal: <https://www.wiseguyreports.com/es/reports/tin-metal-market>
- World Economic Forum. (12 de Diciembre de 2024). *Circular Economy*. Recuperado el 1 de Mayo de 2025, de Mining’s new frontier: Recycling metal for a more sustainable future: <https://www.weforum.org/stories/2024/12/mining-s-new-frontier-developing-copper-recycling-for-a-more-sustainable-future/>
- World Health Organization. (1 de Abril de 2022). *Guidance on solid waste and health*. Obtenido de Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment: <https://www.who.int/tools/compendium-on-health-and-environment/solid-waste>

ANEXO

Anexo A

Resumen del Convenio de Basilea (1989)

El transporte transfronterizo de desechos peligrosos atrajo la atención del público en la década de 1980. Las desventuras de “buques tóxicos” como el Katrin B o el Pelicano, que navegaban de puerto en puerto intentando descargar sus cargamentos tóxicos aparecieron en los titulares de portada de todo el mundo. Esos trágicos incidentes estuvieron motivados en gran parte porque en los países industrializados se habían impuesto unas reglamentaciones sobre medio ambiente más estrictas. A medida que los costos de la eliminación de los desechos se disparaban, comerciantes de productos tóxicos en busca de soluciones más económicas empezaron a enviar los desechos peligrosos a África, Europa Oriental y otras regiones. Una vez en tierra, esos cargamentos de desechos son vertidos indiscriminadamente, derramados accidentalmente o manejados inadecuadamente, lo que producía problemas de salud graves (incluso muertes) y la intoxicación de la tierra, el agua y el aire durante decenios o siglos. Para luchar contra esas prácticas, a finales del decenio de 1980 se negoció el Convenio de Basilea, bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Fue aprobado en 1989 y entró en vigor en 1992.

En primer lugar, el Convenio de Basilea regula los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos aplicando el procedimiento del “consentimiento fundamentado previo” (los envíos efectuados sin consentimiento son ilícitos). Los envíos efectuados a un Estado que no sea parte o desde un Estado que no sea parte son ilícitos, salvo que exista un acuerdo especial. Se exige a toda Parte en el Convenio que promulgue las disposiciones legislativas nacionales adecuadas para prevenir y castigar el tráfico ilícito de desechos peligrosos y otros desechos. El tráfico ilícito es delictivo.

En segundo lugar, el Convenio obliga a las Partes en él a asegurar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen y eliminen de manera ambientalmente racional. A ese fin, se espera de las Partes que minimicen las cantidades que atraviesan las fronteras, que traten y eliminen los desechos lo más cerca posible del lugar donde se generen y que impidan o minimicen la generación de desechos en origen. Se han de aplicar controles estrictos desde el momento de la generación de un desecho peligroso hasta su almacenamiento, transporte, tratamiento, reutilización, reciclado, recuperación y eliminación final. (Basel Convention, 2007)

Anexo B

Resumen del Convenio de Rotterdam (2004)

El Convenio de Rotterdam es un tratado internacional relativamente nuevo en el ámbito de la gestión de los productos químicos. Se abrió a la firma en una Conferencia de plenipotenciarios celebrada en Rotterdam (Países Bajos), en septiembre de 1998. Entró en vigor el 24 de febrero de 2004 [...]

El objetivo del Convenio de Rotterdam es promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las Partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños y contribuir a su utilización ambientalmente racional, facilitando el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación y difundiendo esas decisiones a las Partes. En otras palabras, el Convenio establece un "sistema de alerta rápida" para ayudar a los países a protegerse contra determinados productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Como se describe más pormenorizadamente en la Parte II de esta guía, la finalidad del Convenio es complementar otros instrumentos internacionales abordando este elemento fundamental (el comercio internacional) en el ámbito de la gestión de los productos químicos a lo largo de su ciclo de vida.

(Secretaría del Convenio de Rotterdam, 2004)

Anexo C

Resumen del Convenio de Estocolmo (2004)

El Convenio de Estocolmo regula el tratamiento de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) que perduran por tiempos prolongados, con el objetivo de proteger la salud humana y el ambiente. El Convenio de Estocolmo entró en vigor el 17 de mayo del 2004, siendo aprobado por Argentina mediante la Ley 26.011, de diciembre de 2004.

El Convenio de Estocolmo plantea compatibilizar y articular elementos, tanto de política y economía, como de ciencia y tecnología. Para ello propone diferentes metas, como ser:

- Eliminar/minimizar las emisiones y liberaciones de los COPs intencionales, comprometiendo a la comunidad internacional a poner término a la fabricación, comercio y utilización de los mismos [sic] (Anexos A y B);
- Reducir o eliminar la producción no intencional de los COPS listados en el Anexo C;
- Promover y apoyar la transición hacia otras soluciones ambientalmente más seguras.
- Proponer la identificación e incorporación de nuevos COPs a la lista original.
- Eliminar las antiguas existencias acumuladas y los equipos que contengan COPs mediante estrategias de identificación y manejo ambientalmente racional.
- Promover el estudio del impacto a la salud y el ambiente de los COPs, fortaleciendo los esquemas de monitoreo ambiental y vigilancia de la salud.

(Jefatura de Gabinete de Ministros, 2005)

Anexo D

Trituradora de doble eje

Aspecto	Descripción
Función principal	Desgarrar, cortar y fragmentar materiales voluminosos y de difícil reducción para facilitar su transporte, almacenamiento o procesamiento posterior.
Materiales aplicables	Plásticos de alta resistencia, caucho, neumáticos grandes, nailon, redes de pesca, fibras, papel, cartón, madera, dispositivos eléctricos, cables, botellas PET, barriles plásticos, tambores metálicos de gran diámetro y otros residuos sólidos de gran volumen.
Campos de aplicación	Reciclaje de residuos voluminosos (muebles, sofás, colchones, ventanas), residuos industriales (textiles, cuero, caucho), residuos peligrosos (residuos médicos, bidones contaminados), residuos de papel (libros, embalajes), residuos de jardín (ramas, palets), biomasa (paja, bambú, cáscaras), chatarra (carrocerías, electrodomésticos, metales ligeros), residuos de fábricas de papel y reciclaje de palets y muebles desechados.
Estructura principal	Tolva de alimentación, rodillos de cuchillas (doble eje), sistema de accionamiento, cojinetes, sistema hidráulico y caja de control eléctrico.
Principio de funcionamiento	Los materiales ingresan a la cámara de trituración mediante la tolva. Los rodillos de cuchillas giran en sentido opuesto, realizando el corte y cizallamiento del material, que se fragmenta en piezas más pequeñas y se descarga a través de la salida.
Características del cuerpo	Estructura robusta soldada con placas de acero de alta calidad para garantizar estabilidad bajo cargas pesadas y operación continua.
Cojinetes y mantenimiento	Cojinetes con diseño de asiento desmontable para facilitar el desmontaje, reemplazo de cuchillas y mantenimiento. El sistema de sellado evita la contaminación de la grasa lubricante y protege los cojinetes y engranajes, especialmente en el manejo de materiales líquidos o húmedos.
Enlace de referencia	Double-Shaft Shredder For Recycling



Fuente: Henan Mingyuan Heavy Industrial Equipment Co., LTD
451200 Zhengzhou, CN.

Anexo E

Reactor de Vidrio de Borosilicato:

Aspecto	Descripción
Función principal	Realizar procesos de reacción química y disolución de materiales metálicos y compuestos, manteniendo condiciones controladas de temperatura, agitación y presión.
Potencia	110 V 60 Hz o 220 V 50/60 Hz, monofásica, 750 W
Aplicación en el proceso	Tratamiento químico de componentes electrónicos (microprocesadores, conectores) para la recuperación de metales como oro y aluminio, mediante soluciones ácidas y reactivos específicos.
Material de construcción	Recipiente de vidrio de borosilicato de alta resistencia y piezas de contacto interno en PTFE (Politetrafluoroetileno) para soportar reactivos corrosivos.
Estructura principal	Recipiente de vidrio no encamisado, agitador mecánico con velocidad variable, soporte metálico robusto, válvulas inferiores de descarga y sistema de tapa con puertos para la adición de reactivos y sensores.
Principio de funcionamiento	El reactor permite introducir soluciones ácidas y materiales sólidos, agitarlos homogéneamente y controlar la temperatura de reacción. Tras completar el ciclo de reacción (2 horas por ciclo), el producto se descarga por la válvula inferior para su filtración y separación de metales.
Características adicionales	Sistema de agitación de velocidad variable para optimizar la mezcla; estructura fácil de limpiar; materiales de contacto químicamente inertes para minimizar contaminación.
Motor de Agitación	Potencia: 750 vatios. Velocidad: 300 rpm máx. Par motor: 14,7 Nm máx. Protección: IP44. Relación de velocidad: 1:3.
Enlace de referencia	AI 200L Non-Jacketed Glass Reactor



Fuente: Across International.

Anexo F

Horno Mufla:

Aspecto	Descripción
Fabricante	ORL
Función principal	Realizar procesos de fusión, calcinación y tratamiento térmico de materiales sólidos, garantizando temperaturas uniformes y controladas para la obtención de metales o aleaciones recicladas.
Aplicación en el proceso	Fundición de residuos metálicos sólidos, precipitados y aleaciones recuperadas del tratamiento de PCBs y otros subproductos metálicos, para producir lingotes o piezas reutilizables.
Rango de temperatura de operación	1200 °C a 1400 °C.
Estructura principal	Cámara interior de alta temperatura con aislamiento cerámico; elementos calefactores de larga vida útil; carcasa metálica resistente con recubrimiento protector.
Principio de funcionamiento	El material sólido se introduce en el interior del horno; mediante resistencias eléctricas, se alcanza la temperatura deseada para fundir metales o calcinar compuestos. El diseño garantiza distribución homogénea del calor y control de la atmósfera interna, facilitando una fusión eficiente.
Características adicionales	Sistema de control digital de temperatura de alta precisión; puerta frontal con cierre de seguridad; aislamiento térmico de alta eficiencia que reduce pérdidas de energía y protege al operador.
Enlace de referencia	Horno Mufla de Alta Temperatura 1400 °C



Fuente: OneLab.

Anexo G

Tanques HDPE con sistema de agitación:

Aspecto	Descripción
Función principal	Almacenar, mezclar y agitar soluciones líquidas utilizadas en las distintas etapas del proceso químico, manteniendo una mezcla homogénea y evitando la sedimentación de sólidos.
Potencia	0,37-35KW
Aplicación en el proceso	Manejo de efluentes líquidos, preparación de reactivos, mezcla de soluciones de lixiviación y neutralización de residuos generados durante el tratamiento químico de PCBs.
Material de construcción	HDPE (polietileno de alta densidad), resistente a la corrosión química, impactos mecánicos y cambios de temperatura moderados.
Estructura principal	Tanque cilíndrico con tapa, sistema de agitación mecánica incorporado, soporte metálico o base reforzada según configuración.
Principio de funcionamiento	El tanque recibe líquidos y reactivos, los cuales se agitan mediante un sistema mecánico de paletas o hélices que garantiza una mezcla uniforme durante el tiempo requerido. Esto permite una reacción más eficiente y un manejo seguro de soluciones químicas.
Velocidad del Agitador	0-63rpm.
Características adicionales	Fácil instalación y traslado; mantenimiento simple; tapa de cierre hermético; diseño modular para operar múltiples tanques en paralelo o en serie.
Enlace de referencia	Tanque Agitador HDPE 500 L



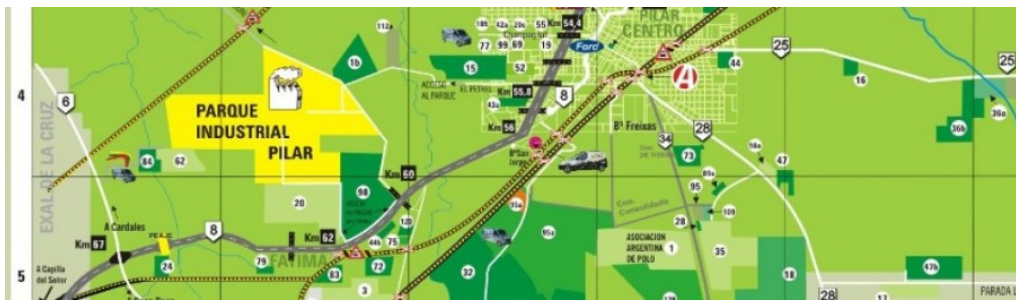
Fuente: Made In China, Yalian.

Anexo H

Parque Industrial Pilar (PIP)

El Parque Industrial Pilar (PIP) fue creado en 1976 por iniciativa privada y es actualmente el parque industrial más grande de Sudamérica. (Parque Industrial Pilar, 2024)

Cuenta con unas 920 hectáreas ubicadas a 5 km de la ciudad de Pilar (Ruta 8 km 60) y tres accesos principales: autopista Panamericana (km 55), Ruta Nacional 8 (km 60) y Autopista del Sol. (Parque Industrial Pilar, 2024)



Fuente: “Acerca del Parque Industrial Pilar” – Parque Industrial Pilar

Desde su fundación se ha convertido en un polo de atracción industrial, superando las 200 empresas asentadas y aproximadamente 20.000 trabajadores a diario. (Parque Industrial Pilar, 2024) A lo largo de las décadas el parque se fue consolidando mediante sucesivas ampliaciones de parcelas, infraestructura compartida y el trabajo articulado entre el consorcio del parque, el municipio y la Cámara de Empresas (CEPIP).

El PIP alberga industrias de muy diversos rubros. Entre los sectores más representativos destacan alimentos y bebidas, automotriz y autopartes, farmacéutico/salud, químico/petroquímico y logístico-transporte. (González, 2024)

Las industrias del parque se rigen por las normativas ambientales nacionales y provinciales vigentes (p.ej. gestión de residuos peligrosos, control de emisiones y efluentes según Leyes 24.051 y 11.723) y, en general, muchas empresas cuentan con certificaciones de gestión de calidad y ambientales (como ISO 14.001).

Sin embargo, al carecer de un gran curso fluvial receptor, la correcta disposición y tratamiento de efluentes líquidos es crítica. Muchas industrias (químicas, farmacéuticas, agroquímicos) deben tratar sus residuos antes de evacuarlos a la red cloacal o a plantas de tratamiento municipales. Se trabaja en iniciativas de economía circular y reciclado interno de residuos industriales, pero todavía faltan sistemas más integrales.

La gestión del consumo energético y la reducción de emisiones atmosféricas (p.ej. de solventes o combustibles) son también metas constantes. En conjunto, el Consorcio impulsa buenas prácticas ambientales, pero reconoce que la sustentabilidad ambiental completa requiere inversiones continuas en tecnología limpia y control estricto de normas vigentes.

Dentro del predio, hay un destacamento del Bomberos Voluntarios de Pilar con guardia 24 horas, autobombas y un tiempo de respuesta estimado en 5 minutos a cualquier punto del parque. También funciona una subcomisaría policial propia, junto con un sistema digital de comunicaciones de seguridad interna. (Parque Industrial Pilar, 2024)

En temas municipales hay un Centro de Atención Municipal (CAM) dentro del parque donde las empresas realizan trámites de habilitación, empleo, etc. El parque alberga además delegaciones de servicios básicos: estación de servicio YPF (combustible, gomería, restaurante), sucursales bancarias (Provincia, Galicia, Patagonia, Río, Ciudad) con cajeros automáticos, y una oficina de Correo Argentino. (Parque Industrial Pilar, 2024)

Hay líneas de colectivos urbanas que conectan el parque con Pilar centro (líneas 176, 350 y 510, con viajes aproximados entre 15-30 minutos) Asimismo, funciona dentro del predio una sede de la UTN (Universidad Tecnológica Nacional) y delegaciones de entidades de apoyo empresarial (CEPIP, RPI). Todos estos servicios públicos y privados (energía eléctrica, gas natural, agua, comunicaciones, vigilancia privada) están diseñados para cubrir la demanda de las industrias allí radicadas. (Parque Industrial Pilar, 2024)

Las perspectivas de empleo en Pilar son amplias gracias al parque. Con más empresas creciendo, hay constante demanda de operarios industriales, técnicos de mantenimiento y calidad, y personal logístico. Portales de empleo y la CEPIP destacan que los puestos más requeridos son operarios de planta (producción y armado), conductores/logísticos y técnicos

electromecánicos. También se solicitan supervisores de producción, ingenieros de procesos y profesionales de gestión para dirigir las operaciones. Los sectores de ventas/comercial y administración también ofrecen vacantes, vinculadas al apoyo de ventas industriales y tareas administrativas dentro de las empresas (Empleo Cerca, 2025)

Además, la creciente adopción de tecnologías 4.0 genera oportunidades en informática industrial y control de calidad. No solo eso, el municipio y la Universidad Tecnológica (UTN) suelen lanzar programas de capacitación laboral para vincular a jóvenes a las necesidades del parque.

En resumen, los sectores de mayor demanda laboral en el distrito industrial son manufactura/fabricación, logística/transporte, y servicios técnicos industriales, seguidos por áreas comerciales y de gestión



Fuente: Plaza Industrial Pilar

Anexo I

Nivel de Complejidad Ambiental (NCA)

En el presente anexo se incluye la planilla Excel oficial utilizada para la determinación del NCA, disponible en la plataforma ADIFSE (Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires). En dicha planilla se cargaron los datos específicos del proyecto, obteniéndose los valores presentados en el cuerpo principal de este proyecto. (Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, s.f.)

NIVEL DE COMPLEJIDAD AMBIENTAL		
Rubro (Ru) Consultar hoja de cálculo Ru		
Rubro CIU (Resolución SAyDS N° 1639/07 modificada por 481/11):	Resolución 481/11 "28.3 El establecimiento no está comprendido en el grupo 3 Y acopia sustancias peligrosas -o sus mezclas- (incluidos residuos peligrosos ó especiales clasificados como tales por la normativa jurisdiccional)- en cualquier estado de agregación, en volumen igual o superior a 10 m3"	
Grupo asignado conforme Resolución SAyDS N° 1639/07 y 481/11	3	
Valor asignado al Rubro (Resolución SAyDS N° 1639/07):	10	
Coeficiente de efluentes y residuos (ER) Consultar hoja de cálculo ER		
Tipo:	3	
Valor asignado al Tipo:	4	
Riesgo (Ri)		
<input type="checkbox"/> NO Riesgo por aparatos sometidos a presión	<input type="checkbox"/> SI Riesgo de explosión	
<input type="checkbox"/> SI Riesgo acústico	<input type="checkbox"/> SI Riesgo de incendio	
<input type="checkbox"/> SI Riesgo por sustancias químicas		
Valor asignado al Riesgo:	4	
Dimensionamiento (Di)		
Cantidad de personal Cantidad: 33 Valor: 1	Relación Sup. cubierta / Sup. total a) Sup. Cubierta: 5.720 m2 b) Sup. Total: 18.798 m2 Relación: (a) / (b): 0,304 Valor: 1	Potencia instalada en HP Potencia: 126,4 HP Valor: 2
Valor asignado al Dimensionamiento	4	
Localización (Lo)		
Zona Parque industrial Valor: 0	Infraestructura de servicios Tiene Agua <input type="checkbox"/> Tiene Luz <input type="checkbox"/> Tiene Cloaca <input type="checkbox"/> Tiene Gas <input type="checkbox"/> Valor: 0	
Valor asignado a la Localización:	0,0	

Nivel de Complejidad Ambiental Inicial

$$\text{NCAi} = \text{Ru} + \text{ER} + \text{Ri} + \text{Di} + \text{Lo} = 22,00$$

Manejo de sustancias particularmente riesgosas

¿Maneja sustancias riesgosas en cantidad superior a lo establecido en la tabla del apéndice del Anexo II de la Resolución SAyDS 1639/2007 (Parte 1)? NO SI **AjSP = 0**

Sistema de Gestión Ambiental

¿Posee un Sistema de Gestión Ambiental certificado? SI NO **AjSGA = 4**

CALCULO del NCA

$$\text{NCA} = \text{NCAi} + \text{AjSP} - \text{AjSGA}$$

$$\text{NCA} = \frac{22,00}{\text{NCAi}} + \frac{0}{\text{AjSP}} - \frac{4}{\text{AjSGA}} = 18,00$$

Categoría conforme Resolución SAyDS 1639/07 = SEGUNDA CATEGORIA = REQUIERE SEGURO AMBIENTAL

Anexo J

Costos Fijos Mano de Obra

La planta de reciclaje de RAEE cuenta con una dotación de 33 personas, distribuidas entre el área de producción y el área administrativa. La base salarial bruta mensual asciende a ARS 76.881.430,78 (USD 56.949,21 al tipo de cambio de referencia 1 USD = ARS 1.350).

Contribuciones Patronales

Se consideran tres regímenes de contribuciones patronales:

Régimen	Porcentaje	Costo mensual (ARS)	Costo mensual (USD)
AFIP No MiPyME	20,40%	92.565.242,66	68.566,85
AFIP MiPyME	18%	90.720.088,32	67.200,07
AFIP MiPyME con reducción del 50%	9%	83.800.759,55	62.074,64

Escenario de Referencia: Se adopta el régimen MiPyME con reducción al 9%, por su aplicabilidad y relevancia para la localización del proyecto durante 24 meses. Luego, aplica el régimen MiPyME.

Detalle por Área y Puesto

Área Administrativa – Salarios Brutos Anuales				
Puesto	Cantidad	Categoría	Salario Anual (ARS)	Total (ARS)
Recursos humanos	2	A	1.353.263,88	2.706.527,76
Soporte administrativo/ compras/proveedores	2	B	1.207.835,68	2.415.671,36
Gerencia administrativa/finanzas	1	Fuera de convenio	8.592.401	8.592.401
Gerencia general	1	Fuera de convenio	19.500.000	19.500.000
Subtotal administración				33.214.600,12

Área de Producción – Salarios Brutos Anuales				
Puesto	Cantidad	Categoría	Salario Anual (ARS)	Total (ARS)
Clasificación y desarme de RAEE	6	B	1.178.146,52	7.068.879,12
Supervisor de clasificación	1	A	1.248.621,47	1.248.621,47
Trituración	2	A1	1.325.041,97	2.650.083,94
Proceso químico en reactores	3	A2	1.407.790,22	4.223.370,66
Hornos Mufla	3	A1	1.325.041,97	3.975.125,91
Tratamiento de Efluentes	1	A1	1.325.041,97	1.325.041,97
Almacenes (reactivos y productos)	1	A	1.248.621,47	1.248.621,47
Mantenimiento	2	A2/A	1.407.790,22 1.248.621,47	2.656.411,69
Limpieza Industrial	1	B	1.178.146,52	1.178.146,52
Recepción y Patio	3	A	1.248.621,47	3.745.864,41
Control de Calidad (QC)	1	A	1.353.263,88	1.353.263,88
HSE/ Medio Ambiente	1	A1	1.499.544,94	1.499.544,94
Logística interna	1	B	1.207.835,68	1.207.835,68
Jefe de planta	1	Fuera de convenio	10.286.019	10.286.019
Subtotal producción				43.666.830,66

Totales:

- Total encuadrados en CCT (operarios + administrativos): **ARS 38.503.010,78**
- Total fuera de convenio: **ARS 38.378.420**

Estimación Salarial con MiPyME (9%)

- Base salarial mensual: ARS 76.881.430,78
- Contribuciones patronales 9%: ARS 6.919.328,77 (USD 5.125,43)
- Costo total mensual: ARS 83.800.759,55 (USD 62.074,64).
- Considerando 13 sueldos (incluido SAC), el costo total anual: **ARS 1.089.409.874,15**
(USD 806.970,28)

Estimación Salarial con MiPyME (18%)

- Costo total anual: **USD 812.095**

Anexo K

Se mantiene la metodología de la Tabla 6-18 de Peters, Timmerhaus y West (5.^a ed.) para la estimación del TPC. Se actualizan las materias primas por año, en el que se considera un crecimiento del 5% en consumo y los precios proyectados. Se conservan las tasas de cargos fijos y la estructura de P ajustada al 17,6% (Servicios 5,6%, Distribución y Ventas 8%, I+D 4%)

Altas de equipos consideradas:

Durante el período analizado se contemplan las siguientes altas de equipos:

Año	Equipo	Costo
2027	Reactor de Vidrio 200L	USD 19.900
	Horno Mufla 1200°C	USD 20.592
	Tanque HDPE 500L	USD 2.968
2029	Trituradora Doble Eje	USD 17.550
	Reactor de Vidrio 200L	USD 19.900
	Tanque HDPE 500L	USD 2.968

Base de capital por año (FCI neto de terreno):

Los valores de FCI neto de terreno considerados son los siguientes:

Año	FCI Neto de Terreno
2026	USD 849.090,90
2027	USD 892.550,90
2028	USD 892.550,90
2029	USD 932.968,90
2030	USD 932.968,90

Cálculo de MP:

Año 2026			
Insumo	Consumo (kg/año)	Precio (USD/kg)	Costo (USD/año)
Ácido clorhídrico (32%)	383.760	0,29	111.290
Ácido nítrico (68%)	745.380	0,77	573.943
Ácido sulfúrico (98%)	12.096	0,35	4.234
EDTA	1.476	3,95	5.830
Hidróxido de sodio	885.600	0,72	637.632
Sulfato ferroso heptahidratado	4.320	2,29	9.893
Zinc metálico	500	2,69	1.346
Total MP (USD)			1.344.167,68

Año 2027			
Insumo	Consumo (kg/año)	Precio (USD/kg)	Costo (USD/año)
Ácido clorhídrico (32%)	402.948	0,29	116.855
Ácido nítrico (68%)	782.649	0,79	618.293
Ácido sulfúrico (98%)	12.701	0,36	4.572
EDTA	1.550	4,12	6.385
Hidróxido de sodio	929.880	0,74	688.111
Sulfato ferroso heptahidratado	4.536	2,35	10.660
Zinc metálico	525	2,75	1.445
Total MP (USD)			1.446.320,80

Año 2028			
Insumo	Consumo (kg/año)	Precio (USD/kg)	Costo (USD/año)
Ácido clorhídrico (32%)	423.095	0,3	126.929
Ácido nítrico (68%)	821.781	0,81	665.643
Ácido sulfúrico (98%)	13.336	0,37	4.934
EDTA	1.627	4,29	6.981
Hidróxido de sodio	976.374	0,75	732.281
Sulfato ferroso heptahidratado	4.763	2,4	11.431
Zinc metálico	552	2,8	1.545
Total MP (USD)			1.549.742,88

Año 2029			
Insumo	Consumo (kg/año)	Precio (USD/kg)	Costo (USD/año)
Ácido clorhídrico (32%)	444.250	0,31	137.718
Ácido nítrico (68%)	862.871	0,82	707.554
Ácido sulfúrico (98%)	14.003	0,38	5.321
EDTA	1.709	4,47	7.638
Hidróxido de sodio	1.025.193	0,76	779.146
Sulfato ferroso heptahidratado	5.001	2,47	12.352
Zinc metálico	579	2,85	1.651
Total MP (USD)			1.651.379,78

Año 2030			
Insumo	Consumo (kg/año)	Precio (USD/kg)	Costo (USD/año)
Ácido clorhídrico (32%)	466.463	0,32	149.268
Ácido nítrico (68%)	906.014	0,84	761.052
Ácido sulfúrico (98%)	14.703	0,39	5.734
EDTA	1.794	4,66	8.360
Hidróxido de sodio	1.076.452	0,78	839.633
Sulfato ferroso heptahidratado	5.251	2,53	13.285
Zinc metálico	608	2,91	1.770
Total MP (USD)			1.779.102,18

Cálculo de otras partidas de A:

Año 2026		
Partida	Cálculo	USD/año
Mano de Obra	Anexo J	806.970,28
Overead de planta	$43,31\% \times (\text{MO} + \text{Mant} + \text{Sumin.})$	357.589
Laboratorio	$10\% \times \text{Mano de obra}$	80.697,02
Depreciación	$6\% \times 849.090,90$	50.945,45
Mantenimiento	$2\% \times 849.090,90$	16.981,82
Impuestos locales	$2\% \times 849.090,90-50\%$	8.490,91
Seguros	$0,7\% \times 849.090,90$	5.943,64
Suministros	$10\% \times \text{Mantenimiento}$	1.698,18
Subtotal Costos Fijos (A sin MP)		1.329.316,44

Año 2027		
Partida	Cálculo	USD/año
Mano de Obra	Anexo J	806.970,28
Overead de planta	$43,31\% \times (\text{MO} + \text{Mant} + \text{Sumin.})$	358.003
Laboratorio	$10\% \times \text{Mano de obra}$	80.697,02
Depreciación	$6\% \times 849.090,90$	53.553,05
Mantenimiento	$2\% \times 849.090,90$	17.851,02
Impuestos locales	$2\% \times 849.090,90-50\%$	8.925,51
Seguros	$0,7\% \times 849.090,90$	6.247,86
Suministros	$10\% \times \text{Mantenimiento}$	1.785,10
Subtotal Costos Fijos (A sin MP)		1.334.032,84

Año 2028		
Partida	Cálculo	USD/año
Mano de Obra	Anexo J	812.095
Overead de planta	$43,31\% \times (\text{MO} + \text{Mant} + \text{Sumin.})$	358.003
Laboratorio	$10\% \times \text{Mano de obra}$	80.697,02
Depreciación	$6\% \times 849.090,90$	53.553,05
Mantenimiento	$2\% \times 849.090,90$	17.851,02
Impuestos locales	$2\% \times 849.090,90-50\%$	8.925,51
Seguros	$0,7\% \times 849.090,90$	6.247,86
Suministros	$10\% \times \text{Mantenimiento}$	1.785,10
Subtotal Costos Fijos (A sin MP)		1.339.157,56

Año 2029		
Partida	Cálculo	USD/año
Mano de Obra (MO)	Anexo J	812.095
Overead de planta	$43,31\% \times (\text{MO} + \text{Mant} + \text{Sumin.})$	358.388
Laboratorio	$10\% \times \text{Mano de obra}$	80.697,02
Depreciación	$6\% \times 849.090,90$	55.978,13
Mantenimiento	$2\% \times 849.090,90$	18.659,38
Impuestos locales	$2\% \times 849.090,90-50\%$	9.329,69
Seguros	$0,7\% \times 849.090,90$	6.530,78
Suministros	$10\% \times \text{Mantenimiento}$	1.865,94
Subtotal Costos Fijos (A sin MP)		1.343.544

Año 2030		
Partida	Cálculo	USD/año
Mano de Obra (MO)	Anexo J	812.095
Overead de planta	$43,31\% \times (MO + Mant + Sumin.)$	358.388
Laboratorio	$10\% \times Mano de obra$	80.697,02
Depreciación	$6\% \times 849.090,90$	55.978,13
Mantenimiento	$2\% \times 849.090,90$	18.659,38
Impuestos locales	$2\% \times 849.090,90-50\%$	9.329,69
Seguros	$0,7\% \times 849.090,90$	6.530,78
Suministros	$10\% \times Mantenimiento$	1.865,94
Subtotal Costos Fijos (A sin MP)		1.343.544

Anexo L

El presente anexo detalla la evolución proyectada de la producción anual y los precios de venta correspondientes a cada uno de los escenarios definidos (pesimista, base y optimista) para el período 2026–2030.

Estas proyecciones constituyen la base del análisis económico-financiero del proyecto, permitiendo estimar los ingresos anuales totales y unitarios asociados a la comercialización de los productos recuperados a partir del reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Cada escenario refleja supuestos diferenciados sobre las condiciones de mercado, la eficiencia operativa y la evolución de los precios internacionales de los metales y subproductos valorizados.

Año 2026

Escenario Pesimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.045	830	867.350
Oro	0,005629	123.907,651	697.476
Fertilizante	358	1.258	450.364
Aleaciones	127,9	2.300	294.170
Plata	0,202	964.520	194.833
Chatarra Ferrosa	1.595	100	159.500
Escenario Base			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.045	930	971.850
Oro	0,005629	124.248.469	699.395
Fertilizante	358	1.266	453.228
Aleaciones	127,9	2.650	338.935
Plata	0,202	996.670	201.327
Chatarra Ferrosa	1.595	105	167.475
Escenario Optimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.045	1.030	1.076.350
Oro	0,005629	124.589.286	701.313
Fertilizante	358	1.274	456.092
Aleaciones	127,9	3.000	383.700
Plata	0,202	1.028.820	207.822
Chatarra Ferrosa	1.595	110	175.450

Año 2027

Escenario Pesimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.097	860	943.635
Oro	0,00591045	136.295.908	805.570
Fertilizante	375,9	1.336	502.202
Aleaciones	134,295	2.400	322.308
Plata	0,2121	1.012.880	214.832
Chatarra Ferrosa	1.675	100	167.475
Escenario Base			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.097	960	1.053.360
Oro	0,00591045	136.602.333	807.381
Fertilizante	375,9	1.345	505.398
Aleaciones	134,295	2.750	369.311
Plata	0,2121	1.052.800	223.299
Chatarra Ferrosa	1.675	105	175.849
Escenario Optimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.097	1060	1.163.085
Oro	0,00591045	136.908.758	809.192
Fertilizante	375,9	1.353	508.593
Aleaciones	134,295	3.100	416.315
Plata	0,2121	1.092.720	231.766
Chatarra Ferrosa	1.675	110	184.223

Año 2028

Escenario Pesimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.152	890	1.025.380
Oro	0,006	148.630.186	922.395
Fertilizante	395	1.419	560.072
Aleaciones	141	2.500	352.524
Plata	0,223	1.060.970	236.283
Chatarra Ferrosa	1.758	100	175.849
Escenario Base			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.152	990	1.140.591
Oro	0,006	148.903.941	924.094
Fertilizante	395	1.428	563.624
Aleaciones	141	2.850	401.878
Plata	0,223	1.108.200	246.802
Chatarra Ferrosa	1.758	105	184.641
Escenario Optimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1152,1125	1.090	1.255.803
Oro	0.000	149.177.695	925.793
Fertilizante	394,695	1.437	567.177
Aleaciones	141	3.200	451.231
Plata	0,223	1.155.430	257.320
Chatarra Ferrosa	1758,488	110	193.434

Año 2029

Escenario Pesimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.210	920	1.112.941
Oro	0,007	161.150.190	1.050.098
Fertilizante	414	1.507	624.546
Aleaciones	148	2.600	384.957
Plata	0,234	1.125.270	263.133
Chatarra Ferrosa	1.846	100	184.641
Escenario Base			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.210	1020	1.233.912
Oro	0,007	161.161.385	1.050.171
Fertilizante	414	1.517	628.483
Aleaciones	148	2.925	433.076
Plata	0,234	1.173.500	274.412
Chatarra Ferrosa	1.846	105	193.873
Escenario Optimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.210	1120	1.354.884
Oro	0,007	161.172.579	1.050.244
Fertilizante	414	1.526	632.420
Aleaciones	148	3.250	481.196
Plata	0,234	1.221.730	285.690
Chatarra Ferrosa	1.846	110	203.105

Año 2030

Escenario Pesimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.270	950	1.206.694
Oro	0,007	170.837.451	1.168.884
Fertilizante	435	1.601	696.677
Aleaciones	155	2.700	419.751
Plata	0,246	1.189.570	292.078
Chatarra Ferrosa	1.939	100	193.873
Escenario Base			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.270	1.050	1.333.714
Oro	0,007	171.005.015	1.170.031
Fertilizante	435	1.611	700.811
Aleaciones	155	3.000	466.390
Plata	0,246	1.237.800	303.920
Chatarra Ferrosa	1.939	105	203.567
Escenario Optimista			
Producto	Producción Anual (Tn)	Precio Unitario (USD/Tn)	Valor de Venta (USD)
Aluminio Sucio	1.270	1.150	1.460.735
Oro	0,007	171.172.579	1.171.177
Fertilizante	435	1.620	704.945
Aleaciones	155	3.300	513.029
Plata	0,246	1.286.030	315.762
Chatarra Ferrosa	1.939	110	213.261

Anexo M

El presente anexo tiene como objetivo incorporar una actualización de los precios de venta considerados en la evaluación económica-financiera del proyecto, a fin de reflejar las variaciones ocurridas en los mercados de metales y fertilizantes entre la fecha original del análisis y el contexto actual.

Dado el carácter dinámico de los precios internacionales particularmente en metales como el oro y la plata, se procede a ajustar los valores base de cada producto según el incremento porcentual registrado en las cotizaciones más recientes, manteniendo constantes las demás variables del modelo.

Esta actualización permite estimar, de forma complementaria, el efecto de la variación de precios sobre los indicadores financieros fundamentales del proyecto, sin alterar la estructura general de costos ni los supuestos técnicos de diseño.

El análisis se presenta de manera resumida y orientativa para brindar un panorama actualizado del desempeño financiero potencial de la planta bajo condiciones de precios revisadas. Durante el período comprendido entre mayo y octubre de 2025, los precios internacionales de los fertilizantes se mantuvieron relativamente estables, con variaciones menores que no modificaron de manera significativa su nivel promedio. En consecuencia, pueden considerarse aproximadamente constantes en términos reales, sin impactos relevantes sobre los costos proyectados del estudio. (IF Consulting, 2025)

Al comparar los valores registrados en mayo de 2025 con los más recientes, se observa que los cuatro metales considerados presentan variaciones positivas, aunque de magnitud diferente.

El oro muestra un incremento moderado, en torno al 27%, el cual se mantiene dentro de los niveles históricamente elevados del mercado. (inversoro, 2025)

La plata evidencia una suba significativa cercana al 60%, atribuida a una mayor demanda industrial y a la volatilidad de los metales preciosos durante el período. (inversor, 2025)

Por su parte, el aluminio y el hierro presenta una variación leve, del orden del 8% y 5% respectivamente, lo que refleja una estabilidad relativa frente a los demás. (tradingeconomics, 2025) (investing, 2025)

En conjunto, los precios de referencia de estos metales se mantienen en niveles altos respecto del promedio de años anteriores, con aumentos moderados o acotados en términos reales, sin alteraciones estructurales en las tendencias de mercado.

A continuación, se presentan los tres escenarios tratados en este proyecto con el aumento del precio base:

Escenario Pesimista											
Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.069.791	3.412.343	3.783.139	4.190.914	4.605.130	4.605.130	4.605.130	4.605.130	4.605.130	4.605.130
TPC (Costos Totales)	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	-174.728	038.127	277.192	556.297	815.511	815.511	815.511	815.511	815.511	815.511
Impuesto	0	0	13345	97.017	194.704	285.429	285.429	285.429	285.429	285.429	285.429
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	61.155	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	61.155	61.155	47.810	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	13.345	47.810	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	-174.728	-5.333	227.985	321.175	530.082	530.082	530.082	530.082	530.082	530.082
FCF	-3.306.091	-123.783	48.220	281.538	377.153	586.060	586.060	586.060	586.060	586.060	586.060

Escenario Base											
Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.273.463	3.623.280	4.007.804	4.417.320	4.842.111	4.842.111	4.842.111	4.842.111	4.842.111	4.842.111
TPC (Costos Totales)	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	028.944	249.064	501.857	782.704	1.052.492	1.052.492	1.052.492	1.052.492	1.052.492	1.052.492
Impuesto	0	010.130	087.172	175.650	273.946	368.372	368.372	368.372	368.372	368.372	368.372
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	018.813	118.432	326.207	468.340	684.120	684.120	684.120	684.120	684.120	684.120
FCF	-3.306.091	069.758	171.985	379.760	524.318	740.098	740.098	740.098	740.098	740.098	740.098

Escenario Optimista											
Partida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Ventas	0	3.468.199	3.829.693	4.226.706	4.643.727	5.074.424	5.074.424	5.074.424	5.074.424	5.074.424	5.074.424
TPC	0	3.244.520	3.374.216	3.505.947	3.634.616	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619	3.789.619
Depreciación	0	50.945	53.553	53.553	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978	55.978
EBIT	0	223.680	455.477	720.759	1.009.111	1.284.805	1.284.805	1.284.805	1.284.805	1.284.805	1.284.805
Impuesto	0	078.288	159.417	252.266	353.189	449.682	449.682	449.682	449.682	449.682	449.682
Inversión	-3.306.091	0	-43.460	0	-40.418	0	0	0	0	0	0
Crédito Fiscal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito acumulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crédito utilizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultado Neto	-3.306.091	145.392	252.600	468.494	615.504	835.123	835.123	835.123	835.123	835.123	835.123
FCF	-3.306.091	196.337	306.153	522.047	671.482	891.101	891.101	891.101	891.101	891.101	891.101

Los resultados, a partir de la actualización de precios y la posterior reevaluación financiera, muestran que, si bien el ajuste mejora levemente los ingresos proyectados, el proyecto continúa presentando valores de VAN negativos en los tres escenarios analizados.

Los valores obtenidos son los siguientes:

- Escenario Optimista: VAN = -586.875,56 USD
- Escenario Base: VAN = -1.237.366,67 USD
- Escenario Pesimista: VAN = -1.915.790,02 USD

Cabe destacar que la tasa de descuento utilizada (WACC = 17,5%) corresponde a la determinada en la sección 7.1 Cálculo de la WACC, la cual refleja las condiciones de financiamiento y el nivel de riesgo asumido por el proyecto.

En síntesis, aun con el incremento del 15,76% en los ingresos por ventas derivado del reciente aumento en los precios de los productos, los indicadores financieros permanecen por debajo del umbral de rentabilidad. Este crecimiento resulta insuficiente frente a los valores establecidos en la sección 7.6.5 Sensibilidad de los Precios de Venta, donde se determinó que los ingresos deberían aumentar entre 20,9% y 34,2% según el escenario considerado. En consecuencia, la viabilidad económica del proyecto continúa sujeta a una reducción significativa de los costos operativos, a la monetización de subproductos no valorizados o al acceso a condiciones de financiamiento más favorables.