



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

MBA

UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
MBA, Magíster en Gestión Empresarial

ECONOMÍA CIRCULAR Y ENERGÍA SOSTENIBLE: MODELO DE NEGOCIOS PARA TECNOLOGÍA BASADA EN RESIDUOS CON APLICACIÓN DE LA CONVERSORA DE DESECHOS SOLAR

Tesina de Grado presentada por

Adolfo Reyes Canales

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Mg. Miguel Acevedo Müller

Septiembre 2025

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía(marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: ECONOMÍA CIRCULAR Y ENERGÍA SOSTENIBLE: MODELO DE NEGOCIOS PARA TECNOLOGÍA BASADA EN RESIDUOS CON APLICACIÓN DE LA CONVERTORA DE DESECHOS SOLAR

Nombre del candidato(a): Adolfo Eduardo Reyes Canales

Carrera / Grado: MBA, Magister en Gestión Empresarial

Campus: Santiago Vitacura; **Departamento:** Ingeniería Comercial

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Miguel Acevedo Müller**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):



4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 05-11-25 ; Firma: _____

Estudiante o Candidato(a): Adolfo Eduardo Reyes Canales

Fecha: 03-11-25 ; Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



TITULO DE TESINA: **“Economía Circular y Energía Sostenible:
Modelo de Negocios para Tecnología Basada
en Residuos con Aplicación de la Solución
Convertora de Desechos Solar”**

AUTOR: **Adolfo Reyes Canales**

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA:

Miguel Acevedo, **Profesor Guía**
Macarena Gatica, **Profesor Co-Referente Interno.**
Claudia Pabón, **Profesor Externo**

Santiago, septiembre 2025



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: ADOLFO REYES CANALES.

Fecha: SEPTIEMBRE 2025

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo aborda la necesidad de contar con modelos de negocios de tecnologías emergentes de generación energética a partir de residuos, bajo los principios de economía circular y sostenibilidad. Se propone un modelo de negocios que integra dimensiones técnicas, económicas, ambientales y estratégicas, orientado a apoyar la toma de decisiones de inversionistas, comunidades y entidades públicas en un contexto de transición energética.

La metodología combina marcos analíticos tradicionales y herramientas de gestión empresarial, como el modelo Canvas y el análisis de las Cinco Fuerzas de Porter. Estas se articulan con un enfoque multicriterio que pondera atributos claves: eficiencia energética, escalabilidad, madurez tecnológica, reducción de emisiones, costos operacionales, compatibilidad regulatoria y generación de ingresos diversificados. De esta manera, el modelo trasciende las evaluaciones unidimensionales centradas en CAPEX o LCOE, incorporando la complejidad real de los proyectos de valorización de residuos.

Como caso de aplicación se analizó la tecnología Convertora de Desechos Solar, una solución modular que integra energía solar con procesos termoquímicos para transformar residuos en electricidad, hidrógeno verde y subproductos valorizables (biochar, carbón activado, carbón black). Este enfoque multiproducto no solo amplía las fuentes de ingreso, sino que también reduce riesgos financieros y fortalece la resiliencia del modelo de negocio. El análisis demuestra que, en comparación con tecnologías como la gasificación, la pirolisis convencional o la biodigestión, la Convertora de Desechos Solar presenta ventajas en costos marginales, impacto ambiental y escalabilidad en la zona centro de Chile.

El plan de negocios elaborado proyecta ingresos a partir del régimen PMGD, la comercialización de hidrógeno verde y la venta de subproductos, con financiamiento apalancado en un crédito internacional del Banco Agrícola de Francia (80%). La estrategia operacional contempla alianzas público-privadas, acuerdos de suministro de residuos, contratos de PPA¹ para energía y coproductos, y certificación de créditos de carbono. Los estudios preliminares muestran retornos competitivos, con periodos de repago entre 4 y 5 años dependiendo de la escala de implementación.

El plan de implementación propuesto considera una fase inicial de validación en proyectos piloto en Chile con al menos 10 plantas de 2 MW entre cada una entre Concepción y Arica, regiones con alta generación de residuos y demanda

¹PPA: "Contrato de Compra de Energía" (o PowerPurchaseAgreement en inglés). Se refiere a un contrato a largo plazo entre un productor y un consumidor de electricidad

energética. La segunda fase apunta a la integración con la minería y el transporte pesado, sectores estratégicos para el uso de hidrógeno verde.

En el largo plazo, la proyección contempla escalamiento global en regiones con alta irradiación solar y abundancia de residuos, lo que refuerza la pertinencia internacional de la tecnología.

En conclusión, esta tesina demuestra que la Conversora de Desechos Solar es una alternativa tecnológicamente viable, financieramente atractiva y ambientalmente superior, con capacidad de contribuir a los objetivos de descarbonización y gestión sustentable de residuos en Chile. Más allá del caso específico, el modelo de negocios diseñado constituye una herramienta replicable y adaptable, destinada a facilitar la priorización de tecnologías innovadoras en la transición hacia una matriz energética más limpia, descentralizada y resiliente.

INDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	6
1. INTRODUCCIÓN	14
2. DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	15
3. OBJETIVOS	15
3.1. OBJETIVO GENERAL:	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	16
4. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	16
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	17
5.1. REVISIÓN DE LITERATURA Y ESTADO DEL ARTE.....	17
5.2. DISEÑO DE MODELO DE NEGOCIOS UTILIZANDO LA HERRAMIENTA CANVAS.....	18
5.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	18
6. ESTADO DEL ARTE.....	18
6.1. ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE	18
6.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR TECNOLOGÍA	19
6.3. ESTADO DEL ARTE MERCADOS ENERGÉTICOS.....	21
6.3.1. HIDRÓGENO VERDE.....	21
6.3.1.1. PANORAMA GLOBAL.....	22



6.3.1.2.	TENDENCIAS DE INGRESOS.....	23
6.3.1.3.	CLIENTES Y SEGMENTOS.....	24
6.3.1.4.	CHILE Y EL MERCADO REGIONAL.....	25
6.3.1.5.	IMPLICANCIAS PARA MODELOS DE NEGOCIO.....	25
6.3.2.	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	26
6.3.2.1.	PANORAMA GLOBAL.....	26
6.3.2.2.	TENDENCIAS DE INGRESOS.....	26
6.3.2.3.	CLIENTES Y SEGMENTOS.....	27
6.3.2.4.	CHILE Y LA REGIÓN.....	28
6.3.2.5.	IMPLICANCIAS PARA MODELOS DE NEGOCIO.....	29
6.3.3.	CARBON BLACK (2024–2025).....	30
6.3.3.1.	PANORAMA GLOBAL.....	30
6.3.3.2.	TENDENCIAS DE INGRESOS.....	31
6.3.3.3.	CLIENTES Y SEGMENTOS.....	31
6.3.3.4.	AMÉRICA LATINA Y CHILE.....	32
6.3.3.5.	IMPLICANCIAS PARA MODELOS DE NEGOCIO (VALORIZACIÓN DE RESIDUOS).....	33
6.3.4.	BIOCHAR.....	33
6.3.4.1.	PANORAMA GLOBAL.....	33



6.3.4.2.	TENDENCIAS DE INGRESOS.....	34
6.3.4.3.	CLIENTES Y SEGMENTOS.....	35
6.3.4.4.	CHILE Y LA REGIÓN	36
6.3.4.5.	IMPLICANCIAS PARA EL MODELO MULTIPRODUCTO	36
6.3.5.	CARBÓN ACTIVADO.....	36
6.3.5.1.	PANORAMA GLOBAL.....	37
6.3.5.2.	TENDENCIAS DE INGRESOS.....	37
6.3.5.3.	CLIENTES Y SEGMENTOS.....	38
6.3.5.4.	CHILE Y LA REGIÓN	39
6.3.5.5.	IMPLICANCIAS PARA EL MODELO MULTIPRODUCTO (CONVERSORA DE DESECHOS)39	
6.4.	MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE.....	40
6.4.1.	MATRIZ GE-MCKINSEY PARA PRIORIZACIÓN ESTRATÉGICA	40
6.4.2.	ANÁLISIS DE LAS CINCO FUERZAS DE PORTER	42
6.4.3.	ANÁLISIS FODA.....	42
7.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	44
7.1.	TECNOLOGÍA CONVERSORA DE DESECHOS SOLAR.....	44
7.2.	MODELO CANVAS – CONVERSORA DE DESECHOS SOLAR	45
7.2.1.	PROPUESTA DE VALOR.....	45



7.2.2.	PLAN DE NEGOCIOS.....	46
7.2.2.1.	MODELO DE INGRESOS.....	46
7.2.2.2.	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL (ACTIVIDADES CLAVES).....	46
7.2.2.3.	COMPETITIVIDAD Y VENTAJAS (ESTRUCTURA DE COSTOS)	47
7.2.2.4.	BENCHMARK CON PROYECTOS INTERNACIONALES	47
7.2.2.5.	MERCADO EN CHILE PARA EL MODELO DE NEGOCIO	47
7.2.3.	SEGMENTO DE CLIENTES.....	48
7.2.4.	CANALES	48
7.2.5.	RELACIÓN CON CLIENTES	48
7.2.6.	FUENTES DE INGRESO	49
7.2.7.	ACTIVIDADES CLAVE.....	49
7.2.8.	RECURSOS CLAVE	50
7.2.9.	SOCIOS CLAVE	50
7.2.10.	ESTRUCTURA DE COSTOS	51
7.2.11.	COSTOS OPERACIONALES MARGINALES	52
7.2.11.1.	ESTIMACIÓN DE OPEX	53
7.2.11.2.	OBSERVACIONES.....	53
7.3.	ESTRATEGIA FINANCIERA Y OPERACIONAL.....	53

7.3.1.	DESTINO DE LOS FONDOS EFICIENCIA EN IMPLEMENTACIÓN	53
7.3.2.	ESTRATEGIA OPERACIONAL ACTIVIDADES CLAVES	53
7.3.3.	RIESGOS FINANCIEROS Y MITIGACIÓN	54
7.4.	PLAN DE IMPLEMENTACIÓN	54
7.5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	56
7.6.	INGRESOS	56
7.7.	COSTOS OPERACIONALES	57
8.	CONCLUSIONES	59
9.	BIBLIOGRAFÍA	62
10.	ANEXOS.....	65
10.1.	ANEXO 1 – EVALUACIÓN FINANCIERA DETALLADA.....	65
10.2.	ANEXO 2 – COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS POR ATRIBUTO	67

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1	ESTIMACIÓN DE COSTOS POR TECNOLOGÍA	19
TABLA N° 2	COMPARACIÓN TECNOLOGÍAS SIMILARES A CONVERSORA DE DESECHOS SOLAR.....	20
TABLA N° 3	RESUMEN DE PRINCIPALES SEGMENTOS DE CLIENTES PARA H2V.....	24
TABLA N° 4	SEGMENTOS DE MERCADO CLAVE PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	27

TABLA N° 5	SEGMENTOS Y USOS TÍPICOS DEL CARBON BLACK.....	31
TABLA N° 6	RESUMEN DE SEGMENTOS CLAVE, USOS E INGRESOS...	35
TABLA N° 7	SEGMENTOS Y USOS TÍPICOS DEL CARBÓN ACTIVADO ..	38
TABLA N° 8	MODELO DE NEGOCIOS CANVAS	51
TABLA N° 9	RESUMEN EVALUACIÓN ECONÓMICA	58

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1	COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS.....	21
FIGURA N° 2	PROYECCIÓN DE DEMANDA POR H ₂ V (K TON H ₂), SEGÚN DESTINO EN ESCENARIO CONSISTENTE CON LA CARBONO NEUTRALIDAD AL 2050.....	23
FIGURA N° 3	MATRIZ DE MCKINSEY.....	41
FIGURA N° 4	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.	45
FIGURA N° 5	ESQUEMA DISTRIBUCIÓN PLANTA CONVERTORA DE DESECHOS SOLAR	54
FIGURA N° 6	CARTA GANTT DE IMPLEMENTACIÓN CON PLAZOS REFERIDOS.....	56

1. Introducción

El presente trabajo tiene por objetivo desarrollar un modelo de negocios para tecnologías emergentes que convierten residuos en energía, con un enfoque en economía circular y sustentabilidad. En el contexto actual de crisis climática, la creciente presión por reducir emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad de diversificar la matriz energética, resulta imprescindible diseñar herramientas que orienten decisiones de inversión pública y privada hacia soluciones innovadoras, de bajo impacto ambiental y con capacidad de adaptación territorial.

La gestión de residuos se ha transformado en uno de los desafíos más urgentes de las sociedades modernas. En Chile, la generación anual de residuos sólidos urbanos e industriales supera los 20 millones de toneladas, de las cuales solo una fracción menor es efectivamente valorizada. La mayor parte termina en rellenos sanitarios o depósitos, lo que genera impactos ambientales, costos crecientes y pérdida de oportunidades económicas. En paralelo, el país enfrenta restricciones crecientes en su sistema eléctrico, marcadas por vertimientos de energía renovable, déficit de transmisión y concentración de proyectos en zonas específicas. Esta doble problemática —residuos y energía— abre un espacio para soluciones que integren ambos ámbitos bajo una lógica de economía circular.

En este escenario, las tecnologías de conversión de desechos en energía adquieren un rol estratégico. Su potencial radica no solo en reducir el volumen de residuos, sino en transformarlos en productos de alto valor como electricidad, hidrógeno verde, biochar, carbón activado o carbón black. Estos productos pueden insertarse en cadenas de valor industriales, mineras, agrícolas y comunitarias, generando beneficios múltiples: reducción de emisiones, diversificación de ingresos, fortalecimiento de la autonomía energética y creación de nuevas oportunidades de negocio vinculadas a la transición energética.

Sin embargo, la adopción de este tipo de tecnologías enfrenta barreras significativas. La falta de promoción de nuevas tecnologías limita la capacidad de priorizar alternativas, especialmente en contextos donde conviven múltiples opciones tecnológicas (gasificación, pirolisis, biodigestión, procesos híbridos). Además, la disponibilidad de financiamiento suele depender de la claridad con que se proyecten los retornos económicos y ambientales. A esto se suma la necesidad de cumplir marcos regulatorios exigentes, coordinar la logística de residuos y asegurar aceptación social en los territorios donde se implementan los proyectos.

A modo de aplicación, se analiza en profundidad la tecnología Conversora de Desechos Solar, una solución modular y autosuficiente que utiliza la energía solar como fuente primaria para transformar residuos en energía eléctrica, hidrógeno verde y coproductos de valor. Este caso de estudio permite validar el modelo propuesto en un contexto real y territorialmente relevante: la zona centro de Chile, donde confluyen alta generación de residuos, demanda de soluciones energéticas descentralizadas y marcos regulatorios que promueven la economía circular.

En definitiva, el trabajo busca contribuir a la transición energética justa y sostenible del país, demostrando que es posible avanzar hacia un sistema energético más resiliente, inclusivo y eficiente a partir de la valorización de desechos. El modelo diseñado no solo pretende ser un aporte académico, sino también una herramienta de utilidad práctica para empresas, comunidades y organismos públicos que deben decidir entre múltiples opciones tecnológicas en un entorno dinámico y desafiante.

2. Definición y Justificación del Tema

El presente trabajo surge de la creciente necesidad de contar con herramientas metodológicas que permitan conocer tecnologías emergentes de generación energética basadas en residuos, desde una perspectiva de negocios, económica y ambiental. La incorporación de criterios de economía circular, eficiencia energética y sustentabilidad ambiental exige un enfoque integrador que supere los modelos de evaluación tradicionales. La selección de tecnologías apropiadas requiere comparar atributos técnicos, costos marginales, beneficios ambientales y viabilidad operativa bajo contextos territoriales concretos. En este sentido, el caso de la tecnología Conversora de Desechos Solar se convierte en una referencia práctica y representativa para el desarrollo de un modelo evaluativo que sirva como insumo para tomadores de decisión del sector energético e industrial.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General:

Desarrollar un modelo de negocios para comercializar tecnologías de generación energética basadas en residuos, desde una perspectiva técnico-económica y ambiental, usando como referencia la solución Conversora de Desechos Solar.

3.2. Objetivos Específicos:

- Indicar estado del arte del mercado de Hidrógeno, Energía solar y subproductos valorizables, tendencias tanto de ingresos, clientes y segmentos.
- Aplicar herramientas de análisis estratégico como Canvas, Porter y McKinsey como herramientas de análisis estratégico y apoyar la decisión de nuestro modelo de negocios con la tecnología convertora de desechos.
- Desarrollar un plan de negocios para la tecnología Convertora de Desechos Solar adaptado a la zona centro de Chile que incorpore la estrategia financiera y operativa.
- Estimar los costos operacionales marginales y establecer una estrategia financiera y operativa viable. Realizar una Evaluación Económica del modelo de negocio.
- Plan de implementación del modelo.

4. Alcance del Estudio

Este estudio se enfoca en tecnologías que utilizan residuos como fuente energética y contempla su aplicación en contextos rurales, industriales o aislados de la zona centro de Chile. El análisis considera variables técnicas, económicas, regulatorias y ambientales. El modelo será diseñado como herramienta aplicable a múltiples soluciones, pero su validación se basará en la evaluación de la tecnología Convertora de Desechos Solar como caso de estudio representativo. No se profundizará en el origen de los recursos financieros ni en la ingeniería detallada de cada alternativa, aunque sí se estimarán rangos de costos operacionales y se propondrán lineamientos estratégicos. La tecnología convertora de desechos solar se basa en la descomposición termoquímica de un material orgánico sin presencia de oxígeno a altas temperaturas que lo transforma en subproductos como gases, líquidos (aceites de pirólisis) y sólidos como el biochar. A diferencia de la combustión, en la pirólisis no hay llama ni oxígeno, lo que permite obtener productos de valor a partir de residuos y biomasa, impulsando la economía circular y la gestión sostenible de materiales. Sumado a lo anterior la Convertora de Desechos Solar, utiliza energía solar fotovoltaica para sus procesos y generación de productos.

A partir de esta base, se desarrollará un modelo de negocios que busca capturar y dimensionar el valor agregado de la Convertora de Desechos Solar. Esta tecnología no se limita a producir un solo tipo de energía, sino que, a partir de un

insumo único —los residuos sólidos— es capaz de transformarlos en diversos productos de salida. Entre ellos se consideran la generación de electricidad bajo el esquema PMGD, la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis, y la valorización de subproductos como biochar, carbón activado o carbón black, todos con mercados emergentes y crecientes en la región.

Este enfoque multiproducto amplía las fuentes de ingreso, diversifica el riesgo operativo y mejora la resiliencia económica del modelo de negocio. La posibilidad de atender simultáneamente distintos segmentos de clientes —desde compañías eléctricas hasta industrias químicas, agrícolas y mineras— refuerza la viabilidad comercial de la propuesta y la posiciona como una alternativa escalable dentro de los marcos de economía circular y transición energética justa.

5. Metodología de Trabajo

Para cumplir con los objetivos de esta tesina, se propone una metodología de trabajo estructurada en tres etapas principales:

5.1. Revisión de Literatura y Estado del Arte

Se realizará un análisis documental de modelos existentes de evaluación de tecnologías energéticas. Revisando propuestas de la EIA (Agencia Internacional de Energía), documentación del Ministerio de Energía, CORFO, entre otras fuentes.

Al revisar información de innovación en ciencia y tecnología nos damos cuenta de que la Industria Tecnológica Francesa, recibe fuertes incentivos en todas las etapas de su cadena de valor, investigación, pruebas, escalamiento, desarrollo de negocios en torno a sus tecnologías, fomento a la internacionalización y por último financiamiento con capitales franceses a Proyectos de Carácter Internacional. En este minuto Francia, Alberga 71 polos de competitividad² que crean un atractivo ecosistema formado por laboratorios, universidades, empresas emergentes y grandes empresas.

Por todo lo anterior buscamos equipos y soluciones que se proyecten con Innovación en el Ciclo Económico Circular y Medio Ambiental.

²El campus de Paris-Saclay fue clasificado por la revista MIT Technology Review como uno de los ocho principales centros de innovación del mundo

5.2. Diseño de Modelo de Negocios Utilizando la Herramienta Canvas

Se desarrollará un modelo multicriterio que considere variables técnicas (eficiencia, modularidad, escalabilidad), económicas (CAPEX, OPEX, ingresos proyectados) y ambientales (reducción de emisiones, valorización de residuos).

El modelo se construirá a partir de herramientas gerenciales del MBA, incluyendo:

- Análisis PESTEL para el contexto nacional.
- Matriz de las Cinco Fuerzas de Porter para caracterizar el entorno competitivo.
- Realizar un ranking de las 5 fuerzas de Porter en grado de importancia.
- Modelo Canvas para definir la propuesta de valor de la tecnología Conversora de DesechosSolar.

5.3. Evaluación Económica y Plan de Implementación

Se elaborará una evaluación económica del modelo de negocios con tecnología de reciclaje.

Se incorporará un plan de implementación de la solución a escala industrial. Este enfoque metodológico permite una evaluación holística y replicable de tecnologías emergentes en un contexto territorial acotado, con miras a fomentar la transición energética desde una perspectiva de economía circular.

6. Estado del Arte

6.1. Antecedentes del Estado del Arte

Los modelos de negocios de tecnologías energéticas han evolucionado desde enfoques puramente técnicos hacia esquemas multicriterio que incorporan aspectos económicos, sociales y ambientales. Dentro de los modelos más representativos se encuentran:

- Modelos LCOE (Levelized Cost of Energy): Permiten comparar tecnologías según su costo nivelado de generación. Son útiles para establecer benchmarks financieros, pero no consideran factores ambientales ni de impacto social.

- **Análisis Costo-Beneficio (ACB):** Evalúan la rentabilidad económica incluyendo externalidades positivas y negativas. Son frecuentemente utilizados en políticas públicas y subsidios.
- **Análisis Multicriterio (AMC):** Incorporan variables cualitativas y cuantitativas, ponderando criterios como eficiencia, modularidad, impacto ambiental, madurez tecnológica, escalabilidad y compatibilidad normativa.
- **Modelos de ciclo de vida (LCA):** Evalúan impactos ambientales desde la producción hasta la disposición final.

En el contexto chileno, existe una tendencia creciente a incorporar análisis de sostenibilidad y economía circular en la evaluación de proyectos, en especial en sectores como minería, agroindustria y tratamiento de residuos. Sin embargo, no se dispone de un modelo estándar que permita comparar tecnologías de valorización energética de residuos adaptadas a condiciones locales. Esta tesina busca llenar ese vacío, proponiendo un modelo de negocios que considere factores económicos, técnicos y ambientales, con énfasis territorial en la zona centro de Chile.

En el ámbito de energías renovables, modelos como RETScreen, HOMER Pro y SAM (SystemAdvisorModel) se han posicionado como herramientas robustas para la evaluación técnica y financiera de proyectos. Sin embargo, estas herramientas tienden a centrarse en tecnologías convencionales (fotovoltaica, eólica, biomasa) y muchas veces no permiten adaptar de forma sencilla tecnologías disruptivas o modelos de negocio basados en economía circular.

En América Latina, organismos como la CEPAL y el BID han impulsado marcos metodológicos que incorporan variables sociales, territoriales y de gobernanza, especialmente en proyectos con componentes de desarrollo comunitario o enfoque en economía sustentable. Aun así, existe un vacío en metodologías específicas para comparar tecnologías que aprovechan residuos (tanto agrícolas como plásticos o industriales) para la generación de energía, hidrógeno verde u otros productos derivados.

6.2. Estimación de Costos por Tecnología

A continuación, se entrega tabla con costos estimados por tecnología.

Tabla N°1 Estimación de Costos por Tecnología

Tecnología	Costos Estimados
Biomasa convencional	0,1-0,18 USD/kWh térmico
Incineración con Recuperación	0,15-0,25 USD /kWh
Biogás	0,07-0,14 USD/kWh

Fuente: Estos valores son consistentes con estudios del Banco Mundial (2022), la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021), y el Ministerio de Energía de Chile (2020).

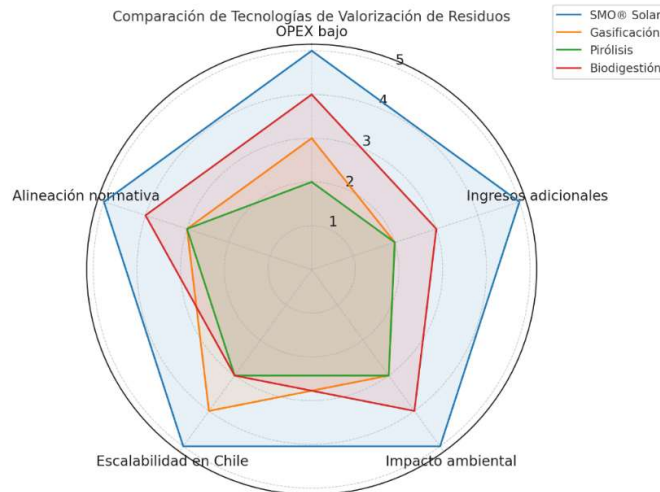
Tabla N°2 Comparación Tecnologías Similares a Conversora de Desechos Solar

Criterio	Conversor Solar	Gasificación	Pirólisis	Biodigestión anaerobia
Fuente principal de energía	Radiación solar + residuos	Oxidación parcial de residuos a alta T°	Descomposición térmica sin oxígeno	Fermentación microbiana sin oxígeno
Productos principales	Electricidad (PMGD), H ₂ verde, Carbón Black	Gas de síntesis (CO, H ₂)	Aceites pirolíticos, carbón, gas	Biogás (CH ₄ + CO ₂), digestato
Costos marginales OPEX	Bajos, por uso de solar y residuos	Moderados, requiere alta T° y control estricto	Moderados-altos, depende del pretratamiento	Bajos, pero depende de logística de biomasa
Ingreso adicional	Sí: venta de H ₂ y subproductos industriales	Limitado: gas de síntesis	Limitado: aceite y carbón	Digestato como fertilizante
Impacto ambiental	Alto beneficio: reducción CO ₂ + valorización residuos	Beneficio medio, pero puede generar CO ₂	Beneficio medio, riesgo de contaminantes	Bajo, beneficioso en reducción de emisiones
Escalabilidad en Chile	Alta en zona centro y norte (sol + residuos)	Alta, pero con CAPEX elevado	Media, depende de mercado para subproductos	Media-alta, requiere cercanía a fuentes orgánicas
Cumplimiento normativo	Alineada con economía circular y transición energética	Cumple, pero con más restricciones	Cumple, pero depende de gestión de residuos	Cumple, ligado a ERNC

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla anterior, podemos verificar que, alineado con criterios de Economía Circular y Transición Energética, el equipo Conversor de Desechos Solar, cubre no solo una posibilidad de negocios sino también con el espíritu de aportar al medio ambiente y la legislación vigente. A modo gráfico:

Figura N°1 Comparación de Tecnologías de Valorización de Residuos



Fuente: Elaboración Propia.

Como conclusión de la figura N°1, podemos graficar que el Conversor de Desechos Solar, incorpora las ventajas de tecnologías similares, sumado a múltiples productos adicionales a la energía.

6.3. Estado del Arte Mercados Energéticos

A continuación, se presenta un resumen de las principales características de los mercados de: Hidrógeno, Solar Fotovoltaico, Carbon Black, Biochart, Carbón activo que son productos relacionados con nuestra Conversora de Desechos Solar y que por inciden en nuestra evaluación financiera.

Es necesario conocer cómo se desenvuelven cada uno de estos mercados y sus proyecciones de crecimiento.

Casos de uso en implementación Planta Conversora Solar

- Guadalupe (Francia): seguridad alimentaria, margen 30%, -20 kt CO₂/año.
- Croacia: margen 18%, H₂ verde a 1,5 USD/kg, -18 kt CO₂/año.
- Aplicación en viviendas sociales con autonomía energética y eficiencia.

6.3.1. Hidrógeno Verde

El hidrógeno se obtiene de compuestos como agua, gas natural, petróleo y biomasa mediante dos procesos principales: la electrólisis del agua, que usa electricidad para separar el hidrógeno del oxígeno, y el reformado con vapor, donde el vapor reacciona con hidrocarburos a alta temperatura y con un catalizador para producir hidrógeno y monóxido de carbono. La electrólisis

puede ser "verde" si usa electricidad renovable, mientras que el reformado es "gris" si el CO₂ se libera, o "azul" si se captura.

Respecto al estado del arte del mercado de hidrógeno con énfasis en ingresos, clientes y segmentos, son puntos desarrollados a continuación:

6.3.1.1. Panorama Global

El hidrógeno verde (H₂V) se inserta como una pieza fundamental en el combate a una crisis climática mundial, mediante la reducción de la huella de carbono de diferentes industrias que demandan energía suministrada con hidrógeno (IRENA, 2023). Si bien el uso del hidrógeno como gas industrial no es algo nuevo, utilizar energías renovables en su producción lo convierte en una fuente de energía "verde", ya que no produce gases de efecto invernadero.

Chile posee una posición ventajosa en energías renovables (solar, eólica e hidráulica), con un potencial energético mayor a 1.800 gigavatios (GW), el cual supera con creces la demanda interna (Ministerio de Energía, 2020). La competitividad de Chile es también relevante en esta industria, con estimaciones de costos de producción en torno a 1 USD/kg H₂ a 2030, inferiores a las estimaciones para otros países competidores debido a las ventajas comparativas antes mencionadas (Ministerio de Energía, 2021). Por lo mismo, se ha convertido en un atractivo de inversión para proyectos de H₂V o sus derivados (amoníaco, metanol y e-combustibles).

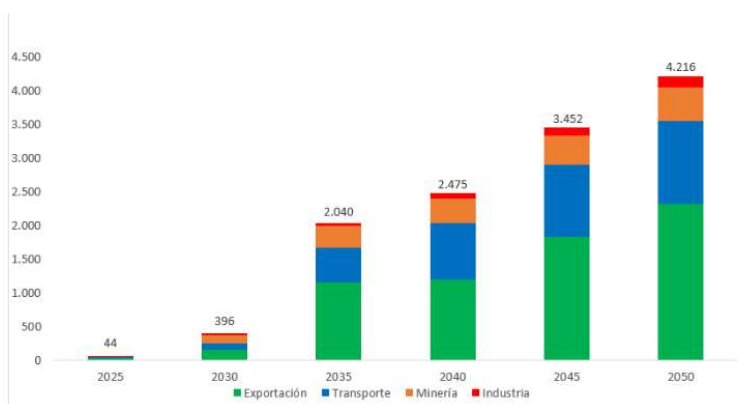
Dentro del proceso de descarbonización al que se enfrenta tanto la economía chilena como la mundial, el H₂V se inserta como pieza fundamental al ser capaz de reemplazar combustibles fósiles para producir calor, electricidad y otras fuentes de energía. Esto lo posiciona ventajosamente sobre otros tipos de energías renovables, algunas de las cuales para utilizarse necesitan también de modificaciones en la infraestructura misma del equipo que requiere de energía.

De esta forma, la demanda interna y externa se estiman crecientes a través del tiempo, en línea con los objetivos para lograr la carbono-neutralidad a más tardar en el año 2050, según la Ley Marco de Cambio Climático (2022).

De³ acuerdo con una minuta de proyecciones de demanda por H₂V del Ministerio de Energía (2024)³, en el escenario consistente con la carbono-neutralidad al 2050 se estima que la demanda por esta fuente energética será impulsada principalmente por el sector externo (Figura 1). Se proyecta que al 2035 se demandarán más de 1,000 kTon de H₂ para exportación, los cuales podrían ser exportados en forma de amoníaco, metanol o e-combustible.

³ Plan de acción del Hidrógeno Verde del Ministerio de Energía de Chile 2024-2030.

Figura N°2 Proyección de Demanda por H2V (K Ton H2), Según Destino en Escenario Consistente con la Carbono Neutralidad al 2050



Fuente: Elaboración Propia en base a minuta Proyección de Demanda por H2V (K Ton H2), según destino en escenario consistente con el carbono neutralidad al 2050, División de Planificación Estratégica y desarrollo Sostenible, Ministerio de Energía (2024).

Los datos anteriores representan tremendos desafíos y oportunidades, toda vez que las grandes economías en el mundo están en tránsito a cumplir metas ambiciosas pero necesarias para lograr objetivos sostenibles. En este contexto, se han ido desarrollando políticas e iniciativas públicas de apoyo al H2V, particularmente en la Unión Europea.

Esto presenta excelentes oportunidades para Chile, país que por su potencial y competitividad en energías renovables se podría posicionar ventajosamente en la industria. Si bien la industria del H2V en Chile está recién comenzando y la incertidumbre asociada a sus perspectivas futuras es alta, ésta podría tener un papel relevante para hacer frente a los desafíos climáticos del mundo.

6.3.1.2. Tendencias de Ingresos

Frente a la especulación que se ha desatado en nuestro país y a las críticas recibidas por quienes impulsan el desarrollo del H2V, lo cierto es que efectivamente existe demanda a nivel mundial que sigue creciendo, lo anterior se refleja en los siguientes datos:

- Mercado global de hidrógeno (todos los colores): ~USD 166 mil millones en 2024, con proyección a ~USD 328 mil millones en 2034 (CAGR 7,2%).
- Ingresos de hidrógeno bajo en carbono crecen impulsados por contratos de offtake, subastas y CfD.

- Ejemplos: subastas en Japón y Corea para generación eléctrica con H₂/amoníaco; 52 países cuentan con estrategias nacionales.
- Demanda mundial de hidrógeno: ~97 Mt en 2023, proyectando ~100 Mt en 2024. Consumo concentrado en refinación y química.
- Producción de bajas emisiones: <1% de la producción total. Estimación de 12–18 Mt/año para 2030 en escenarios probables.
- Inversión: proyectos con FID crecieron de ~USD 10 mil millones en 2020 a ~USD 75 mil millones en 2024.
- Pipeline de electrolizadores: ~375 GW anunciados a 2030; 1,75 GW en operación, 26 GW con FID.

El H2V cuenta con un mercado a nivel mundial y como recurso se transforma en un bien de consumo altamente demandado, considerando sus bajos costos de producción en el mediano plazo.

6.3.1.3. Clientes y Segmentos

La siguiente tabla resume los principales segmentos de clientes y sus características de usos del hidrógeno (actuales y emergentes).

Tabla N°3 Resumen de Principales Segmentos de Clientes para H2V

Segmento / Cliente	Uso del H ₂	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Refinación	Hidrotratamiento y desulfuración	Demanda estable, proyectos de H ₂ bajo en C con CCS	Corto
Química (amoníaco/metanol)	Feedstock industrial	Contratos firmes de H ₂ bajo en C, metanol verde en shipping	Corto–Medio
Acero (DRI)	Sustituto de carbón en DRI	Pilotos y FID en Europa y NA	Medio
Transporte marítimo	Derivados (NH ₃ , MeOH)	>200 pedidos de buques a metanol, desarrollo de bunkering	Medio
Aviación	E-combustibles (SAF)	Proyectos piloto de SAF	Medio–Largo

Segmento / Cliente	Uso del H ₂	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Transporte pesado	Pilas de combustible en buses y camiones	Expansión en buses/camiones, autos en pausa	Medio
Generación eléctrica	Mezcla H ₂ /NH ₃ en turbinas	Japón y Corea activan subastas	Corto–Medio

Fuente: Ministerio de Energía (2021). *Chile's Green Hydrogen Strategy and investment opportunities*. Presentación.

Existe una demanda “histórica” de H₂, que actualmente es cubierta por las Refinerías a nivel mundial, a lo anterior se suman todas las aplicaciones que se encuentran en diferentes etapas de desarrollo en la gran industria de consumo de combustibles, transporte y generación de energía.

6.3.1.4. Chile y el Mercado Regional

Chile tiene múltiples proyectos de hidrógeno verde en distintas etapas, destacando Haru Oni (combustibles sintéticos en Magallanes, liderado por HIF Global y Enel) y HyEx (producción para minería en Antofagasta por Engie y Enaex). La iniciativa se enmarca en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, que busca posicionar al país como líder mundial en el sector, con metas de capacidad de electrólisis y un plan de acción con 81 medidas para 2030.

- Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023–2030 presentado en mayo de 2024.
- Metas: 5 GW de electrólisis en 2025 y 25 GW en 2030.
- Potencial competitivo en Magallanes (recurso eólico) y norte (solar).
- Desafíos: inversión, permisos, aceptación social y participación local.

Con las acciones indicadas anteriormente Chile busca estar preparado para ser un actor relevante en el creciente mercado del H₂V.

6.3.1.5. Implicancias para Modelos de Negocio

Lo indicado en los párrafos precedentes entrega un marco de referencia en cuanto a tipos de clientes, precios estimados, ubicación de mercados y también bastante incertidumbre, toda vez que si bien la tendencia es al alza cada año, no existe una masa crítica que permita señalar que el mercado del H₂V será estable, frente a eso es que nuestra Conversora de Desechos Solar, cuenta con flexibilidad para entregar varios derivados de sus procesos y energía, con lo que se disminuye el riesgo y aumenta las alternativas de negocio.

Este estado del arte entrega un panorama para integrar el mercado de hidrógeno en modelos Canvas y planes de negocio aplicados a Chile y Latinoamérica.

6.3.2. Energía Solar Fotovoltaica

La generación de energía eléctrica a partir de energía solar es el principal medio de Energía Renovable No Convencional a nivel mundial.

Nuestro país es pionero en Generación de Energía Eléctrica a partir de Energía Solar y es por esta razón que nuestro modelo de negocios contempla la generación y venta de energía.

6.3.2.1. Panorama Global

El panorama global de la energía solar fotovoltaica es de crecimiento récord, superando los 2 TW de capacidad instalada a nivel mundial en 2024, con un aumento del 33% en nuevas instalaciones, y se proyecta que alcance el 1 TW anual de adiciones para 2030. La energía solar domina el crecimiento de las renovables, con China liderando las instalaciones, y se espera que para 2030 se convierta en la principal fuente de electricidad a nivel mundial, superando a otras fuentes.

Este auge se impulsa por la reducción de costos, la reducción de la fabricación a nivel global y la versatilidad de la tecnología solar.

6.3.2.2. Tendencias de Ingresos

La Flexibilidad de configuraciones que permiten los paneles solares, democratiza los tipos de negocios que se pueden realizar en el ámbito de la energía, sector que, hasta hace pocos años, solo era atendido por un Oligopolio de Empresas.

A continuación, describimos algunos modelos de negocios que pueden ser abordados a pequeñas y medianas escalas y son desarrollados por pequeños productores de energía eléctrica.

- Utility-scale: ingresos vía PPA/licitaciones, contratos bilaterales y/o mercado spot (merchant), con creciente acoplamiento a BESS⁴.
- C&I (comercial/industrial): PPA on-site y near-site; esquemas de autoconsumo y netbilling; contratos con data centers y grandes cargas.

⁴ BESS: es la sigla en inglés de [Battery Energy Storage System](#), que se traduce como Sistema de Almacenamiento de Energía en Baterías.

- Residencial: autoconsumo con venta de excedentes; paquetes PV⁵+BESS; agregación para servicios de red donde es posible.
- Servicios: EPC⁶, O&M⁷, assetmanagement y repotenciación (repowering/retrofit), más servicios de flexibilidad cuando hay BESS.

La Generación de Energía Eléctrica a partir de Energía Solar, nos sitúa frente a una nueva Revolución Industrial, dado que aún no se termina de cuantificar los avances y creación tecnológica que este cambio impulsa. Es en este sentido que planteamos algunos formatos de negocio que se encuentran vigentes hoy en el mercado y que probablemente tomaran mayores escalas con el paso del tiempo.

6.3.2.3. Clientes y Segmentos

La Energía Eléctrica proveniente de la generación fotovoltaica es versátil y accesible y finalmente se puede utilizar en todos los sitios o aplicaciones donde se necesite alimentación eléctrica, donde no existan líneas de transmisión, incluso en sitios con poco espacio, toda vez que se pueden utilizar techumbres, muros laterales, estacionamientos, entre tantos otros.

Si bien es cierto como estrategia de negocios, es necesario segmentar a los clientes, dejemos en claro que el universo de clientes pudiera ser exponencialmente mayor que este primer análisis.

La siguiente tabla resume segmentos clave, uso típico y horizonte de ingresos.

Tabla N°4 Segmentos de Mercado Clave para el Desarrollo de Energía Solar Fotovoltaica

Segmento / Cliente	Usotípico	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Utility-scale (IPP/Utilities)	Venta a red (PPA/merchant), PV+Storage	Licitaciones y PPAs corporativos en alta; coupling con BESS para capturar precios y servicios	Corto–Medio

⁵ PV: Energía Fotovoltaica

⁶ EPC: de las siglas en inglés Engineering, Procurement and Construction.

⁷ O&M: de las siglas en inglés Operation and Maintenance.

Segmento / Cliente	Usotípico	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
C&I (minería, agro, industria)	Autoconsumo, PPAsonsite/near-site	Demanda por ahorro de energía y ESG; integración con BESS y gestión de demanda	Corto–Medio
Residencial/prosumidores	Autoconsumo + ventas excedentes	Paquetes PV+BESS crecen; agregación en mercados habilitados	Corto
Corporativos (data centers, retail)	PPAsoffsite/virtuales	Mayor cobertura renovable 24/7; contratos de largo plazo	Corto–Medio
PMGD/Distribuida (Chile)	Ventas estabilizadas/reguladas; integración local	Ajustes regulatorios y señales para almacenamiento	Corto–Medio
Agro voltaica/dual use	PV coexistente con agricultura/ganadería	Pilotos y escalamiento selectivo	Medio
Servicios EPC/O&M	Construcción, operación y mantenimiento	Cartera creciente por nuevas plantas y repowering	Corto–Medio

Fuente: BloombergIntelligence.

La flexibilidad, bajo costo de instalación y baja huella de carbono, sumado al aporte social y comunitario que se puede realizar con la energía solar fotovoltaica, dado su cada vez más fácil acceso, nos da cuenta de un mercado que seguirá creciendo año tras año en todas las áreas de la economía donde se necesite energía, el desafío es ser capaz de abordar de manera ordenada.

6.3.2.4. Chile y la Región

Mientras en Alemania de 10 paneles instalados, 4 paneles se instalan para uso domiciliario(fuente<https://www.bundesnetzagentur.de>), en Chile de cada 295 paneles instalados, 1 es para uso domiciliario (fuente <https://fintualist.com/chile/ciencia/mitos-y-verdades-de-la-energia-solar-en-chile/>).

A pesar de las cifras, Chile es pionero en la región en generación eléctrica a partir de fuentes solares fotovoltaicas. Todo lo anterior con tímidos cambios a la normativa vigente que han permitido:

- Fuerte despliegue de PV utility-scale y distribuido; retos por restricciones de transmisión y vertimientos (curtailment).
- Impulso a almacenamiento (BESS) en licitaciones y marcos regulatorios para mejorar integración de PV y capturar valor horario.
- Oportunidades en PMGD⁸/mercados estabilizados, PPAs corporativos y soluciones C&I⁹ (minería, agroindustria).

Con todo lo anterior Chile representa amplias oportunidades en el mercado de la generación eléctrica a partir de energía solar, el mercado de la potencia eléctrica a partir de Sistemas BESS alimentados por la energía generada por la fuente indicada.

6.3.2.5. Implicancias para Modelos de Negocio

A partir de los valores señalados en el punto precedente, Chile representa amplias posibilidades para la venta de energía eléctrica generada desde fuentes solares, toda vez que, para alcanzar niveles de penetración domiciliarios, sumadas a pequeñas y medianas industrias existe amplio espacios y sectores desatendidos.

La convertidora de desechos solar cuenta con la capacidad de autogeneración de energía para sus procesos de producción de H₂V, junto con sus otros productos, sumado a alimentación de energía mediante sistemas BESS o venta de excedentes para inyectar en modo PMGD o Netbilling.

Otra implicancia es la competencia que representa para las actuales generadoras el hecho de que sus contratos de energía con clientes regulados deban ser renegociados, dado los altos precios de ventas que obtuvieron en el pasado, sin la masificación de la energía. Hoy por hoy los precios renegociados consiguen bajas sustantivas, logrando cierres de precios que bordean los USD 70 x MW/hr versus contratos de energía que fueron contratados sobre los USD 100 x MW/hr en el pasado.

Con todas las señales indicadas debemos tener presente que las implicancias en nuestro modelo de negocios permiten recomendar las siguientes acciones de base:

- Priorización de **PV+Storage** para mitigar canibalización horaria y habilitar nuevos ingresos (capacidad/ancillary).
- Diferenciación por **contratos de largo plazo** (PPAs corporativos) y atributos de energía (certificados/24x7).

⁸ PMGD: de la sigla Pequeños Medios de Generación Distribuida.

⁹ C&I: de la sigla en inglés Control and Instrumentation.

- En C&I, enfoque en **autoconsumo, flexibilidad y servicios energéticos** con garantías de desempeño.
- En distribuido/PMGD, énfasis en **ubicación**, gestión del **curtailment** y diseño financiero compatible con storage.

6.3.3. Carbon Black (2024–2025)

Como uno de los subproductos entregados, la Conversora de Desechos Solar, entrega Carbón Black, producto ampliamente usado en múltiples desarrollos industriales. De acuerdo con <https://www.carbon-black.org/uses-of-carbon-black>, las múltiples aplicaciones van desde la industria minera, alimenticia, agrícola, alimentos entre otras. Este documento resume el estado del arte del mercado de Carbon Black (CB) y del Recovered Carbon Black (rCB), con énfasis en tendencias de ingresos, clientes y segmentos, y con implicancias para modelos de negocio basados en valorización de residuos (pirólisis).

6.3.3.1. Panorama Global

El mercado mundial de Carbon Black, actualmente tiene un tamaño aproximado de USD 22.000 millones, proyectándose un crecimiento anual de 5%, llegando a un valor proyectado de USD 32.000 millones aproximadamente para el año 2031, según datos de <https://www.alliedmarketresearch.com/carbon-black-market#:~:text=Investigaci%C3%B3n%20de%20mercado%20del%20negro,4%20%25%20entre%202024%20y%202031>

Los productores de Carbon Black están sometidos a fuertes cuestionamientos por la huella de carbono, sin embargo, con tecnologías como la Conversora de Desechos Solar, estos cuestionamientos podrían revertirse toda vez que la materia prima usada ya es desechos que toma una segunda vida en las aplicaciones del carbón black.

- Tamaño de mercado de CB: ~USD 20,6 mil millones en 2024; el segmento de **neumáticos** concentra ~69% del ingreso y Asia-Pacífico ~64% de la demanda. Las calidades estándar y el **furnaceblack** dominan el mix de producto.
- El rCB (derivado de neumáticos fuera de uso y otros cauchos) crece a **doble dígito**, apalancado por objetivos ESG y disponibilidad de estándares técnicos (ASTM D36/D8178) que mejoran su aceptación. Precios de referencia del CB virgen muestran volatilidad ligada a insumos petroquímicos; índices recientes ubicaron valores cercanos a ~USD 1.300–1.400/ton en hubs comerciales (variando por grado/región).

Los datos indicados en los párrafos precedentes nos indican que existe un mercado con una demanda relevante; Nuestro desafío es ser competitivo tanto local como internacionalmente para contar con canales de venta e ingreso suficientes.

6.3.3.2. Tendencias de Ingresos

Con un mercado mundial creciente, el desafío en nuestro país pasa por identificar el mercado y a los compradores de este producto, sobre todo en la industria química, industrial y alimentos.

A continuación, comentamos algunos datos de la industria a nivel global:

- **CB virgen:** crecimiento orgánico vinculado a neumáticos (OEM y reposición) y a bienes de caucho; proyección de expansión sostenida hasta 2034 (~5–6% CAGR), con márgenes condicionados por energía e insumos.
- **rCB:** ingresos en aceleración por contratos de suministro en cauchos técnicos, plásticos (masterbatch) y tintas/revestimientos; el pipeline industrial incorpora más **peletizado, descenizado y mezclas (blends)** para capturar precios más altos.
- Señales comerciales: más acuerdos de offtake con fabricantes de neumáticos y compuestos, y mayor integración vertical de recicladores (planta, upgrading de rCB y logística).

6.3.3.3. Clientes y Segmentos

La tabla siguiente resume los segmentos clave, el uso típico y el horizonte de ingresos.

Tabla N°5 Segmentos y Usos Típicos del Carbon Black

Segmento / Cliente	Uso típico	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Fabricantes de neumáticos (OEM y reposición)	Refuerzo en compuestos de caucho (tread/carcasa)	Contratos y pilotos con rCB; CB virgen estable y sensible al ciclo automotriz	Corto–Medio
Cauchos técnicos (mangueras, correas, sellos)	Refuerzo y coloración	Mayor adopción de rCB por requisitos menos exigentes que en neumáticos	Corto

Segmento / Cliente	Uso típico	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Plásticos y masterbatch	Pigmento/UV, conductividad	Crecen especificaciones para rCBpeletizado y blends	Corto–Medio
Tintas y recubrimientos	Pigmento (negro)	Demanda selectiva por grado y distribución de partícula	Corto
Construcción (geos sintéticos, tuberías)	Refuerzo/UV	Proyectos con blendsCB+rCB según norma de desempeño	Medio
E-movilidad / baterías (emergente)	Aditivos conductivos	Pilotos; requerimientos estrictos de pureza y superficie específica	Medio–Largo

Fuente: carbón-black.org

6.3.3.4. América Latina y Chile

Como región uno de los grandes desafíos para el uso del carbón black generado por la Conversora de Desechos Solar es conseguir un mercado cercano más allá de un mercado internacional de dicho carbón, Lo anterior presenta un gran desafío de innovación toda vez que debido a sus múltiples usos como material base el carbón black sin lugar a duda puede ser utilizado en diversos desarrollos de productos que hoy por hoy son importados a nuestra región.

El interés por rCB asociado al reciclaje de neumáticos mineros OTR¹⁰ y urbanos.

En Chile, existen iniciativas industriales que **reciclan neumáticos** mediante pirolisis y refinan el rCB (purificación/peletizado) para aplicaciones de mayor valor.

La madurez del rCB local depende de estándares, trazabilidad y acuerdos de offtake con fabricantes de compuestos/plásticos, además de habilitadores logísticos (ubicación, contratos de suministro de NFU¹¹).

Con una serie de acuerdos comerciales que entreguen estabilidad y generen demanda para este producto de la Conversora de Desechos Solar, se podrá llegar al nivel de ingresos adecuados.

¹⁰ OTR: de las siglas en inglés Off The Road.

¹¹ NFU: de las siglas Neumáticos Fuera de Uso.

6.3.3.5. Implicancias para Modelos de Negocio (Valorización de Residuos)

Existe un mercado de carbón black, en nuestro país y en el mundo, luego las implicancias pasan por ser un proveedor confiable y ser capaz de ingresar a este mercado aprovechando las ventajas competitivas del carbón black generado por la Conversora de Desechos Solar, sobre todo en el escenario en que este subproducto de la tecnología comentada es un subproducto base, los costos son mínimos.

- Un esquema multiproducto (rCB + aceite/piro-óleo + gas de proceso + acero) **diversifica ingresos** y reduce riesgo. Para maximizar el valor del rCB se requiere **upgrading** (descenizado, clasificación, peletizado) y **QA/QC** contra especificaciones ASTM.
- La **bancabilidad** mejora con offtake firmes (cauchos técnicos/plásticos) y gradualmente con pilotos en neumáticos. Integrar almacenamiento y blending permite atender distintos grados/segmentos y capturar mejores precios.

Finalmente concluimos que la destreza con que se ingrese a este mercado, puede ser una extensión de un mercado local y global relevante para la diversificación del negocio de la Conversora de Desechos Solar.

6.3.4. Biochar

La Conversora de Desechos Solar, genera Biochar, sumándose este último a la oferta de Carbón Black, H2V y Energía Eléctrica.

El biochar se define como el carbón generado por descomposición termoquímica en ausencia de oxígeno y es un grano fino similar al carbón vegetal que se utiliza como nutriente y abono para usos agrícolas.

Para el caso del Biochar a continuación revisaremos el estado del arte del mercado de biochar con énfasis en tendencias de ingresos, clientes y segmentos, y sus implicancias para modelos de negocio basados en valorización de residuos mediante pirolisis (biochar + bio-oil + syngas).

6.3.4.1. Panorama global

El biochar emerge como una solución a la crisis alimenticia del tercer mundo y es una herramienta para combatir el cambio climático.

Es una herramienta para combatir el cambio climático dado que se captura carbono que luego es utilizado como abono en los suelos fijando, carbono que no es liberado a la atmósfera.

Se conocen sus propiedades en el mejoramiento de terrenos agrícolas, mejorando sus propiedades y productividad e incluso convirtiendo suelos de baja calidad en suelos aptos para generar plantaciones en ellos.

- El mercado global de biochar fue estimado en ~USD 760–860 millones en 2024–2025, con proyecciones hacia ~USD 2,1 mil millones a 2032 (crecimientos anuales de dos dígitos en la mayoría de los reportes). La producción global superó ~350.000 toneladas en 2023, con fuerte expansión en agricultura, manejo de residuos y créditos de remoción de carbono.
- Impulso regulatorio y de mercado: marcos de certificación de **remoción de carbono** (p. ej., Puro.earth) y avances en la **certificación europea de remociones**; mayor claridad metodológica y trazabilidad.
- Aplicaciones principales: **mejorador de suelos** (fertilidad, retención de agua/nutrientes), **remediación ambiental** (adsorción de contaminantes), **materiales de construcción** (aditivos, cementos con biochar) y **gestión de residuos orgánicos**.

Por todo lo anterior el Biochar representa una oportunidad en un mercado emergente y en expansión a nivel local y mundial.

6.3.4.2. Tendencias de Ingresos

El mercado nacional y mundial de Biochar se encuentra en expansión, desde que se vinculó el “buen uso” del carbono en los suelos y su relacionamiento con bonos de carbono a largo plazo.

- **Venta de producto:** biochar a granel para agricultura, horticultura y paisajismo; grados funcionalizados (activados/impregnados) para remediación y aguas.
- **Créditos de remoción de carbono (CDR):** emisión de certificados por almacenamiento estable de carbono en biochar (CORC¹²s u otros), con ventas a corporativos y fondos climáticos. Durante el 2024, la tonelada métrica de biochar en créditos de carbono alcanzó los USD 177 versus los USD 131 del año 2023.
- **Tasas de tratamiento / tippingfees:** ingresos por recibir residuos biomásicos/municipales agrícolas, que son el feedstock del proceso.
- **Coproductos de pirolisis:** monetización de **syngas** (calor/potencia) y **bio-oil** (insumo químico/energético), que refuerzan el flujo de caja y reducen OPEX neto.

Quienes utilicen el biochar en el área agrícola, ayudan a sus campos a mejorar rendimientos y también disminuyen la huella de carbono.

¹² CORC: de las siglas en inglés CO Removal Certificate

6.3.4.3. Clientes y Segmentos

La siguiente tabla resume segmentos clave, usos típicos y horizonte de ingresos.

Tabla N°6 Resumen de Segmentos Clave, Usos e Ingresos

Segmento / Cliente	Uso típico	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Agricultura (productores/cooperativas)	Mejorador de suelos; retención de agua y nutrientes	Demanda creciente por resiliencia hídrica y rendimientos; paquetes con asesoría agronómica	Corto–Medio
Horticultura/paisajismo	Sustratos y blends con compost	Paquetes premium en retail; dispuestos a pagar por desempeño	Corto
Remediación/aguas (utilities, minería)	Adsorbente de contaminantes/metales	Pilotos y contratos por especificación; biochar activado/funcionalizado	Medio
Construcción/materiales	Aditivo en cementos, asfaltos, paneles	Proyectos con metas de huella de carbono; validaciones técnicas en curso	Medio–Largo
Gestión de residuos (municipios/operadores)	Solución de valorización con reducción de volumen	Modelos con tipping fees y contratos de suministro de biomasa	Corto
Compradores de CDR (tech/finanzas/aviación)	Compra de créditos (CORCs u otros)	Mayor apetito por remociones con permanencia y co-beneficios	Corto–Medio

Fuente: TheBiocharJournalist

6.3.4.4. Chile y la Región

En Chile, se ha documentado que el Biochar también es un fertilizante tipo NPK (Nitrógeno, fósforo, potasio), generando una producción y programas en los cuales CORFO ha entregado financiamiento para posibles productores.

Países con mayor desarrollo agrícola como Argentina, Brasil y Colombia, descubren toda la potencialidad de este producto.

- **Oportunidad de feedstock:** residuos agrícolas y forestales, podas urbanas y biomasa de prevención de incendios.
- **Mercado de carbono:** elegibilidad de proyectos certificados (p. ej., estándares reconocidos) y uso de créditos para compensar tributos y metas corporativas.
- **Casos de uso:** suelos degradados, retención hídrica en agro (zona centro), sustratos/mezclas con compost, y aplicaciones de remediación selectivas.

Según la Consultora América, “Informes de Expertos”, cada vez son más los países que descubren los beneficios del Biochar e ingresan a este mercado en expansión.

6.3.4.5. Implicancias para el Modelo Multiproducto

Una Conversora de desechos por pirolisis permite, desde un único insumo (biomasa/residuos orgánicos) hasta obtener **cuatro o más flujos de salida:** biochar (producto principal), **créditos CDR** (cuando aplica), **syngas** (energía térmica/eléctrica) y **bio-oil** (insumo químico/energético). Este esquema multiproducto **diversifica ingresos**, reduce la exposición a ciclos de un solo mercado y mejora la bancabilidad del proyecto.

- Para capturar valor premium, se recomienda:
- control de calidad (QA/QC) por especificación del biochar
- contratos de suministro de biomasa con trazabilidad;
- offtake de CDR con compradores ancla;
- integración energética in-situ del syngas para disminuir OPEX¹³.

6.3.5. Carbón Activado

El carbón activado o carbón activo es un elemento poroso que atrapa compuestos, en primer lugar, orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado por el ser humano.

¹³ OPEX: de la sigla en inglés Operational Expenses

A continuación, se resume el estado del arte del mercado de carbón activado (AC), con énfasis en tendencias de ingresos, clientes y segmentos relevantes, y con implicancias para modelos de negocio en valorización de residuos.

6.3.5.1. Panorama Global

Según datos de Global Newswire se proyecta que el mercado global de carbón activado alcance un tamaño de USD 13.000 millones al año 2030, siendo uno de los mercados principales, el Mercado Asiático.

- Tamaño de mercado de carbón activado: estimado en ~USD 5,5–6,0 mil millones en 2024, con proyecciones hacia ~USD 13 mil millones a 2032 (CAGR 6–7%).
- Producción global supera los 3 millones de toneladas anuales, con Asia-Pacífico dominando (China, India, Japón).

De acuerdo con el tipo de carbón activado, se pueden clasificar las siguientes categorías: **AC granular (GAC)**, **AC en polvo (PAC)**, **AC en pellet/extrudido**; feedstocks principales: carbón mineral, cáscara de coco, madera, biomasa. Aplicaciones clave: tratamiento de agua potable y aguas residuales, aire y gases, alimentos y bebidas, farmacéutica y química.

6.3.5.2. Tendencias de Ingresos

Los ingresos se originan a partir de las aplicaciones que pueden ser cubiertas.

En este caso las aplicaciones se encuentran en mercados bien específicos y repetitivos en el mercado internacional, lo que termina generando volumen a aplicaciones que se extrapolan en los distintos países.

- **Agua y aguas residuales:** principal motor (>40% de ingresos globales); regulaciones ambientales más estrictas en Asia, UE y EE. UU.
- **Aire y gases:** crecimiento por normativas de calidad del aire, emisiones industriales y aplicaciones en automoción.
- **Farmacéutica y alimentos:** carbón activado para purificación de principios activos y como aditivo alimentario.
- **Aplicaciones emergentes:** almacenamiento de energía (supercapacitores, baterías), catálisis y aplicaciones médicas avanzadas. Ingresos regionales: Asia-Pacífico domina producción y consumo; América Latina y África muestran oportunidades por déficit en tratamiento de agua.

6.3.5.3. Clientes y Segmentos

La siguiente tabla resume segmentos clave, usos típicos y horizonte de ingresos.

Tabla N°7 Segmentos y usos Típicos del Carbón Activado

Segmento / Cliente	Uso típico	Señales 2024–2025	Horizonte de ingresos
Municipalidades / Utilities de agua	Tratamiento de agua potable y residual	Regulación más estricta, planes de inversión en plantas de tratamiento	Corto–Medio
Industria alimentaria y bebidas	Descoloración, purificación	Creciente adopción en jugos, azúcares, bebidas alcohólicas	Corto
Farmacéutica / química	Purificación de APIs y procesos químicos	Mayor demanda de AC de alta pureza	Corto–Medio
Industria Automotriz / aire	Filtros de aire y emisiones	Normas ambientales más estrictas en UE y EE. UU.	Corto–Medio
Aplicaciones emergentes (energía)	Electrodosensupercapacitores, catálisis	Pilotos y desarrollo de AC avanzado	Medio–Largo
Gestión de residuos / biomasa	Producción de AC a partir de cáscara de coco, madera	Expansión de oferta sostenible, rCB activado	Medio

Fuente: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/carbon-activado>

6.3.5.4. Chile y la Región

El mercado del carbón activado en Chile y Sudamérica representa el 4,7% del tamaño global según fuentes del <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/activated-carbon-market>.

Por lo tanto, en un mercado en constante crecimiento, Chile y la Región se posicionan como un actor relevante al generar procesos de producción de carbón activado y convertirse en un proveedor global del mencionado elemento.

Las principales oportunidades se destacan en:

- Uso creciente en tratamiento de agua potable y minería (adsorción de metales pesados y contaminantes).
- Oportunidades para producir carbón activado a partir de **biomasa local** (cáscara de nuez, madera, residuos agrícolas).
- Potencial para proyectos de economía circular: plantas modulares que integren producción de AC con valorización de residuos y generación de subproductos energéticos.

La ventaja del carbón activado es que puede ser usado en el desarrollo o integración de tecnologías existentes, que tienen un tremendo impacto en el desarrollo humano al eliminar contaminantes del agua y múltiples procesos.

6.3.5.5. Implicancias para el modelo Multiproducto (Convertora de Desechos)

La conversión de residuos en carbón activado habilita un flujo de ingresos adicional dentro de un esquema multiproducto (electricidad, hidrógeno verde, biochar/carbón black y carbón activado). Este enfoque aumenta la resiliencia financiera y la sostenibilidad ambiental.

Se recomienda para fortalecer la estrategia de la venta del carbón activado:

- Definir grado y especificación del AC según mercado objetivo (agua, aire, pharma)
- Establecer contratos de suministro con utilities e industrias
- Garantizar certificación de calidad y trazabilidad de feedstock
- Evaluar integración energética de subproductos (bio-oil, syngas) para optimizar costos.

6.4. Marco Teórico del Estado del Arte

El marco teórico se sustenta en los principios de la economía circular, entendida como un modelo que busca reducir la extracción de recursos vírgenes, extender el ciclo de vida de productos y minimizar los residuos. Aplicado al sector energético, implica la valorización de subproductos y residuos mediante procesos eficientes y sustentables.

Se integran conceptos de:

- Transición energética justa.
- Innovación tecnológica sostenible.
- Evaluación de impacto ambiental.
- Modelos de negocios sustentables y resilientes.

Asimismo, se considera el enfoque Canvas como herramienta para representar la propuesta de valor de tecnologías emergentes. En este trabajo se desarrollará un modelo Canvas aplicado a la tecnología Conversora De Desechos Solar, destacando sus atributos técnicos, económicos y diferenciadores frente a soluciones convencionales.

La combinación de teoría económica, herramientas de análisis estratégico y marcos ambientales permiten sustentar el modelo comparativo propuesto.

6.4.1. Matriz GE-McKinsey para Priorización Estratégica

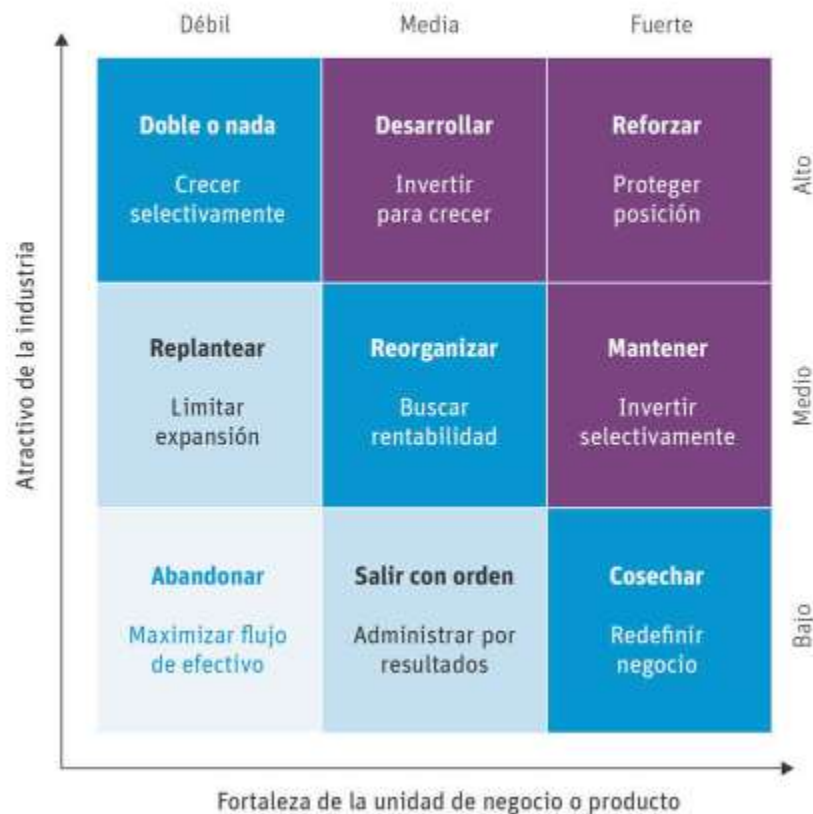
La matriz GE-McKinsey permite evaluar la priorización estratégica de inversión considerando dos dimensiones clave: el atractivo del mercado y la posición competitiva del negocio.

- Atractivo del mercado: Chile presenta un entorno favorable para soluciones en economía circular, con legislación de apoyo (Ley REP, Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, Plan de Hidrógeno Verde), alta generación de residuos valorizables, y programas públicos de fomento. La zona centro del país concentra más del 60% de la población y de la actividad industrial, generando aproximadamente 9 millones de toneladas anuales de residuos sólidos, de los cuales al menos 3,1 millones tienen potencial de valorización energética. Por todo lo anterior caemos en el recuadro “Desarrollar”, invertir para crecer.
- Posición competitiva de Conversora De Desechos Solar: Aunque se trata de una tecnología emergente con menor penetración que alternativas como la solar fotovoltaica o el biogás, Conversora De Desechos Solar se posiciona estratégicamente gracias a su modularidad, eficiencia energética, bajo impacto ambiental y capacidad para operar con una amplia gama de residuos.

La tecnología se ubica en el cuadrante de “crecimiento selectivo”, lo que implica que, si bien se requiere fortalecer alianzas y robustecer la propuesta de valor, existen oportunidades claras para escalar su aplicación en territorios específicos.

Figura N°3 Matriz de McKinsey

Matriz de McKinsey



Fuente: www.mckinsey.com

6.4.2. Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter

Este análisis permite identificar las fuerzas competitivas que afectan la implementación de soluciones basadas en Conversora De Desechos Solar en la zona centro de Chile.

- **Amenaza de nuevos entrantes:** Media. Si bien existen barreras tecnológicas, regulatorias y de financiamiento, el creciente interés por las energías renovables y la economía circular puede atraer nuevos actores. La exigencia de permisos ambientales y la necesidad de know-how técnico limitan la entrada inmediata.
- **Poder de negociación de los proveedores:** Bajo. La tecnología puede operar con diversos tipos de residuos comunes, reduciendo la dependencia de proveedores exclusivos. La disponibilidad de residuos urbanos, agrícolas e industriales en Chile es amplia.
- **Poder de negociación de los clientes:** Medio a alto. Aunque el esquema PMGD garantiza una tarifa regulada, los clientes tienen alternativas tecnológicas (fotovoltaica, biogás) más consolidadas. La diferenciación por impacto ambiental será clave.
- **Amenaza de productos sustitutos:** Alta. Las tecnologías convencionales poseen mayor madurez técnica y apoyo institucional. Conversora De Desechos debe posicionarse como solución complementaria, destacando su valor agregado en términos de sustentabilidad.
- **Rivalidad entre competidores existentes:** Media. Aunque el mercado aún es incipiente, empresas como WES, Yaku o Kilimo presentan soluciones basadas en eficiencia hídrica y energética. La diferenciación tecnológica y territorial será esencial.

6.4.3. Análisis FODA¹⁴

- **Fortalezas:** Conversora de Desechos Solar cuenta con Patentes y con instalaciones consolidadas en el mundo, estas instalaciones de referencia han sido cruciales para contar con los rendimientos de subproductos que se utilizan en el análisis de negocio. Su crecimiento y armado de forma modular, hace que la Planta Conversora de Desechos Solar, sea versátil y permita proyectar un futuro de crecimiento en los lugares donde el proyecto sea instalado inicialmente.
- **Oportunidades:** Debido a los cambios de las regulaciones y nueva Ley Rep., contamos con un Sistema Conversor de Desechos Solar, que significa un win-win en todos los aspectos, generando un círculo virtuoso,

¹⁴ FODA: de las siglas Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

de entrada, la Planta Conversora de Desechos Solar, puede procesar desechos de Fábricas Multi Procesos que generen una cantidad de desechos importante y a partir de ellos como su insumo principal, generar H2V, Energía Eléctrica, biochar, carbón activado. Adicionalmente la venta de energía eléctrica para clientes libres, o no regulados presenta una oportunidad de negocios intrínseca al funcionamiento de la Planta Conversora de Desechos Solar. Sumando a esto último, la escalabilidad de la planta, esto dice relación a que en aquellos lugares donde será instalada esta planta, siempre se puede proyectar el crecimiento al doble o triple según sea el caso y sin mayor uso de espacio desplegado en la planta.

- **Debilidades:** Debido a que nuestro país verá como una innovación a la Planta Conversora de Desechos Solar, nos enfrentaremos a una alta clasificación de riesgo por agentes financieros y operadores tradicionales. Lo anterior sumado a que inicialmente debemos instruir y formar un equipo técnico de operación de la Planta Conversora de Desechos Solar. Es muy importante considerar la logística y conexión con caminos o carreteras principales, toda vez que los elementos como Biochar y Carbón Activado se traslada mediante camiones, trenes de carga o buques en el caso de la exportación, la disponibilidad de lugares que cumplan los criterios anteriores sumado a un punto de conexión a la red para vender la energía eléctrica generada por la planta, representan un desafío y genera debilidad si el recinto propiamente tal no cumple a cabalidad con los múltiples criterios que se comentan anteriormente.
- **Amenazas:** En el mercado existen amenazas, debido a la fuerte competencia del sector generador de energía, siendo mandatorio conseguir “fuentes de energía” para la Conversora Solar al más bajo costo posible, para este caso la basura es y será un insumo crucial que no puede fallar en cantidad y calidad.

Contar con acuerdos con recicladores, recolectores, capacitarlos para que conozcan que tipo de basura sirve y cual no, para el caso de las Plantas que dependerán de acuerdos municipales de basura.

En el caso de Plantas que sean instaladas en Empresas que cuenten con suficiente material como empresas forestales o agroindustrias, es crítico que cuenten con la generación de desechos vegetales suficientes para lograr el insumo necesario y así cubrir la generación comprometida.

7. Desarrollo de la Propuesta

En esta sección se aplica el modelo de negocios propuesto utilizando como caso de referencia la solución Conversora de Desechos Solar. La tecnología consiste en una planta modular transportable capaz de generar energía eléctrica a partir de la valorización de residuos, con aplicaciones en producción de hidrógeno verde y subproductos como carbón black. A continuación, se presenta más detalle y su modelo Canvas:

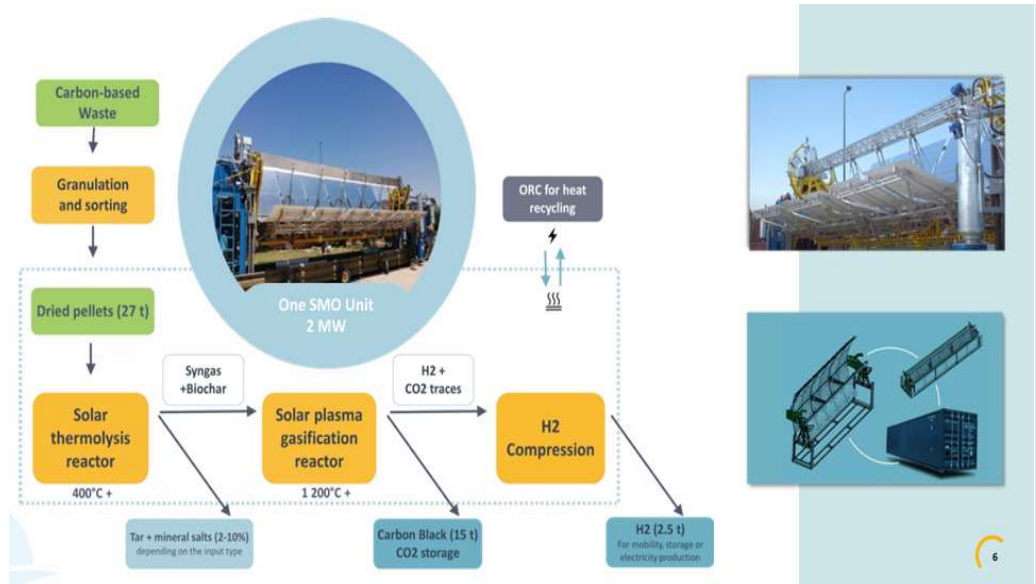
7.1. Tecnología Conversora de Desechos Solar

La tecnología Conversora de Desechos Solar, es una solución modular que integra energía solar con procesos termoquímicos para transformar residuos en electricidad, hidrógeno verde y subproductos valorizables (biochar, carbón activado, carbón black). Este enfoque multiproducto no solo amplía las fuentes de ingreso, sino que también reduce riesgos financieros y fortalece la resiliencia del modelo de negocio. El análisis demuestra que, en comparación con tecnologías como la gasificación, la pirolisis convencional o la biodigestión, la Conversora de Desechos Solar presenta ventajas en costos marginales, impacto ambiental y escalabilidad en la zona centro de Chile.

La producción de hidrógeno verde a partir de fuentes renovables, sin emisiones de CO₂ fósil, es sin duda uno de los medios más ambiciosos para lograr un futuro bajo en carbono. El Proceso Solar es un procesador compacto y autónomo que utiliza la energía solar como su fuente primaria. Además, transforma residuos y biomasa no alimentaria en hidrógeno verde, energía y subproductos carbonosos con una huella de carbono negativa.

Esto no es solo una tecnología, es también una filosofía: aprovechar cada fracción de los subproductos, no dejar nada en desuso, apoyar la economía circular y fomentar una producción accesible y asequible para todos.

Figura N°4 Diagrama Esquemático de la Solución Propuesta.



Fuente: www.smosolarprocess.com

La Convertora de Desechos Solar es un claro ejemplo de Economía Circular con doble resultado positivo:

- Recibe desechos, basuras, basuras orgánicas.
- Una vez separados y acopiados los desechos se utilizan como insumo para la mayoría de los productos de salida, es decir la basura que antes iba a dar a un relleno sanitario, ahora se convierte en productos que pueden capturar carbono y mejorar la fertilización de la tierra.
- Como segundo resultado la Planta también produce energía verde e H2V.
- El H2V puede ser trasladado a múltiples lugares con sus distintas aplicaciones.
- La Energía Eléctrica generada por la planta puede ser inyectada a la red a menor costo.

Finalmente se generó valor, reduciendo basura, capturando carbono de la atmosfera y generando energía eléctrica a menos costo.

7.2. Modelo Canvas – Convertora de Desechos Solar

7.2.1. Propuesta de valor

La Convertora de Desechos Solar ofrece una solución integral y sustentable para la generación de energía limpia a partir de residuos. Su fortaleza radica en la capacidad de transformar un insumo de bajo valor –residuos sólidos urbanos,

industriales o biomasa no alimentaria– en múltiples productos de salida con alto potencial de mercado: electricidad bajo régimen PMGD, hidrógeno verde, biochar, carbón activado y carbón black.

Este carácter multiproducto no solo maximiza la valorización de los residuos, sino que además diversifica las fuentes de ingreso y reduce riesgos financieros. La propuesta se distingue por su enfoque en economía circular, minimizando la huella ambiental con un proceso de baja emisión y con posibilidad de generar créditos de carbono.

Además, al ser modular y escalable, la tecnología puede adaptarse a diferentes territorios, desde comunidades rurales hasta proyectos industriales de gran escala, lo que la convierte en una alternativa flexible y replicable.

7.2.2. Plan de Negocios

Este plan de negocios se enfoca en la implementación de la tecnología Conversora De Desechos Solar en la zona centro de Chile, considerando condiciones territoriales, demanda energética y oportunidades de valorización de residuos.

Análisis del mercado:

- Región objetivo: Metropolitana, O'Higgins, Maule y Valparaíso.
- Sectores relevantes: Minería, agroindustria, comunidades rurales sin acceso a redes eléctricas.
- Demanda: Más de 300 localidades presentan déficit energético y alto potencial de residuos agrícolas e industriales.

7.2.2.1. Modelo de Ingresos

- Venta de **hidrógeno verde** a precios competitivos (< 3.000 USD/t frente a 5.000–12.000 USD/t del mercado).
- Comercialización de subproductos: **carbón black, biochar, carbón activado, créditos de carbono y electricidad verde.**
- Participación en mercados internacionales de **cap-and-trade** y plataformas voluntarias de compensación de carbono.

7.2.2.2. Estructura Organizacional (Actividades Claves)

- Cada planta se organiza como **Joint Venture (JV)** con **NST** (titular de la IP del Conversor Solar).

- Inversores locales aportan capital y obtienen licencia exclusiva regional de la tecnología.
- NST provee tecnología, mantenimiento y know-how.

7.2.2.3. Competitividad y Ventajas (Estructura de Costos)

- **OPEX bajo**: operación solar autónoma.
- **CAPEX¹⁵ bajo**: 2 a 3 veces menor que competidores.
- Márgenes brutos superiores al 30%.
- Capacidad off-grid, sin necesidad de potencia externa.
- Salida al mercado con precios inferiores al promedio, lo que asegura penetración.

7.2.2.4. Benchmark con Proyectos Internacionales

- Proyectos comparados con Toshiba, McPhy, SGH2, ThyssenKrupp, Energix, InterContinental Energy.
- Escalamiento:
- Planta piloto: **5 unidades (100 t/año H₂) por 20 MUSD.**
- Proyecto futuro: **10 plantas de 5 unidades**

7.2.2.5. Mercado en Chile para el Modelo de Negocio

- Potencial de replicar **10 plantas de 10 MW** en ciudades desde Concepción a Arica (100 MW en total).
- Cada ciudad genera más de 150.000 t/año de residuos, suficientes para sostener una planta durante 20 años.
- Oportunidad de sinergia con minería (compañías con CAEX¹⁶ y vehículos pesados que requieren H₂ verde).
- Estudios preliminares muestran payback entre **3 y 4 años** según tamaño del proyecto.

Este plan entrega una visión realista de la implementación de tecnologías como Conversora de Desechos Solar, demostrando su aplicabilidad en el contexto chileno bajo un modelo de economía circular, resiliente y descentralizado.

¹⁵ CAPEX: de la sigla en inglés Capital Expenses.

¹⁶ CAEX: de la sigla Camión de Extracción de Alto tonelaje

7.2.3. Segmento de Clientes

Los clientes potenciales de esta tecnología son diversos y abarcan tanto al sector público como al privado.

En minería, la convertora puede atender necesidades energéticas en faenas aisladas, además de ofrecer soluciones de gestión de residuos. Los gobiernos locales encuentran en este modelo una herramienta para enfrentar la creciente presión regulatoria y social vinculada a la disposición de residuos urbanos.

Las comunidades rurales y sistemas de agua potable rural (APR/SSR) pueden beneficiarse mediante acceso a energía descentralizada y la creación de economías locales de valorización.

Finalmente, los gestores de residuos –empresas de recolección, rellenos sanitarios o agroindustrias– visualizan en la convertora un mecanismo para convertir pasivos ambientales en activos comerciales. De este modo, el mercado objetivo es amplio y puede expandirse mediante asociaciones estratégicas y pilotos demostrativos.

7.2.4. Canales

La llegada al mercado se articula a través de una combinación de canales directos e institucionales.

En el ámbito corporativo, los contratos de PPAs verdes o convenios de suministro directo son clave para el ingreso estable de flujos financieros.

Las licitaciones públicas ofrecen oportunidades de inserción en proyectos municipales o regionales con financiamiento estatal o internacional.

Las alianzas institucionales y gremiales facilitan el acceso a clientes industriales y mineros, mientras que los distribuidores y operadores energéticos cumplen un rol fundamental en la implementación y operación de los equipos. A nivel internacional, la posibilidad de certificación de créditos de carbono y bonos verdes abre un canal adicional de valor para exportar beneficios ambientales.

7.2.5. Relación con Clientes

La relación con los clientes debe basarse en confianza técnica, transparencia y soporte continuo.

La propuesta contempla asesoría en la etapa de diseño e implementación, acompañada por garantías extendidas del fabricante y contratos de

mantenimiento remoto con tecnologías de monitoreo en tiempo real. El modelo de negocio también incorpora esquemas de servicelevelagreements (SLA) con indicadores claros de desempeño, reportes periódicos de impacto ambiental y soporte técnico en terreno.

Este enfoque genera una relación de largo plazo, en la cual la empresa no solo entrega equipos, sino que acompaña al cliente en la operación, integración y certificación de beneficios ambientales.

7.2.6. Fuentes de Ingreso

El modelo multiproducto de la convertora ofrece al menos cinco vías de ingreso: Venta de electricidad al sistema PMGD, con precios estabilizados (75–90 USD/MWh).

- Comercialización de hidrógeno verde, con precios superiores a 2 USD/kg en mercados locales y potencial de exportación. Venta de carbón black (300–600 USD/ton) y carbón activado en mercados industriales.
- Venta de biochar para agricultura y remediación ambiental, con posibilidad de generar ingresos adicionales por créditos de remoción de carbono.
- Créditos de carbono/bonos verdes, derivados de la reducción de emisiones y valorización de residuos.

Esta diversificación permite un modelo de negocio resiliente, con balance entre ingresos energéticos y ambientales.

El proyecto será financiado en un 80% mediante un crédito otorgado por el Banco Agrícola de Francia, institución especializada en proyectos de desarrollo sostenible, eficiencia energética y economía circular. El 20% restante será cubierto por aportes del desarrollador o inversionistas locales.

7.2.7. Actividades Clave

Las actividades centrales incluyen la operación termoquímica de conversión de residuos, el control y monitoreo digital de emisiones, y la gestión de la logística de residuos.

A esto se suman actividades de O&M predictivo (usando IA y sensores IoT¹⁷), además de la integración de procesos para maximizar la eficiencia energética. Otra actividad clave es la vinculación territorial e institucional, fundamental para asegurar suministro de feedstock y aceptación comunitaria.

¹⁷ IoT: de la sigla en inglés Internet of Things

Por último, la gestión de contratos de offtake para energía y subproductos asegura la estabilidad de los ingresos y la viabilidad financiera del proyecto.

7.2.8. Recursos Clave

El modelo requiere de recursos tecnológicos como los módulos solares fotovoltaicos, los reactores termoquímicos y los sistemas de control remoto y digitalización.

A nivel humano, se necesita un equipo técnico capacitado en operación modular, mantenimiento y certificación de subproductos.

También son recursos estratégicos las alianzas con proveedores de residuos, la infraestructura logística y los permisos regulatorios.

La trazabilidad del feedstock se convierte en un activo clave cuando se busca emitir créditos de carbono o ingresar a mercados internacionales exigentes.

7.2.9. Socios Clave

El Banco Agrícola de Francia cumple un rol estratégico como socio financiero, aportando 80% del capital mediante créditos verdes. En paralelo, gobiernos locales y regionales son socios esenciales para habilitar territorios y proyectos piloto.

También se consideran asociaciones con operadores de residuos, asociaciones gremiales y CORFO como habilitadores de fondos de innovación. A nivel internacional, alianzas con certificadoras de carbono (Puro.earth, Verra, Gold Standard) fortalecen la bancabilidad y abren mercados adicionales.

Instrumentos nacionales de fomento:

- CORFO: Programas para innovación energética, inversiones verdes y alianzas público-privadas.
- Ley REP: Fomenta la valorización de residuos y generación distribuida.
- Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde: Apoyo a tecnologías que permitan producción limpia y local de H₂.
- Programas regionales de financiamiento: En colaboración con gobiernos locales, especialmente en zonas rurales.

Oportunidades de articulación institucional:

Alianzas con municipios, asociaciones de recicladores, programas de transición justa y fondos de cooperación internacional pueden acelerar la implementación del proyecto.

7.2.10. Estructura de Costos

Los principales costos corresponden a la adquisición de equipos tecnológicos (~USD 800.000 por módulo), instalación modular y permisos regulatorios. A ello se suman costos de operación y mantenimiento (OPEX de 0,06–0,12 USD/kWh), logística de residuos, y gastos de personal técnico. Los costos de certificación de subproductos y créditos de carbono son relevantes, pero compensados por los precios premium que se obtienen en dichos mercados.

La estructura modular y escalable permite ajustar el CAPEX según la demanda, optimizando el retorno sobre la inversión y mitigando riesgos.

La implementación del modelo Canvas demuestra que Conversora De Desechos Solar no es solo una tecnología emergente, sino una plataforma con lógica de negocio replicable, escalable y articulada con políticas de sustentabilidad y descentralización energética.

Tabla N°8 Modelo de Negocios CANVAS

Socios Clave	Actividades Clave	Propuesta de Valor	Relaciones con Clientes	Canales
Banco Agrícola de Francia Municipalidades Asociaciones de recicladores CORFO Operadores logísticos	Operación planta Gestión de residuos Mantenimiento Monitoreo digital Vinculación territorial	Valorización energética de residuos Energía limpia, H ₂ verde y carbón black Solución modular y sostenible	Contratos a largo plazo Soportes técnicos Soporte y trazabilidad	Municipios y gremios Plataformas públicas Distribuidores industriales
Recursos Clave			Segmentos de Clientes	
Conversora de Desechos Permisos Personal técnico Logística Infraestructura			Municipios Agroindustrias Plantas de aguas Mineras Zonas rurales	

Estructura de Costos	Fuentes de Ingresos
CAPEX (tecnología) OPEX (logística y operación) Permisos y personal	Venta PMGD H ₂ verde Carbónblack Bonos verdes

Fuente: Elaboración Propia.

Instrumentos nacionales de fomento:

- CORFO: Programas para innovación energética, inversiones verdes y alianzas público-privadas.
- Ley REP: Fomenta la valorización de residuos y generación distribuida.
- Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde: Apoyo a tecnologías que permitan producción limpia y local de H₂.
- Programas regionales de financiamiento: En colaboración con gobiernos locales, especialmente en zonas rurales.

Oportunidades de articulación institucional:

- Alianzas con municipios, asociaciones de recicladores, programas de transición justa y fondos de cooperación internacional pueden acelerar la implementación del proyecto.

7.2.11. Costos Operacionales Marginales

Este capítulo tiene como objetivo estimar y contextualizar los costos operacionales marginales (OPEX) asociados a la tecnología Convertora de Desechos Solar, evaluando su competitividad dentro del contexto energético chileno, particularmente en la zona centro.

Se entiende por costo marginal operacional (OPEX marginal) el gasto incremental asociado a la producción de una unidad adicional de energía (kWh térmico o eléctrico). En tecnologías como la Convertora De Desechos Solar, los principales componentes de OPEX incluyen:

- Transporte y acopio de residuos.
- Mantenimiento de equipos.
- Consumo eléctrico auxiliar.
- Personal técnico y operación continua.
- Costos de monitoreo ambiental y permisos.

7.2.11.1. Estimación de OPEX

Según el proveedor Conversor SolarTechnology, y en base a análisis de plantas en operación en Europa y África del Norte, el rango de OPEX marginal estimado es entre:

- 0,06 a 0,12 USD/kWh térmico equivalente

Este valor considera una planta operando con residuos sólidos secos (>20% humedad), sin necesidad de pretratamiento.

7.2.11.2. Observaciones

El uso de residuos como insumo base permite reducir significativamente el costo de combustible. No obstante, los costos logísticos y la operación técnica especializada deben ser cuidadosamente gestionados para mantener el OPEX competitivo.

7.3. Estrategia Financiera y Operacional

Este capítulo detalla la estrategia financiera y operacional para implementar un proyecto basado en la tecnología Conversora De Desechos Solar en la zona centro de Chile. Se considera el financiamiento, las fuentes de ingreso, y las decisiones clave para su operación sostenible.

7.3.1. Destino de los Fondos eficiencia en Implementación

El financiamiento cubrirá:

- Adquisición de equipos Conversora de Desechos Solar.
- Instalación y montaje
- Permisos y licencias.
- Estudios de pre-inversión y puesta en marcha.
- Costos de operación inicial y logística

7.3.2. Estrategia Operacional Actividades Claves

Para la operación sostenible del proyecto se plantea:

- Formación de un equipo local técnico y operativo.
- Externalización de logística de residuos con actores municipales o industriales.
- Supervisión y control mediante monitoreo digital.
- Mantenimiento predictivo con inteligencia artificial.
- Venta de productos mediante acuerdos offtake preestablecidos

7.3.3. Riesgos Financieros y Mitigación

Los riesgos principales son:

- Variabilidad de precios de energía: mitigado con contratos PMGD.
- Volumen y calidad de residuos: mitigado mediante acuerdos de suministro.
- Riesgos tecnológicos: mitigados mediante garantías del proveedor y O&M extendido

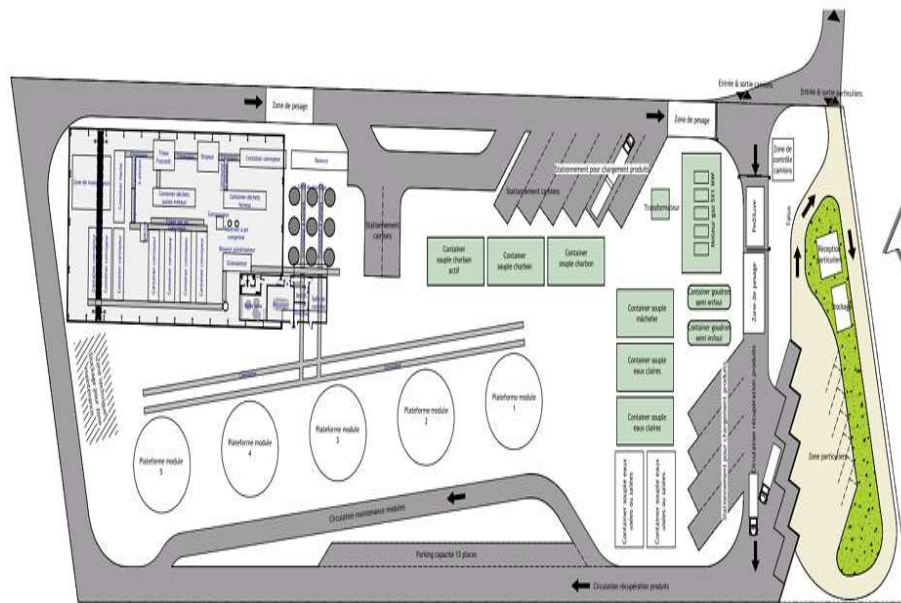
La estrategia busca garantizar estabilidad en ingresos, eficiencia operativa y capacidad de escalar hacia nuevas aplicaciones tecnológicas en economía circular.

- Capacidad off-grid, sin necesidad de potencia externa.

7.4. Plan de Implementación

Siguiendo con el Plan de Implementación a continuación desplegamos un esquema referencial de una Planta Convertora de Desechos Solar:

Figura N°5 Esquema Distribución Planta Convertora de Desechos Solar



Fuente: www.smosolarprocess.com

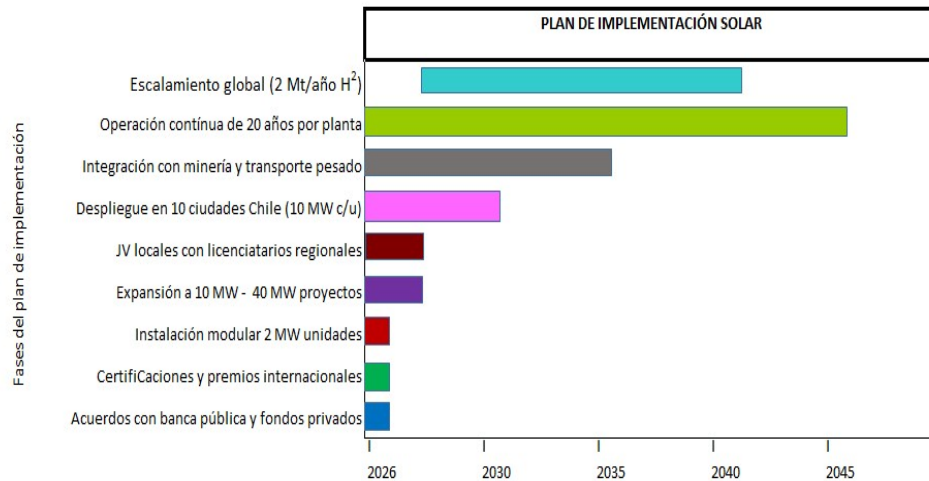
Modelo de despliegue actual (2026 en adelante)

- Instalación modular de **unidades de 2 MW** (escalables a 10 MW, 20 MW, 40 MW).
- Proyectos piloto en Francia y Croacia con indicadores claros de rentabilidad (márgenes 18–30%).
- JointVentures locales con licenciatarios regionales.

Roadmap para Chile

- Primera fase: instalar **10 MW en al menos 10 ciudades** con más de 150.000 t/año de residuos (ej. Concepción–Arica).
- Segunda fase: integración con minería y transporte pesado (uso de H₂ verde en CAEX y flotas).
- Horizonte de operación: **20 años por planta**, con almacenamiento de materia prima (2 meses) y de producción (4 meses).

Figura N°6 Carta Gantt de Implementación con Plazos Referidos



7.5. Evaluación Económica

A continuación, se muestra un resumen del Flujo de Caja del negocio Conversora de Desecho Solar. Los números asociados al proyecto y fueron extraídos del anexo N° 1.

La inversión inicial de CLP 9500 MM, se obtienen de financiamiento privado compuesto en un 80% por el Banco de Crédito Agrícola de Francia y la diferencia del monto se obtiene mediante inversores privados ligados al mundo de la energía. En nuestro análisis los ingresos futuros consideran aumento de precios, tomando como referencia la inflación anual promedio de Chile.

7.6. Ingresos

La Planta es capaz de generar múltiples ingresos que se encuentran relacionados a los productos que esta genera:

- **Hidrógeno Verde:** Una Planta Conversora de Desechos Solar es capaz de producir 609 toneladas de hidrogeno verde (H₂V). Este último está siendo tranzado a un precio de USD 2.000 por tonelada en los mercados internacionales.
- **Carbón Black:** Una Planta Conversora de Desechos Solar es capaz de producir 1500 toneladas de Carbónblack, el que es vendido en los mercados internacionales a USD 800 por tonelada.
- **Energía Eléctrica:** La Planta Conversora de Desechos Solar del presente estudio, es capaz de generar 48 MW de energía diarios considerando la

instalación de Sistemas BESS (Sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías), el valor del MW es USD 50, estos últimos considerando un valor promedio tomados de la página del Coordinador Eléctrico Nacional.

- **Créditos de Carbono:** Existe un valor estimado asociado a la planta Conversora de Desechos Solar, esta última es capaz de disminuir la emisión de 9.000 toneladas de CO₂, durante un año de funcionamiento. La medida se toma de la siguiente estimación: 01 generador diésel consumo aproximadamente 241 litros diésel durante una hora de funcionamiento, estos últimos emiten 634 kg de CO₂ a la atmósfera. Con los datos anteriores uno puede contar con certificación y vender créditos de carbono a USD 50 por tonelada.

7.7. Costos Operacionales

Los costos operacionales fueron divididos en 4 grandes partidas que detallaremos en los siguientes párrafos:

- **Arriendo de Planta:** Este ítem considera el arriendo mensual de 2 hectáreas de terreno en zona industrial, canon de arriendo mensual de CLP 15.000.000.
- **Seguros:** Seguros contra incendio y robo en instalaciones, prima anual de CLP 24.000.000.
- **Gastos operacionales:** relacionados a Recursos Humanos, 10 operarios, jefe de Planta, jefe de Finanzas, jefe de Operaciones, Área de Control de Calidad y Gerente General. Arriendo de maquinaria y gastos de movilización entre otros.
- **Mantenimiento:** Los costos operacionales de mantenimiento se encuentran directamente relacionados a mantenimiento de la Planta Conversora Solar, reparación y mantenimiento de cintas transportadoras y motorreductores si fuera el caso, su valor anual es de CLP 30.000.000.

Por todo lo detallado anteriormente es importante reconocer que la operación de la Planta Conversora de Desechos Solar cuenta con una tecnología fiable toda vez que sus costos operacionales se encuentran estrechamente relacionado a los productos de salida de dicha planta.



Tabla N°9 Resumen Evaluación Económica en CLP

Evaluación Económica

ITEM	AÑO 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		\$3.654.840.000	\$3.764.485.200	\$3.877.419.756	\$3.993.742.349	\$4.113.554.619	\$4.236.961.258	\$4.364.070.095	\$4.494.992.198	\$4.629.841.964	\$4.768.737.223
Costos Operacionales		-\$822.000.000	-\$846.660.000	-\$872.059.800	-\$898.221.594	-\$925.168.242	-\$952.923.289	-\$981.510.988	-\$1.010.956.317	-\$1.041.285.007	-\$1.072.523.557
Margen		\$2.832.840.000	\$2.917.825.200	\$3.005.359.956	\$3.095.520.755	\$3.188.386.377	\$3.284.037.969	\$3.382.559.108	\$3.484.035.881	\$3.588.556.957	\$3.696.213.666
%		77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%
Inversión		-\$9.500.000.000									
Flujo de Caja Neto	-\$9.500.000.000	\$2.324.630.000	\$2.388.368.900	\$2.454.019.967	\$2.521.640.566	\$2.591.289.783	\$2.663.028.476	\$2.736.919.331	\$2.813.026.911	\$2.891.417.718	\$2.972.160.250

Indicadores Financieros	
Inversión Total CLP	\$9.500.000.000
Tasa de Descuento	12%
VAN Proyecto CLP	\$4.507.185.722
TIR Proyecto (%)	23%
Ivan	0,5
Payback (años)	5,5

Con una inversión estimada de CLP 9.500.000.000 de pesos, comenzamos con nuestro primer dato de este proyecto, los costos operacionales e ingresos fueron explicados en los párrafos precedentes.

La tasa de descuento usada para este proyecto es de 12% que considera una tasa de mercado base de 6% más un descuento por riesgo del mercado a ser desarrollado llegando al 12%.

El VAN o Valor actual neto del proyecto es un indicador financiero que señala que mide la rentabilidad de una inversión al comparar el valor presente de los flujos de caja futuros con la inversión inicial. El VAN es la diferencia entre la suma de los flujos de caja futuros de un proyecto, traídos a su valor actual, y el costo inicial de la inversión.

Interpretación:

$VAN > 0$: La inversión es rentable y se espera que genere ganancias.

$VAN = 0$: El proyecto genera un retorno que cubre el costo del capital, pero no un beneficio adicional.

$VAN < 0$: La inversión no es recomendable, ya que no se recuperará la inversión ni se cubrirá el costo del capital.

La TIR significa Tasa Interna de Retorno es una métrica financiera que indica la rentabilidad de una inversión, representando la tasa de interés a la cual el Valor Actual Neto (VAN) de todos los flujos de caja futuros es igual a cero. En términos sencillos, la TIR muestra el rendimiento promedio anual que se espera obtener de un proyecto o inversión, siendo un criterio clave para decidir si es viable invertir en él, para nosotros nuestra TIR es de 23%, es decir entre 5 o 6 veces más rentable que un depósito a plazo.

8. Conclusiones

La tesina desarrolló un modelo de negocios integral para la evaluación de tecnologías de generación energética a partir de residuos, con un enfoque explícito en economía circular y sostenibilidad. El modelo propuesto integra variables técnicas, económicas, ambientales y estratégicas, permitiendo a los evaluadores de proyectos y a los tomadores de decisión contar con una herramienta robusta y flexible en contextos de alta incertidumbre.

La aplicación del modelo a la tecnología Convertora de Desechos Solar evidenció la viabilidad de soluciones multiproducto que permiten aprovechar residuos sólidos como insumo energético, obteniendo simultáneamente

electricidad, hidrógeno verde y coproductos valorizables como biochar, carbón activado y carbón black. Esta diversificación de ingresos refuerza la resiliencia financiera de los proyectos y reduce la dependencia de un único mercado o producto.

El análisis estratégico demostró que, frente a alternativas convencionales como gasificación, pirolisis o biodigestión anaerobia, la Conversora de Desechos Solar presenta ventajas competitivas en costos operacionales marginales, impacto ambiental y escalabilidad, especialmente en la zona centro de Chile. Este territorio concentra tanto la generación de residuos valorizables como la necesidad de soluciones energéticas descentralizadas, lo que facilita la replicabilidad del modelo en distintos entornos locales.

Desde una perspectiva financiera, el proyecto muestra márgenes atractivos y tiempos de repago competitivos cuando se consideran ingresos provenientes de electricidad bajo régimen PMGD, hidrógeno verde y subproductos industriales. La estrategia de apalancar 80% de la inversión con créditos verdes internacionales, como el otorgado por el Banco Agrícola de Francia, refuerza la bancabilidad y la viabilidad de la propuesta. Asimismo, la incorporación de créditos de carbono y bonos verdes agrega una capa adicional de ingresos y posiciona al proyecto dentro de los mercados emergentes de descarbonización.

En términos de riesgos, se identificaron barreras relevantes: la necesidad de certificaciones ambientales específicas, la formalización del mercado de residuos industriales, los costos de logística en territorios rurales y la disponibilidad de mecanismos de financiamiento adaptados a proyectos híbridos. Estos elementos requieren estrategias de mitigación claras, tales como acuerdos de suministro de residuos de largo plazo, asociaciones público-privadas y esquemas de contratos de offtake que garanticen estabilidad de ingresos.

La metodología desarrollada demuestra ser replicable y adaptable a otras tecnologías emergentes. El modelo multicriterio diseñado puede ser utilizado en distintos sectores —minería, agroindustria, municipalidades o gestión de residuos— permitiendo evaluar alternativas en función de la realidad territorial, la disponibilidad de feedstock y los marcos regulatorios vigentes. De este modo, se convierte en un aporte práctico no solo académico, sino también para gestores públicos, privados y comunitarios que enfrentan decisiones de inversión en transición energética.

De nuestra evaluación económica, concluimos que el Proyecto de acuerdo con Indicadores Financieros es viable, toda vez que presenta atractivas tasas de retorno de un 23%. Se debe considerar además que esta Tasa Interna de Retorno, es altamente castigada por una tasa de riesgo significativa, que agrega 6 puntos porcentuales a la tasa de descuento habitual.

El proyecto es altamente atractivo toda vez que permite cumplir con la ley REP, genera compensación por bonos de carbono para compañías multinacionales, trata los desechos como insumos por lo que se obtiene materia prima a muy bajo costo y finalmente nos posiciona con un proveedor en el mercado energético.

Finalmente, el trabajo confirma que el futuro de la energía sostenible no dependerá exclusivamente de tecnologías maduras como la fotovoltaica o la eólica, sino también de soluciones innovadoras que integren economía circular, resiliencia territorial y generación descentralizada. La Conversora de Desechos Solar es un ejemplo concreto de cómo los residuos pueden convertirse en un vector de transformación energética y social, alineado con los objetivos de descarbonización de Chile y con los compromisos internacionales frente al cambio climático.

9. Bibliografía

- [1] International Energy Agency (IEA), Reports 2023-2024.
- [2] Ministerio de Energía de Chile. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. 2020.
- [3] Ellen MacArthur Foundation. The Circular Economy in Detail.
- [4] Banco Mundial. Indicadores de acceso energético en América Latina.
- [5] McKinsey Company. How circular economy principles can impact business strategy.
- [6] Proveedores de Conversora De Desechos Solar. Ficha técnica y documentación comercial 2023-2024.
- [7] Coordinador Eléctrico Nacional. Datos de mercado PMGD. 2024.
- [8] Estrategias y modelos de negocio basados en economía circular. Universidad Politécnica de Catalunya. 2023.

Hidrógeno verde

- [9] International Energy Agency. (2023). Global Hydrogen Review 2023. Paris: IEA.
- [10] Hydrogen Council & McKinsey & Company. (2024). Hydrogen insights 2024: An annual perspective on hydrogen developments. Brussels: Hydrogen Council.
- [11] Bloomberg NEF. (2024). Hydrogen market outlook 2024. London: Bloomberg New Energy Finance.
- [12] Ministerio de Energía de Chile. (2024). Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023–2030. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- [13] European Commission. (2023). EU hydrogen strategy: Auctions and contracts for difference. Brussels: Europea Unión.

Energía solar

- [14] International Energy Agency. (2024). World energy investment 2024. Paris: IEA.
- [15] IEA PVPS. (2024). Snapshot of global PV markets 2024. Paris: IEA PVPS.
- [16] Bloomberg NEF. (2024). Global solar market outlook 2024. London: Bloomberg New Energy Finance.
- [17] Coordinador Eléctrico Nacional. (2024). Informe de vertimientos y congestión del sistema eléctrico chileno 2024. Santiago de Chile: CEN.
- [18] Ministerio de Energía de Chile. (2024). Regulación y licitaciones para proyectos de almacenamiento. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.

Carbon black / Recovered carbon black (rCB)

- [19] MarketsandMarkets. (2024). Carbon black market by type, application, and region – Forecast to 2032. Pune: MarketsandMarkets.
- [20] Grand View Research. (2024). Recovered carbon black market size, share & trends analysis report 2024–2032. San Francisco: Grand View Research.
- [21] ASTM International. (2023). Standard D36 & D8178: Recovered carbon black specifications. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [22] Smithers Apra. (2024). The future of carbon black to 2035. Akron, OH: Smithers Apra.
- [23] Kal Tire Chile. (2024). Reciclaje de neumáticos fuera de uso y producción de rCB en Chile. Antofagasta: Kal Tire.

Biochar

- [24] International Biochar Initiative. (2024). Global biochar market report 2024. Ithaca, NY: IBI.
- [25] Puro.earth. (2024). Carbon removal certificates (CORCs) for biochar. Helsinki: Puro. Earth.
- [26] European Biochar Certificate. (2024). EBC guidelines for biochar production and use. Arbaz: EBC.
- [27] Allied Market Research. (2024). Biochar market size and forecast, 2024–2032. Portland, OR: Allied Analytics.
- [28] Ministerio de Agricultura de Chile. (2023). Uso de biochar en suelos agrícolas y forestales de la zona centro. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.

Carbón activado

- [29] MarketsandMarkets. (2024). Activated carbon market by type, application, and region – Forecast to 2032. Pune: MarketsandMarkets.
- [30] Grand View Research. (2024). Activated carbon market size, share & trends analysis report 2024–2032. San Francisco: Grand View Research.
- [31] International Activated Carbon Manufacturers Association. (2023). Industry standards and applications of activated carbon. Washington, DC: IACMA.
- [32] Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2024). Aplicaciones de carbón activado en tratamiento de agua y minería. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- [33] World Bank. (2023). Waste-to-value: Activated carbon and circular economy opportunities. Washington, DC: World Bank.
- [34] World Bank: “Waste-to-Energy Technologies: Comparative Economic Analysis” (2022).
- [35]
- [36] IEA: “Bioenergy Market Report” (2021)

- [37] Ministerio de Energía Chile: “Estudios de Costos Marginales por Tecnología Renovable” (2020)
- [38] SMO Solar Technology: Reporte Técnico Interno (2023)
- [39] Arena, U., & Di Gregorio, F. (2014). Gasification of a solid recovered fuel in a pilot scale fluidized bed reactor. *Fuel*, 117, 528–536. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236113008430?via%3Dihub>
- [40] Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953411000638?via%3Dihub>
- [41] Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskiewicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100(22), 5478–5484. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852408011012?via%3Dihub>
- [42] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Innovation Outlook: Advanced liquid biofuels. IRENA. <https://www.irena.org>
- [43] Kalt Schmitt, M., Hartmann, H., & Hofbauer, H. (2016). *Energy from Biomass: Fundamentals, Technologies and Applications*. Springer.
- [44] Naciones Unidas CEPAL. (2022). Transición energética y economía circular en América Latina y el Caribe. CEPAL. <https://www.cepal.org>

10. Anexos

10.1. Anexo 1 – Evaluación financiera detallada

Evaluación Económica en pesos CLP

ITEM	AÑO	AÑO 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión de Capital		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Valor Residual													
Total Inversión y Valor Residual		-\$9.500.000.000											
Ingresos del Proyecto													
Ingresos Por Venta de Energía			\$930.240.000	\$958.147.200	\$986.891.616	\$1.016.498.364	\$1.046.993.315	\$1.078.403.115	\$1.110.755.208	\$1.144.077.865	\$1.178.400.201	\$1.213.752.207	
Ingresos por Venta de H2			\$1.157.100.000	\$1.191.813.000	\$1.227.567.390	\$1.264.394.412	\$1.302.326.244	\$1.341.396.031	\$1.381.637.912	\$1.423.087.050	\$1.465.779.661	\$1.509.753.051	
Ingresos por venta de Carbon Black			\$1.140.000.000	\$1.174.200.000	\$1.209.426.000	\$1.245.708.780	\$1.283.080.043	\$1.321.572.445	\$1.361.219.618	\$1.402.056.207	\$1.444.117.893	\$1.487.441.430	
Ingresos por venta de Biochart.													
Ingresos por venta de Carbon Activado													
Créditos de carbono			\$427.500.000	\$440.325.000	\$453.534.750	\$467.140.793	\$481.155.016	\$495.589.667	\$510.457.357	\$525.771.077	\$541.544.210	\$557.790.536	
Ingresos			\$3.654.840.000	\$3.764.485.200	\$3.877.419.756	\$3.993.742.349	\$4.113.554.619	\$4.236.961.258	\$4.364.070.095	\$4.494.992.198	\$4.629.841.964	\$4.768.737.223	
Egresos del Proyecto													
Arriendo de Planta			-\$180.000.000	-\$185.400.000	-\$190.962.000	-\$196.690.860	-\$202.591.586	-\$208.669.333	-\$214.929.413	-\$221.377.296	-\$228.018.615	-\$234.859.173	
Seguros			-\$24.000.000	-\$24.720.000	-\$25.461.600	-\$26.225.448	-\$27.012.211	-\$27.822.578	-\$28.657.255	-\$29.516.973	-\$30.402.482	-\$31.314.556	
Gastos Operacionales			-\$588.000.000	-\$605.640.000	-\$623.809.200	-\$642.523.476	-\$661.799.180	-\$681.653.156	-\$702.102.750	-\$723.165.833	-\$744.860.808	-\$767.206.632	
Mantenimiento			-\$30.000.000	-\$30.900.000	-\$31.827.000	-\$32.781.810	-\$33.765.264	-\$34.778.222	-\$35.821.569	-\$36.896.216	-\$38.003.102	-\$39.143.196	
Costos Operacionales			-\$822.000.000	-\$846.660.000	-\$872.059.800	-\$898.221.594	-\$925.168.242	-\$952.923.289	-\$981.510.988	-\$1.010.956.317	-\$1.041.285.007	-\$1.072.523.557	
Margen			\$2.832.840.000	\$2.917.825.200	\$3.005.359.956	\$3.095.520.755	\$3.188.386.377	\$3.284.037.969	\$3.382.559.108	\$3.484.035.881	\$3.588.556.957	\$3.696.213.666	
%			77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	77,509%	
Inversión			-\$9.500.000.000										
Flujo Operacional EBITDA													
Depreciación Equipos			-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	
Gastos Financieros													
Total Depreciación			-\$9.500.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	-\$800.000.000	
Resultado A/I			\$2.032.840.000	\$2.117.825.200	\$2.205.359.956	\$2.295.520.755	\$2.388.386.377	\$2.484.037.969	\$2.582.559.108	\$2.684.035.881	\$2.788.556.957	\$2.896.213.666	
Resultado acumulado			-\$9.500.000.000	\$2.032.840.000	\$4.150.665.200	\$6.356.025.156	\$8.651.545.911	\$11.039.932.288	\$13.523.970.257	\$16.106.529.364	\$18.790.565.245	\$21.579.122.203	\$24.475.335.869
Base impositiva			-\$9.500.000.000	\$2.032.840.000	\$2.117.825.200	\$2.205.359.956	\$2.295.520.755	\$2.388.386.377	\$2.484.037.969	\$2.582.559.108	\$2.684.035.881	\$2.788.556.957	\$2.896.213.666
Impuestos			0	-\$508.210.000	-\$529.456.300	-\$551.339.989	-\$573.880.189	-\$597.096.594	-\$621.009.492	-\$645.639.777	-\$671.008.970	-\$697.139.239	-\$724.053.417
Utilidad o Perdida del Ejercicio			-\$9.500.000.000	\$1.524.630.000	\$1.588.368.900	\$1.654.019.967	\$1.721.640.566	\$1.791.289.783	\$1.863.028.476	\$1.936.919.331	\$2.013.026.911	\$2.091.417.718	\$2.172.160.250
Depreciación Normal Equipos Generación				\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	\$800.000.000	
Amortización													
Flujo de Caja Neto			-\$9.500.000.000	\$2.324.630.000	\$2.388.368.900	\$2.454.019.967	\$2.521.640.566	\$2.591.289.783	\$2.663.028.476	\$2.736.919.331	\$2.813.026.911	\$2.891.417.718	\$2.972.160.250

Indicadores Financieros	
Inversión Total CLP	\$9.500.000.000
Tasa de Descuento	12%
VAN Proyecto CLP	\$4.507.185.722
TIR Proyecto (%)	23%
Ivan	0,5
Payback (años)	5,5

10.2. Anexo 2 – Comparación de Tecnologías por Atributo

En la Figura se presenta un gráfico tipo radar que compara el desempeño de la tecnología Conversora De Desechos Solar frente a dos tecnologías alternativas en función de 10 atributos ponderados estratégicamente.

Ambos elementos constituyen herramientas visuales esenciales para la interpretación del modelo propuesto y su aplicación práctica.

