



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA SEGUNDA VIDA ÚTIL DE
BATERÍAS DE ION LITIO PROVENIENTES DE LA
ELECTROMOVILIDAD PARA LA AGROINDUSTRIA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
INDUSTRIAL

MARÍA FERNANDA HACHIM CAMPOS

PROFESOR GUÍA:
GERARDO DÍAZ RODENAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MANUEL DÍAZ ROMERO
CARLOS NICOLÁS CISTERNAS GONZÁLEZ

SANTIAGO DE CHILE
2018

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil Industrial
POR: María Fernanda Hachim Campos
FECHA: 10/12/2018
PROFESOR GUÍA: Gerardo Díaz

“Evaluación económica de la segunda vida útil de la batería de ion litio proveniente de la electromovilidad para la agroindustria.”

Dado el crecimiento de la industria de la electromovilidad, surge la oportunidad de crear un sistema que sea capaz de reciclar los desechos de sus baterías de litio que están al 80% de su capacidad, a partir de un segundo uso de éstas. De aquí nace la idea de utilizar estas baterías para almacenamiento de energía solar. Es por esto que, el objetivo principal de este trabajo de título es evaluar la rentabilidad económica de implementar un sistema de baterías de ion litio en su segunda vida útil, extraídos de la electromovilidad, para la administración de cargos por potencia en la agroindustria, a través de energía eléctrica generada por energía solar fotovoltaica. Para ello, se requiere analizar el mercado actual de la movilidad eléctrica, para definir la cantidad de baterías de ion litio que habrá en un futuro (oferta), además del consumo eléctrico en la agroindustria (demanda). En cuanto a la oferta, en el trabajo de título de proyecta que para el año 2022 la cantidad de vehículos eléctricos sea más de 2140 y la demanda total de energía por año en la agroindustria es de 11.946 GWh.

Como primera parte de la evaluación se desea obtener la disposición a pagar por las baterías de litio al final de su primera vida útil, por lo que se realizó una evaluación económica buscando el precio de las baterías que hace rentable el proyecto, dando como resultado un valor negativo, lo que indica que utilizar la batería usada no es rentable en el mercado chileno. A pesar de lo anterior, se decide realizar una evaluación económica para un caso real en la agroindustria, en donde el caso base es conectarse directamente a las red, y se compara con las siguientes alternativas: Uso de paneles solares que cargan baterías de segunda vida, uso de paneles solares que cargan baterías nuevas, uso de electricidad de la red que carga baterías de segunda vida y uso de electricidad de la red que carga baterías nuevas. En el caso principal, que es el uso de paneles solares y batería usada, el VAN es de -305.999.997 CLP y, en el último y mejor de los casos, el VAN da como resultado -24.501.191 CLP , por lo que se concluye que ninguna de las alternativas es rentable en comparación al uso directo de electricidad en hora punta. Para que el uso de una batería de litio comience a ser rentable, la inversión de los paneles fotovoltaicos debería disminuir en un 54% o, por otro lado, buscar un nuevo uso para estas baterías o realizar una evaluación social de proyectos, con el fin de analizar las ventajas medioambientales que genera no desecharlas directamente.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Antecedentes generales | 1 |
| 1.2. Justificación del problema | 2 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general | 3 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 3 |
| 1.4. Metodología | 3 |
| 2. Marco Conceptual | 5 |
| 3. Análisis de factores del entorno general del mercado de la electromovilidad y electricidad | 12 |
| 3.1. Situación internacional | 12 |
| 3.2. Análisis PEST | 13 |
| 3.2.1. Político/Legal | 13 |
| 3.2.2. Económico | 15 |
| 3.2.3. Sociocultural | 17 |
| 3.2.4. Tecnológico | 17 |
| 4. Sistema de almacenamiento de energía off grid utilizando baterías de litio usadas | 19 |
| 4.1. Descripción del uso de baterías de litio usadas | 19 |
| 4.2. Proceso de armado del proyecto de generación y almacenamiento de energía solar | 19 |
| 4.2.1. Extracción y almacenado de las baterías | 20 |
| 4.2.2. Diseño y armado del sistema de generación y almacenamiento de energía | 20 |
| 4.2.3. Instalación | 21 |
| 4.2.4. Operación y mantenimiento | 22 |
| 4.3. Proyección de la vida útil del sistema de generación y almacenamiento de energía | 22 |
| 4.3.1. Proyección de la duración de las baterías en vehículos eléctricos | 22 |
| 4.3.2. Proyección de la duración de las baterías en la segunda vida útil | 24 |
| 5. Análisis de mercado | 25 |
| 5.1. Oferta | 25 |
| 5.1.1. Mercado de los vehículos eléctricos en Chile | 25 |
| 5.1.2. Marcas de EV que hay actualmente en Chile | 26 |
| 5.1.3. Características de sus baterías | 27 |
| 5.2. Demanda | 27 |
| 5.2.1. Gasto energético (o potencial) | 27 |
| 5.2.2. Aporte en el PIB nacional | 28 |
| 5.2.3. Exportación de productos agroindustriales | 29 |
| 6. Modelo de negocios | 31 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.1. | Segmento de clientes..... | 31 |
| 6.2. | Propuesta de valor..... | 32 |
| 6.3. | Canales..... | 32 |
| 6.4. | Relación con los clientes..... | 32 |
| 6.5. | Estructura de ingresos..... | 33 |
| 6.6. | Recursos clave..... | 34 |
| 6.7. | Actividades clave..... | 34 |
| 6.8. | Socios clave..... | 34 |
| 6.9. | Estructura de costos..... | 35 |
| 7. | Estimación del precio de la batería..... | 39 |
| 7.1. | Inversión, costos, proyecciones, vida útil y depreciación para cada tecnología..... | 39 |
| 7.1.2. | Tecnología que almacena la energía..... | 40 |
| 8. | Evaluación económica para un caso real en la agroindustria..... | 51 |
| 8.1. | Datos utilizados para la evaluación en caso real..... | 51 |
| 8.2. | Evaluación económica en caso real..... | 53 |
| 8.2.1. | Uso de paneles fotovoltaicos y batería usada..... | 53 |
| 8.2.2. | Uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva..... | 55 |
| 8.2.3. | Uso de electricidad de la red y batería usada..... | 58 |
| 8.2.4. | Uso de electricidad de la red y batería nueva..... | 59 |
| 9. | Discusión..... | 63 |
| 10. | Conclusiones..... | 67 |
| | Bibliografía..... | 69 |
| | Anexos..... | 73 |
| A. | Estudios sobre las proyecciones de vida útil de baterías de litio en su segunda vida..... | 73 |
| B. | Celdas de baterías de ion litio [42]..... | 75 |
| C. | Paneles solares fotovoltaicos..... | 78 |
| D. | Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con VAN=0..... | 80 |
| E. | Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con precio de la batería 0..... | 81 |
| F. | Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito y precio de batería 0..... | 82 |
| G. | Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, con un precio de batería igual a 0..... | 83 |
| H. | Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de batería igual a 0..... | 84 |
| I. | Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, sin crédito, para un caso real..... | 85 |

| | |
|--|----|
| J. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito, en un caso real | 86 |
| K. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real | 87 |
| L. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 70 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real | 88 |
| M. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva con crédito a un precio de 220 [USD/kWh], en un caso real | 89 |
| N. Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real | 90 |
| O. Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real | 91 |
| P. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real | 92 |
| Q. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real | 93 |
| R. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real | 94 |
| S. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real | 95 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1: Planes de tarifa eléctrica..... | 6 |
| Tabla 2: Venta de autos eléctricos, cuota de mercado y cuota de ventas de BEV versus PHEV en las ciudades seleccionadas, 2010-16 | 12 |
| Tabla 3: PIB de Chile desde el año 2007 hasta el 2017. Fuente: Banco Mundial. | 15 |
| Tabla 4: PIB per cápita de Chile desde el año 2007 hasta el 2017..... | 16 |
| Tabla 5: Precio (US/\$kWh) y densidad de energía (Wh/litro) de baterías..... | 18 |
| Tabla 6: Cantidad de vehículos eléctricos particulares desde el año 2011 hasta el año 2017 | 25 |
| Tabla 7: Cantidad de vehículos eléctricos, registrados por marca y por año | 26 |
| Tabla 8: Características de las baterías según modelo EV..... | 27 |
| Tabla 9 Potenciales de Autogeneración..... | 28 |
| Tabla 10 Aporte de cada sector al PIB Nacional | 28 |
| Tabla 11: Costos asociados al almacenamiento de la batería | 35 |
| Tabla 12: Costos asociados a la instalación de un sistema fotovoltaico [33] | 36 |
| Tabla 13: Costos asociados a la instalación de un sistema de almacenamiento con baterías de litio..... | 37 |
| Tabla 14: Tarifas de suministro eléctrico promedio para CGE..... | 40 |
| Tabla 15: Proyección de precio de la batería de litio (USD/kWh)..... | 41 |
| Tabla 16: Cálculo de Rm para sistema de almacenamiento con baterías nuevas | 43 |
| Tabla 17: Datos para el cálculo de la tasa de descuento (CAPM) para el sistema de almacenamiento con batería nueva | 43 |
| Tabla 18: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con VAN=0 USD/kWh. | 45 |
| Tabla 19: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con VAN=0 USD/kWh. | 45 |
| Tabla 20: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con precio de la batería igual a 0 USD/kWh. | 46 |
| Tabla 21: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh. | 46 |
| Tabla 22: Tabla de pago para el crédito para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito en USD/kWh. | 46 |
| Tabla 23: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito en USD/kWh. | 47 |
| Tabla 24: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh. | 47 |

| | |
|---|----|
| Tabla 25: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito en USD/kWh..... | 48 |
| Tabla 26: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh. | 49 |
| Tabla 27: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito en USD/kWh. | 49 |
| Tabla 28: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito USD/kWh. | 49 |
| Tabla 29: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh. | 50 |
| Tabla 30: Potencia sistemas independientes..... | 51 |
| Tabla 31: Potencia sistema centralizado..... | 51 |
| Tabla 32: Cotización panel solar fotovoltaico..... | 52 |
| Tabla 33: Cotización inversores..... | 53 |
| Tabla 34: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, sin crédito, para un caso real..... | 53 |
| Tabla 35: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, sin crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 0 CLP. | 54 |
| Tabla 36: Tabla de pago para el crédito para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito, en un caso real en CLP. | 54 |
| Tabla 37: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, con crédito, para un caso real. | 54 |
| Tabla 38: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, con crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 0 CLP. | 55 |
| Tabla 39: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real | 55 |
| Tabla 40: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, sin crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 220 CLP. | 55 |
| Tabla 41: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 70 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real..... | 56 |
| Tabla 42: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, sin crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 70 USD..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabla 43: Tabla de pago para el crédito para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva con crédito, en un caso real en CLP. | 56 |
| Tabla 44: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, con crédito, para un caso real | 57 |
| Tabla 45: Tabla 34: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, con crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 220 CLP. | 57 |
| Tabla 46: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real..... | 58 |
| Tabla 47: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, con un precio de la batería igual a 0 CLP, para un caso real. | 58 |
| Tabla 48: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real en CLP. | 59 |
| Tabla 49: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real..... | 59 |
| Tabla 50: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 0 CLP, para un caso real. | 59 |
| Tabla 51: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real..... | 60 |
| Tabla 52: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real. | 60 |
| Tabla 53: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real..... | 60 |
| Tabla 54: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real. | 60 |
| Tabla 55: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real | 61 |
| Tabla 56: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real..... | 61 |
| Tabla 57: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 220 USD/kWh, para un caso real..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Tabla 58: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real | 62 |
| Tabla 59: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real..... | 62 |
| Tabla 60: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 220 USD/kWh, para un caso real..... | 62 |
| Tabla 61: Resumen de la evaluación económica del uso de panel fotovoltaico con batería usada a un precio de 0 [USD/kWh]..... | 63 |
| Tabla 62: Resumen de la evaluación económica del uso de panel fotovoltaico con batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh]..... | 63 |
| Tabla 63: Resumen de la evaluación económica del uso de panel fotovoltaico con batería nueva a un precio de 70 [USD/kWh]..... | 64 |
| Tabla 64: Resumen de la evaluación económica de la conexión directa a la red para cargar la batería usada de un precio de 0 [USD/kWh] | 64 |
| Tabla 65: Resumen de la evaluación económica de la conexión directa a la red para cargar la batería nueva de un precio de 220 [USD/kWh] | 64 |
| Tabla 66: Resumen de la evaluación económica de la conexión directa a la red para cargar la batería nueva de un precio de 70 [USD/kWh] | 64 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Análisis de sensibilidad para el cambio en el valor de la inversión de paneles fotovoltaicos..... | 48 |
| Ilustración 2: Análisis de sensibilidad de la rentabilidad del proyecto cambiando el precio de la batería de litio, para el uso de paneles fotovoltaicos y batería de ion litio nueva. | 57 |

1. Introducción

1.1. Antecedentes generales

Durante los últimos años, se ha vivenciado un gran crecimiento¹ en la compra y uso de vehículos eléctricos en países de Europa, Asia y América, creando ciudades con entornos más innovadores, ecológicos e inteligentes, a través de tecnologías sustentables.

El aumento en la cantidad de vehículos eléctricos en circulación se debe en gran medida a que los gobiernos se han hecho cargo de su expansión, por los beneficios que trae en cuanto a la eficiencia energética y la contaminación atmosférica. La forma en que han logrado potenciar el uso de este tipo de tecnología es a través de políticas públicas que logren una percepción mucho menor del precio de compra, ya que actualmente el precio de ellos es muy elevado, por lo que se han tenido que tomar medidas como la disminución en los impuestos de compra, estacionamientos gratis para el uso y carga de la batería de los vehículos, uso de pistas exclusiva de buses, entre otros.

El país referente mundial en electromovilidad es Noruega, teniendo la mayor cuota de EV² tanto en Europa como en el resto del mundo. Esto ha sido posible gracias a que también es el país que más políticas públicas ha implementado en relación a la movilidad eléctrica, con el fin de que los usuarios no sienta que comprar un vehículo eléctrico es tan costoso a la larga. Lo siguen Holanda y Suecia. Por otro lado, los países que poseen mayor cantidad de autos eléctricos son China y Estados Unidos, siendo China un país que desde el año 2016 ha impartido muchas políticas públicas, lo que ha provocado que destrone a Estados Unidos en el puesto número uno de cantidad de autos eléctricos a nivel nacional.

La movilidad eléctrica ya llegó a Chile, teniendo una cifra oficial de 214³ autos eléctricos en circulación para fines del año 2017, adquiridos por empresas en su mayoría o por personas naturales, y se espera que en el futuro esta cifra vaya en aumento, ya que son varias las políticas públicas que el gobierno está implementando para apoyar iniciativas que aumenten la

¹ Global EV Outlook 2018, International Energy Agency

² Vehículo Eléctrico (Electric Car)

³ Cifra otorgada por la Asociación Nacional Automotriz de Chile

movilidad eléctrica, siendo la principal de ellas un compromiso⁴ que indica que para el año 2050 el parque automotriz del país está compuesto por un 40% de vehículos eléctricos particulares y un 100% de transporte público del tipo eléctrico.

1.2. Justificación del problema

Si bien el aumento de la electromovilidad trae consigo beneficios en cuanto a eficiencia energética y medio ambiente, aún no se resuelve el problema de qué es lo que se va a hacer con los desechos generados por estas tecnologías, ya que muchos de estos son difíciles de reciclar, y un aumento explosivo puede traer consigo un problema de basura tecnológica.

Uno de los casos son las baterías de litio, que deben ser cambiadas de un vehículo eléctrico cuando llegan al 80% de su rendimiento, equivalente en tiempo a aproximadamente unos 5 años, por una totalmente nueva, es decir, un rendimiento del 100%. Existen dos problemas en este caso; el primero es que las baterías son uno de los elementos más caros de un vehículo eléctrico, por lo que se requiere de una gran suma de dinero para poder cambiar esta batería, por lo que algunas personas podrían optar por comprar un nuevo vehículo, en vez de hacer el cambio, generando aún más desechos. El segundo problema es que las baterías son difíciles de reciclar por su estructura interna, requiriendo a expertos que lo hagan y de un trabajo muy minucioso, lo que tarda mucho tiempo y recursos, por lo que es más fácil simplemente botarlas.

Es de aquí que nace la oportunidad de darle una segunda vida útil a las baterías de litio ya que, si bien no pueden ser utilizadas en un vehículo eléctrico al 80% de rendimiento, si pueden ser utilizadas en otros múltiples usos, como por ejemplo, almacenamiento de energía. Con esto los dueños de vehículos eléctricos podrían amortiguar al impacto del costo de la compra de una nueva batería, ya que podría vender la antigua, solucionándose así el problema de el desecho de la batería, ya que se le podría dar un nuevo uso. En el caso particular de este trabajo de título, la oportunidad es tomada a la agroindustria, en donde se busca una solución en la generación y almacenamiento de energía, a través de paneles solares y baterías de ion litio respectivamente, con el fin de disminuir los costos de cargos por potencia en horario punta.

⁴ Estrategia Nacional de Electromovilidad, Ministerio de Energía, Transporte y Telecomunicaciones y Medio Ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la rentabilidad económica de implementar un sistema de baterías de ion litio en su segunda vida útil, extraídos de la electromovilidad, para la administración de cargos por potencia en la agroindustria, a través de energía eléctrica generada por energía solar fotovoltaica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis del contexto que envuelve a la electromovilidad, las baterías de ion litio y el mercado energético en Chile.
- Analizar el mercado a través de la oferta de vehículos eléctricos y baterías existentes, y de la demanda energética de la agroindustria
- Desarrollar un modelo de negocios que abarque el mercado de la segunda vida útil de las baterías de ion litio extraídas de vehículos eléctricos.
- Definir el precio de mercado de la batería de litio usada, a través de la estimación de ahorros del uso de diferentes tecnologías.
- Evaluar la factibilidad económica en un caso real del rubro de la agroindustria.

1.4. Metodología

En primer lugar, se debe realizar un análisis del contexto en el que se enfoca este proyecto. Para esto, es necesario ver en profundidad el mercado de la electromovilidad, el mercado energético chileno, los tipos de baterías de ion litio con sus características, los paneles fotovoltaicos y la agroindustria. En este análisis es necesario ver lo que ocurre a nivel nacional (políticas que están surgiendo, tecnologías utilizadas, etc.) como a nivel internacional.

En segundo lugar, se realiza un análisis del mercado, para ver tanto la oferta de baterías de ion litio como la demanda energética de la agroindustria. Para

ellos es necesario analizar la cantidad de vehículos eléctricos que existen actualmente en Chile y realizar una proyección a futuro, con el fin de ver en qué momento logra ser rentable el mercado, teniendo en cuenta sus características propias, como lo son su capacidad y su precio de mercado. También es necesario estudiar cada una de las baterías de los vehículos eléctricos más vendidos, para así lograr identificar la capacidad a la que puede estar cada una de ellas, cómo trabajar con ellas y la cantidad requerida.

El tercer lugar, se realiza un modelo de negocios para definir la propuesta de valor del negocio como una solución de eficiencia energética aplicada en la agroindustria, dando énfasis en los elementos más importantes y distintivos de éste.

En cuarto lugar, se realiza una estimación del precio al que el dueño del vehículo eléctrico le venderá la batería al proyecto. Este valor se estima a través de la evaluación económica de solamente 1 kW para distintos escenarios de utilización de la batería de ion litio usada; es decir, utilizando paneles solares para captar energía solar y posteriormente transformarla en energía eléctrica que será almacenada en estas baterías o cargarla conectándola directamente a la red en horario no punta; también se estudia si es que es mejor alternativa utilizar un crédito o no. Los datos de esta evaluación vienen de la investigación de la inversión, costos de operación y mantenimiento, y tasa de descuento promedio para este tipo de tecnologías, considerando que sean valores lo más cercano posible al contexto nacional.

Finalmente, se realizará una evaluación económica de una planta agroindustrial real, para lo que se requiere conocer las características propias del lugar en el que está ubicada la empresa (horas de sol, clima, entre otros) y la demanda energética que se desea cubrir, para poder definir la estructura de costos involucrada en este proyecto específico (cantidad de baterías y paneles solares necesarios, capital humano, entre otros). Para ello, es necesario aplicar el modelo anteriormente descrito, con el fin de analizar el ahorro de la empresa, definir el precio que se le cobrará y ver qué tan rentable es este negocio en esta situación en particular. La idea principal aquí es comparar escenarios en los que se crean ahorros mediante eficiencia energética, por lo que se comparará el uso paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica, almacenándola ya sea en una batería nueva o en una usada, o simplemente cargar estas baterías con electricidad. Se deja de lado la evaluación utilizando batería de plomo ácido o generadores diésel, ya que no son proyectos relacionados con eficiencia energética. Estos casos se estudian para el caso de financiamiento con o sin crédito.

2. Marco Conceptual

Para poder llevar a cabo la metodología descrita anteriormente, es necesario repasar varios conceptos que involucran este trabajo de título. En primer lugar, se debe entender qué es la economía circular y el reciclaje de tecnología, ya que es en lo que se centra este proyecto:

- **Economía circular y reciclaje de tecnología**

Tomando como ejemplo el modelo cíclico de la naturaleza, la economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción de los elementos: minimizar la producción al mínimo indispensable, y cuando sea necesario hacer uso del producto, apostar por la reutilización de los elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente. Es decir, la economía circular aboga por utilizar la mayor parte de materiales biodegradables posibles en la fabricación de bienes de consumo –nutrientes biológicos- para que éstos puedan volver a la naturaleza sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil. En los casos que no sea posible utilizar materiales eco-friendly (nutrientes técnicos: componentes electrónicos, metálicos, baterías) el objetivo será facilitar un desacople sencillo para darle una nueva vida reincorporándolos al ciclo de producción y componer una nueva pieza. Cuando no sea posible, se reciclará de una manera respetuosa con el medio ambiente.

Posteriormente, es necesario entender en qué se basa el sistema eléctrico en Chile, con el fin de dar cuenta de las oportunidades que existen en cuanto a electromovilidad y segunda vida útil de baterías de ion litio:

- **Sistema de tarifas**

En la actualidad existe una Ley Eléctrica vigente en Chile y el sector energético chileno está regulado por la Comisión Nacional de Energía. Para ellos existen distintas tarifas, dependiendo del tipo de cliente y su consumo de energía:

Existen dos tipos de clientes, los regulados y los libres. Se les llama clientes regulados a aquellos que su consumo de potencia sea menor a 5.000 kW, considerándose que las características del mercado son de un monopolio natural, por lo que deben estar afectados a una regulación de precios. Por

otra parte, se les llama clientes libres a aquellos que consumen una potencia mayor a 5.000 kW, por lo que no es necesario aplicar algún tipo de regulación a ellos, existiendo libertad de precios. Por último, los clientes por potencia conectada superior a 5000 kW pueden elegir a qué régimen adscribirse (libre o regulado) por 4 años.

- **Tarifas de suministro por tensión**

Antes de definir los rangos de tarifa por suministro por tensión, es necesario especificar que BT quiere decir baja tensión, comprendiendo hasta 400 volts y AT quiere decir alta tensión, que comprendiendo un voltaje superior a 400 volts.

BT1: Solo mide la energía consumida por el cliente y no existe ningún cobro directo a la potencia demandada. Para optar a esta tarifa se debe tener un suministro de baja tensión y una potencia conectada inferior a 10 kW. Esta es la mejor opción para el cliente residencial.

BT2 y AT2: Se separan cobros de energía y potencia, en donde la energía se mide con un medidor simple de energía y la potencia la contrata el cliente de acuerdo a sus necesidades, existiendo un limitador de potencia para regularlo.

BT3 y AT3: En este caso se cobra por la energía y por la potencia. Ambos se miden a través de un medidor con registrador de demanda máxima*.

BT4 y AT4: Aquí se realiza el cobro por energía, potencia suministrada (demanda máxima al mes) y potencia en horas punta*.

En este caso, son 3 los planes posibles que definen el precio final:

Tabla 1: Planes de tarifa eléctrica

| | BT4.1 AT4.1 | BT4.2 AT4.2 | BT4.3 AT4.3 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Energía | Medida | Medida | Medida |
| Potencia a horas de punta | Controlada | Medida | Medida |
| Potencia a horas fuera de punta | Contratada | Contratada | Medida |

Fuente: CGE

La última (BT4.3 y AT4.3) se caracterizan por ser utilizadas por clientes que tienen la posibilidad de reducir su potencia demandada en horarios punta.

Los cobros son de la siguiente manera

- Cargo fijo mensual
- Cargo fijo por arriendo de equipos
- Cargo por energía
- Cargo por potencia: Depende de la alternativa elegida (BT4.2 o BT4.3)

* Horario punta: Para el subsistema SEN-SING es el periodo comprendido entre las 18:00 y 23:00 horas en el caso del horario invierno, y entre las 19:00 y 24:00 horas en el horario verano, cada día todos los meses del año. En el subsistema SEN-SIC Centronorte y SENM-SIC Sur, las horas en punta corresponden al periodo 18:00 y 23:00 horas. [1] [2] [3] [4] [5]

- **Ley de Generación Distribuida - Net Billing**

Esta ley busca establecer un sistema de incentivos para autoproducir la energía que requieren sin tener que desconectarse necesariamente de la red de distribución, a partir de energía renovable no convencional. Esto puede producirse sin tener necesariamente que desconectarse de la red de distribución, para que ésta pueda ser utilizada como un complemento. Actualmente existe un tope de generación eléctrica en esta ley que es de 100 kW, pero actualmente se está estudiando cambiar esa ley, ya que solo beneficiaría a hogares y no a la generación de energías renovables de grandes empresas. [6] [7] [8]

Por otra parte, se requiere identificar los factores del entorno general del mercado de la electromovilidad y energía eléctrica, para poder entender el contexto actual tanto nacional como internacional. Para esto, la herramienta utilizada es el análisis PEST que se describe a continuación.

Análisis PEST [9]

- Segmento político/legal: Se refiere a las normas legales que están en vigencia y que afectan directamente al negocio, como leyes, decretos, etc.

- Segmento económico: En la actualidad existe una economía global que provoca que sea necesario un análisis de ella, para lograr identificar cambios y tendencias que podrían afectar a la industria y al negocio en particular.
- Segmento sociocultural: Está constituido por las actitudes y los valores culturales de una sociedad. Dado que las actitudes y los valores son los pilares de una sociedad, con frecuencia marcan los cambios y las condiciones demográficas, económicas, políticas/legales y tecnológicas. (Hitt, Ireland & Hoskisson, 2011)
- Segmento tecnológico: Se refiere a cómo ha avanzado la tecnología durante los últimos años, y cómo ha sido capaz de afectar tanto a la industria como al negocio.

Luego, es necesario hacer un análisis del modelo de negocio del proyecto, con el fin de identificar la propuesta de valor del proyecto que se quiere realizar. Para este caso, el mejor método es a través de un Business Model Canvas, ya que tiene un enfoque más de negocio.

Modelo CANVAS

- Segmento de clientes: En esta etapa se debe identificar para quién estamos creando valor y quiénes son nuestros clientes importantes.
- Propuesta de valor : Se debe cuestionar cuál es el valor que se le está entregando al cliente, pregunta que se puede resolver identificando cuáles son los problemas que se les va a ayudar a resolver, cuáles son los productos y servicios que se están ofreciendo y cuáles son las necesidades que se están satisfaciendo del cliente.
- Canales: Se debe definir el medio por el cual el negocio se contactará con el segmento de clientes, indicando el momento en el que habrá contacto, si es que están integrados los canales en caso de ser más de uno, cuál funciona mejor, cuál posee menores costos y cómo podrán ser integrados con la rutina del cliente para que sea más fácil la implementación de la solución.
- Relaciones con los clientes: Se debe definir cuál será la relación que existirá entre el negocio y los clientes, además de cómo se va a mantener, los costos y cuáles están integradas con el resto del negocio.
- Flujo de ingresos: Principalmente se define cómo se obtendrán los ingresos del negocio, definiendo el precio del producto o servicio y cuál es la forma que más le acomoda a los actores de pago.

- Recursos clave: Se debe identificar cuáles son los recursos claves que hacen que el producto o servicio funcione, es decir, que sin él no podría funcionar el negocio.
- Actividades clave: Continuando con el punto anterior, se debe definir cuáles son las actividades imprescindibles para el negocio, qué, sin ellas, el negocio no sea capaz de salir a flote.
- Asociaciones clave: Se debe definir cuáles son los socios que si o si se deben aliar con la empresa, ya sea suministradores, cuáles son los recursos claves que se van a adquirir de ellos y la actividad que deben realizar los socios.
- Estructura de costes: Identificar cuáles son los costos del producto y/o servicio que se va a ofrecer, para que de esa forma se pueda buscar la alternativa que sea más acorde con el negocio.

Por último, se realizan las distintas evaluaciones económicas para cada uno de los escenarios descritos más adelante, por lo que es necesario utilizar las bases de una evaluación económica, depreciación y tasa de interés.

- **Evaluación económica**

La evaluación económica debe incluir los siguientes factores:

- Aspectos económicos financieros: En este caso se debe determinar la inversión inicial necesaria, para posteriormente realizar un estudio de las fuentes de financiamiento disponibles , realizar proyecciones de los resultados de la actividad empresarial y las proyecciones de estados de flujo.
- Determinación de la inversión inicial: En este paso se debe evaluar los elementos necesarios para desarrollar la actividad y cuantificar su costo de capital. Es importante considerar el costo de capital de trabajo y los gastos de puesta en marcha.
- Estudio de las fuentes de financiamiento: Una vez se conoce cuál es la inversión inicial necesaria, hay que determinar las fuentes económicas de las que se obtendrán los fondos necesarios para financiar el plan de inversiones.
- Análisis de sensibilidad: Para realizar el análisis de sensibilidad se debe, en primer lugar, identificar las variables claves del proyecto.

Posteriormente se debe construir una matriz decisional en base al VAN o VPN y finalmente identificar los puntos de quiebre. Lo anterior permite chequear robustez del BP.

- Fuentes de financiamiento: Las fuentes de financiamiento pueden ser: Capital propio, ayudas del estado (Corfo y otros), hipotecas, leasing, créditos bancarios, capital de riesgo o semilla, etc.

- **Depreciación**

La depreciación es un reconocimiento racional y sistemático del costo de los bienes, distribuido durante su vida útil estimada, con el fin de obtener los recursos necesarios para la reposición de los bienes, de manera que se conserve la capacidad operativa o productiva del ente público. Su distribución debe hacerse empleando los criterios de tiempo y productividad, mediante uno de los siguientes métodos: línea recta, suma de los dígitos de los años, saldos decrecientes, número de unidades producidas o número de horas de funcionamiento, o cualquier otro de reconocido valor técnico, que debe revelarse en las notas a los estados contables.

- Línea recta: este método distribuye el costo del activo fijo de manera uniforme a lo largo de su vida útil.
- Saldo decreciente: un método acelerado de depreciación, resulta en un mayor gasto de depreciación en los primeros años de la propiedad.
- Cifras de la suma de los años: calcule los gastos de depreciación agregando todos los años de vida útil esperada del activo fijo y factorizando en qué año se encuentra actualmente, en comparación con la cantidad total de años.
- Unidades de producción: el total estimado de unidades que el activo fijo producirá durante su vida útil esperada, en comparación con el número de unidades producidas en el período contable actual, se utiliza para calcular el gasto por depreciación. [10]

- **Tasa de interés**

El método de cálculo de la tasa de interés se realiza a través del Modelo de valoración del precio de los activos financieros (CAPM), que es una herramienta utilizada para determinar la tasa de retorno requerida para un cierto activo. Se define por la siguiente fórmula:

$$r = r_f + \beta(E(r_m) - r_f)$$

En donde:

r : Costo de oportunidad del inversionista

r_f : Tasa libre de riesgo

β : Sensibilidad del activo al riesgo no diversificable

$E(r_m)$: Retorno esperado del mercado

3. Análisis de factores del entorno general del mercado de la electromovilidad y electricidad.

A continuación, se realiza un análisis del contexto que vive actualmente el mercado de la electromovilidad y la energía eléctrica tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de identificar la oportunidad del crecimiento de la movilidad eléctrica y de la segunda vida útil de las baterías de vehículos eléctricos.

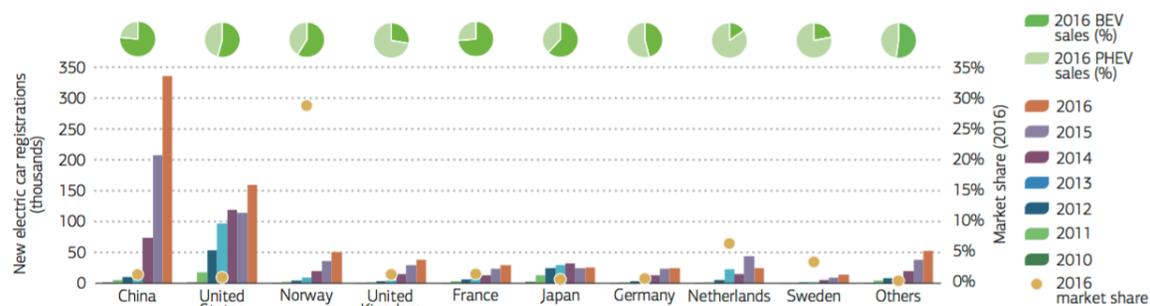
3.1. Situación internacional

El país referente mundial en electromovilidad es Noruega, teniendo la mayor cuota de vehículos eléctricos tanto en Europa como en el resto del mundo. Esto ha sido posible gracias a la gran cantidad de políticas públicas que se han implementado en relación a la movilidad eléctrica, con el fin de que los usuarios no sientan que comprar un vehículo eléctrico es tan costoso a la larga. Los países que siguen a Noruega son Holanda y Suecia.

Por otro lado, los países que poseen mayor cantidad de autos eléctricos son China y Estados Unidos, siendo China un país que desde el año 2016 ha impartido muchas políticas públicas para impulsar la electromovilidad, lo que ha provocado que destrone a Estados Unidos en el puesto número uno de cantidad de autos eléctricos a nivel nacional.

En la siguiente tabla se puede ver el avance que ha tenido la movilidad eléctrica a lo largo de los años, además de la cuota de mercado que poseen en la actualidad los autos eléctricos.

Tabla 2: Venta de autos eléctricos, cuota de mercado y cuota de ventas de BEV versus PHEV en las ciudades seleccionadas, 2010-16



Fuente: Global EV Outlook 2017, IEA

Por último, existen países que desean tomar medidas aún más radicales, como Holanda, China, Noruega e India, que están evaluando la prohibición de la venta de vehículos de combustión interna a partir del año 2025 y/o 2030, con el fin de potenciar aún más la movilidad eléctrica.

3.2. Análisis PEST

3.2.1. Político/Legal

- **Movilidad eléctrica**

Estrategia Nacional de Electromovilidad [11]

Se crea la Estrategia Nacional de Electromovilidad por los Ministerio de Energía, Transporte y Telecomunicaciones, y Medio ambiente, que contempla como meta que al 2050 el 40% de los vehículos particulares sea eléctrico y el 100% del transporte público urbano también lo sea, a través de un compromiso entre entes públicos y privados, con el fin de masificar en forma segura y sustentable esta tecnología en los próximos años. Lo anterior se logrará mediante regulaciones y estandarizaciones que favorezcan el desarrollo eficiente de la electromovilidad, impulsando una mayor penetración de los vehículos eléctricos en el transporte público; también con apoyo a la investigación y desarrollo, potenciando capital humano; e impulsando el mercado de la electromovilidad en sí mismo y generando espacio de transferencia de conocimiento y difusión de la información para los distintos actores involucrados.

Dentro del marco de la Estrategia, actualmente se está llevando a cabo un análisis profundo de todo lo que contempla la electromovilidad y la infraestructura de carga, estando en una etapa de investigación profunda que ayuden en el futuro a la toma de decisiones adecuadas con respecto al impulso de la movilidad eléctrica. Por otra parte, se están probando buses eléctricos en el recorrido 516, para probar su funcionamiento y la satisfacción de los usuarios. Más adelante se explica este punto con más detalle.

Ruta Energética 2018-2022 – Transporte eficiente [12]

La Ruta Energética 2018-2022, creada por el Ministerio de Energía del gobierno actual, busca abordar los desafíos que hay en el país en materia energética, siendo los principales desafíos la modificación de la Ley Distribución Eléctrica, la electromovilidad y potenciar proyectos energéticos.

Dentro de esta ruta, se declaran “10 Mega Compromisos”, siendo el quinto el que posee directa relación con la electromovilidad: *“Aumentar en al menos 10 veces el número de vehículos eléctricos que circulan en nuestro país”*.

- **Transporte**

Ley de Subsidio al Transporte Público (20.378)

En septiembre del año 2009 se aprobó en Chile la Ley de Subsidio al Transporte Público (20.378), que tiene como fin principal cambiar la política a la hora de distribuir los recursos de los fondos de infraestructura y movilidad tanto de Santiago como de regiones. El diseño de este subsidio incluye un fondo anual por un periodo de 10 años para el sistema público, siendo la mitad de ese fondo para el transporte capitalino y la otra mitad distribuido a regiones. [13] [14]

Buses eléctricos en circulación

El día 14 de noviembre del 2017 entraron en circulación 2 buses de transantiago del tipo eléctricos, de la marca china BYD operados por Metbus. Estos buses son parte del recorrido 516 de transantiago, contando con una autonomía de 250 km. [15]

200 buses eléctricos y electrocorredores para fines del 2018

Distintas compañías eléctricas de Chile compraron 200 buses eléctricos que llegaran a Chile a finales del 2018. ENEL – Distribución traerá 100 buses de la mano de Metbus de la marca BYD, mientras que 75 de estas máquinas son de la marca Value y 25 de la marca Yutong operados por STP. Se espera que esta nueva flota circule por grandes arterias de la capital, como lo son Avenida Grecia, Vicuña Mackenna y la Alameda. El financiamiento de compra se hará por parte del estado, donde las empresas del Transantiago obtendrán recursos a través de un “pago por flota” de la siguiente manera: Las compañías obtendrán los pagos correspondiente a su operación (es decir, por kilómetros recorridos y por número de pasajeros) y, adicionalmente, obtendrán un monto extra por vehículos adquiridos, que se entregará directamente al proveedor de la máquina. [16]

- **Mercado de la electricidad**

Lo que se busca con el almacenamiento de energía a través de baterías de litio es disminuir costos involucrados con el uso de electricidad. En general, estos costos son muy bajos, pero el precio se eleva cuando existen cargos por potencia. Por lo tanto, estos cargos se dan cuando la tarifa por suministro de energía es del tipo BT4 y AT4.

La última (BT4.3 y AT4.3) se caracterizan por ser utilizadas por clientes que tienen la posibilidad de reducir su potencia demandada en horarios punta.

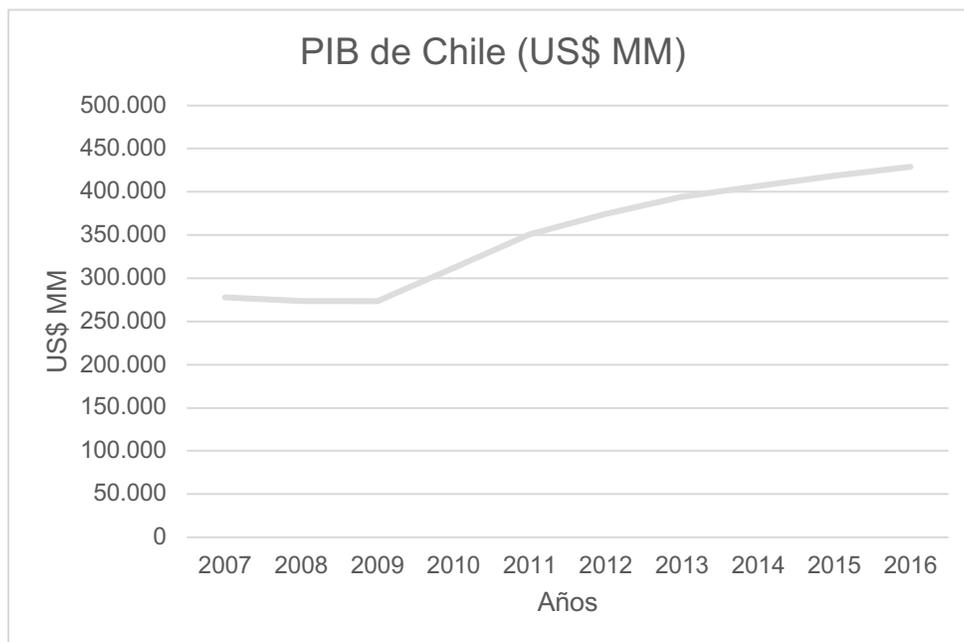
Los cobros son de la siguiente manera

- Cargo fijo mensual
- Cargo fijo por arriendo de equipos
- Cargo por energía
- Cargo por potencia: Depende de la alternativa elegida (BT4.2 o BT4.3)

3.2.2. Económico

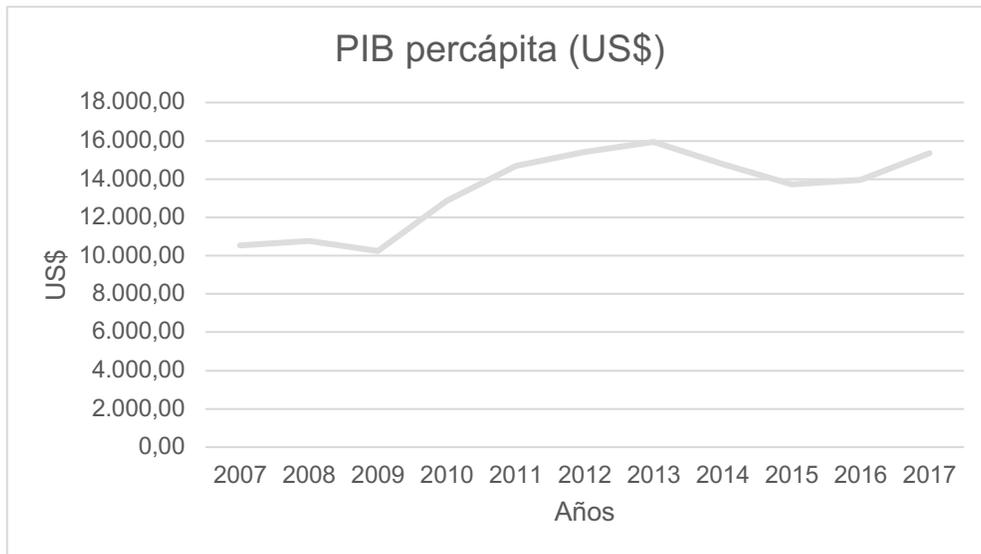
- **Economía nacional**

Tabla 3: PIB de Chile desde el año 2007 hasta el 2017. Fuente: Banco Mundial.



Fuente: Banco Mundial.

Tabla 4: PIB per cápita de Chile desde el año 2007 hasta el 2017.



Fuente: Banco Mundial.

En cuanto al segmento económico, el PIB en Chile tiende a crecer, siendo uno de los países con mayor riqueza económica dentro de América Latina. Por otra parte, también existe una tendencia al crecimiento del PIB per cápita, lo que indica que existe un mayor poder adquisitivo y bienestar social por parte de la población. [17]

- **Precio vehículos eléctricos**

Al comparar el precio de un vehículo eléctrico con uno convencional con características similares, es notorio que el primero tiene un precio de mercado mucho mayor: Por ejemplo, el Nissan Leaf en Chile cuesta alrededor de 25 millones de pesos, mientras que uno con características similares puede llegar a costar hasta 7 millones de pesos. Esto se debe principalmente al elevado costo de la batería de litio, que es aproximadamente la mitad del valor de todo el vehículo. Por otra parte, esta debe cambiarse cada 5 años en promedio, por lo que el costo aumenta cada vez más. Es por esto que existen dos iniciativas que logran disminuir la percepción de precio de mercado del vehículo eléctricos: En primer lugar, Tesla definió una opción de compra en la que viene incorporada un cambio de batería dentro de los primeros 8 años. (Aproximadamente CLP\$ 80.000.000) [18]. En segundo lugar, Nissan decidió que, una vez que la batería cumple su vida útil dentro del vehículo eléctrico, ellos le comprarán la batería al usuario para dar una segunda vida útil para reconstruirlas y volver a usarla en su modelo LEAF, amortiguando el costo del cambio de la nueva

batería. Si bien esta iniciativa se realizará solo en Japón, se espera que posteriormente sea incorporada en el resto del mundo. [19]

3.2.3. Sociocultural

Chile se encuentra en el puesto número 46 del Ranking de Innovación Global, siendo el primero en Latinoamérica, y superado por países más desarrollados de origen Europeo y Asiático. [20]

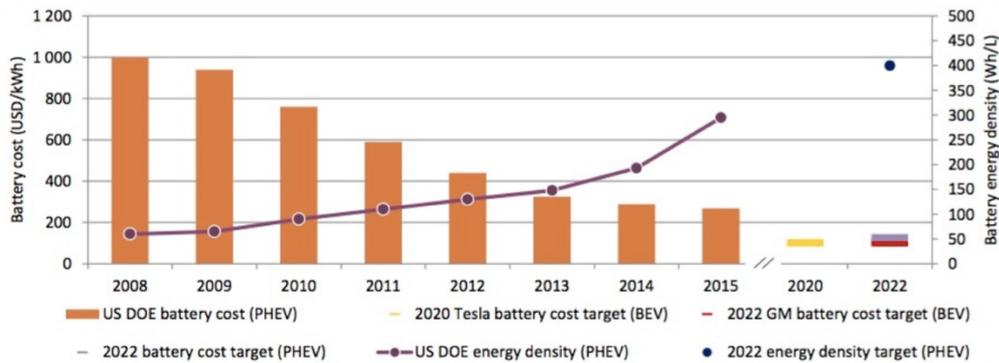
Por otra parte, Chile está cambiando los paradigmas de las sociedad a tener mayor conciencia de los recursos que se poseen y de los daños que se están provocando a nivel global, por lo que ha decidido ser parte de acuerdo internacionales que involucran la disminución los niveles de contaminación atmosféricas, detener o disminuir el calentamiento global y aumentar la calidad de vida, ya que, a lo largo de los años, los índices de contaminantes han crecido de manera alarmante. Como ejemplo está el Acuerdo de Paris, la ley de Fomento al Reciclaje, los indicios de prohibición de bolsas plásticas, entre otros.

3.2.4. Tecnológico

- **Movilidad eléctrica**

Aún existen barreras tecnológicas que impiden que el vehículo eléctrico aumente su cuota de mercado en todo el mundo. Por una parte, se tiene que el precio de éstos es muy elevados y, por otra parte, la capacidad de sus baterías es muy reducida, proporcionando una autonomía mucho menor a la de un vehículo convencional (Autonomía eléctrico: 240 km versus Autonomía bencina: 675 km). La tendencia indica que los precios de los vehículos van a ir disminuyendo acorde a la disminución del costo de su batería y la densidad energética va a ir en aumento.

Tabla 5: Precio (US/\$kWh) y densidad de energía (Wh/litro) de baterías



Fuente: Global EV Outlook 2016, IEA

La tendencia mencionada anteriormente también provoca una disminución en la adquisición de este tipo de vehículos hasta que se llegue a una tendencia relativamente fija, ya que el usuario prefiere esperar un año más para la compra, al saber que disminuirá el precio y aumentará su capacidad. En el *Anexo B* se detallan los tipos de celdas que existen para cada batería.

- **Generación y almacenamiento de energía eléctrica**

En la actualidad hay mucha incertidumbre sobre la vida útil de las baterías de litio usadas anteriormente para la electromovilidad, ya que aún no existe una cantidad suficiente de evidencia empírica que avale un número por lo nuevo de ésta tecnología. Las opciones de almacenamiento de energía que otorgan mayor seguridad en cuanto a este tema es la batería de plomo ácido, pero es una alternativa menos limpia que la anterior. Por otra parte, en cuanto a la generación de energía, también se puede utilizar como alternativa un generador diesel, siendo además una solución más económica, pero tiene la desventaja de ser menos limpia y existe una tendencia al alza en el precio de este combustible.

4. Sistema de almacenamiento de energía off grid utilizando baterías de litio usadas

A continuación, se realiza una descripción de la solución a la segunda vida útil de las baterías de vehículos eléctricos propuesta en este trabajo de título, indicando la vida útil para entender qué tan viable es la ejecución de este tipo de proyectos.

4.1. Descripción del uso de baterías de litio usadas

El proyecto consiste en la creación de un sistema que sea capaz de convertir energía solar en energía eléctrica, a partir de paneles fotovoltaicos, almacenándola en baterías de ion litio. Estas baterías provendrán de vehículos eléctricos, por lo tanto, este uso será el segundo en su vida, siendo el fin principal el reciclaje de éstas, por lo que se requiere que el sistema sea utilizada en soluciones del tipo estacionaria con el fin de alargar su vida útil, ya que la baterías habrán experimentado envejecimiento previo.

La energía eléctrica almacenada será utilizada para tarifas de tensión BT4 y AT4 (debido a la potencia generada), específicamente en horario punta, con el fin de disminuir los costos de cargo por energía (\$/kWh) y cargo por demanda máxima de potencia contratada o leída en horas de punta (\$/kW/mes).

El sistema de almacenamiento de energía será instalado en empresas del rubro de la agroindustria, específicamente en el sector de alimentos, la agricultura y la fruticultura. En particular, la energía será utilizada en frío (congeladores y refrigerados) en hora punta (de 18:00 a 23:00 horas en invierno y de 19:00 a 24:00 horas en verano), ya que se espera una demanda energética constante, logrando que la vida útil y el rendimiento de la batería envejecida sea mayor, como se explica más detalladamente en los puntos posteriores.

4.2. Proceso de armado del proyecto de generación y almacenamiento de energía solar

El proyecto abarca 4 grandes procesos principalmente: El primero es la extracción y almacenado de las baterías, el segundo es el diseño y empaquetamiento del sistema productor y almacenador de energía, el tercero

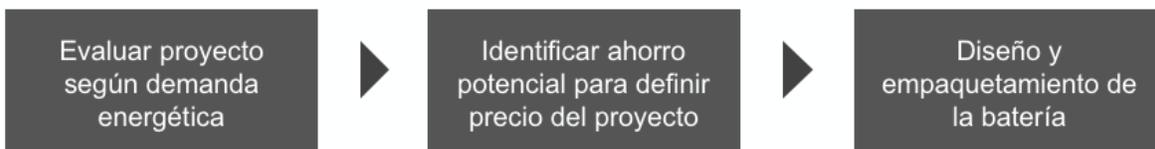
es la instalación y el cuarto es la operación y mantenimiento. Cada una de estas grandes etapas contiene tareas específicas que serán descritas a continuación.

4.2.1. Extracción y almacenado de las baterías



Para realizar el proyecto, en primer lugar se debe extraer la batería del vehículo eléctrico. Para ello, se requiere de especialistas, que además vean las condiciones en las que se encuentran estas baterías y puedan hacer un perfil de la capacidad y potencia de estas, para poder asignarlas al siguiente uso. Es imprescindible hacer esta evaluación del estado de la batería en el momento de ser retirada del vehículo, ya que el desvanecimiento de la eficiencia energética es una determinante considerable en el rendimiento potencial para un segundo uso, más que el primer uso del vehículo, por lo que se debe conocer la capacidad remanente efectiva, la eficiencia de carga actual y si hay celdas fallidas. Luego, estas baterías serán almacenadas en un lugar frío (entre 0 y 15 grados celsius) a una carga del 40%, ya que esa es la mejor manera de guardarlas y que puedan ser conservadas por mucho más tiempo [21].

4.2.2. Diseño y armado del sistema de generación y almacenamiento de energía



A la hora de iniciar un proyecto, se requiere conocer la demanda energética, además de los años de duración y el lugar en el que se realizará, con el fin de diseñar el proyecto a medida para cada cliente, calculando cuántas baterías se van a necesitar, el volumen físico que éstas van a ocupar,

cuántos paneles fotovoltaicos serán necesario y cuántas horas de luz solar habrá. Para este último punto, se utilizará una herramienta en línea llamada “Explorador solar”, creada en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, y puesta a disposición por el Ministerio de Energía. Con esta herramienta se obtendrá un valor aproximado de cuánta energía solar habrá en la zona geográfica específica donde se realizará el proyecto en cada mes del año. Por otra parte, es importante mencionar que se tomó la decisión de considerar en el diseño del sistema de creación y almacenamiento de energía una gran inversión en monitoreo (sistemas de gestión de baterías [BMS] y sistemas de gestión de temperatura [TMS]), con el fin de percatarse a tiempo si es que existe alguna falla en el sistema y poder arreglarlo de manera inmediata, reduciendo costos en mantenciones o que el sistema falle completamente por una complicación que no fue detectada a tiempo.

La elección de paneles fotovoltaicos se hará de acuerdo a las condiciones geográficas y la disposición de espacio para su instalación, considerando también los costos asociados a éstos y los ahorros que se espera generar. En el *Anexo C* se realiza un análisis más detallado sobre los tipos de paneles fotovoltaicos.

Posteriormente, se identificará el ahorro que significaría el proyecto al compararlo con la conexión directa a la red eléctrica en horario punta según el escenario que se desee instalar.

Finalmente se realizará el diseño y empaquetamiento de las baterías que serán utilizadas. El criterio que debe ser considerado es que los packs de baterías de vehículos eléctricos no deben desarmarse para evaluar cada celda por separado y luego construir un nuevo pack con las mejores celdas ya que, como muchos autores han afirmado, esto puede ser muy costoso, además de ser muy inseguro para las personas que estén manejando las celdas.

4.2.3. Instalación



Se realizará la instalación tanto del sistema de paneles fotovoltaicos como del sistema de almacenamiento de energía por un equipo externo experto en el tema. Como se mencionó anteriormente, se considera también la instalación de sistemas de monitoreo que almacenen la información de la energía almacenada y den un aviso de alerta en caso de que algo no esté funcionando bien.

La que no se utilice será vendida a la red, ya que es necesario que la energía solar recibida por los paneles siempre sea entregada a algún sistema, o de modo contrario, los paneles fotovoltaicos se degradan muy fácilmente por la energía que queda dando vuelta en ellos.

4.2.4. Operación y mantenimiento



Operación y
mantenimiento

Cada uno de los sistemas requiere de una operación y una mantención adecuada, procesos que se realizarán posterior de la instalación y durante la ejecución del proyecto.

4.3. Proyección de la vida útil del sistema de generación y almacenamiento de energía

4.3.1. Proyección de la duración de las baterías en vehículos eléctricos

Un punto importante a analizar es la duración que tendrán las baterías una vez que sean retiradas de los vehículos eléctricos y sean puestos a disposición para el almacenaje de energía. Para lo anterior, es necesario hacer un análisis de cómo funcionan las baterías y cuáles son las condiciones para asegurar una vida útil mayor:

En primer lugar, todas las baterías de vehículos eléctricos son de litio. Cuando la batería se carga y descarga una vez, se produce un ciclo. Al haber

muchos ciclos, las baterías comienzan a degradarse, perdiendo su capacidad, disminuyendo su eficiencia energética y experimentando un desvanecimiento de la potencia, por lo que es importante recalcar que una batería de litio puede ser utilizada en un vehículo eléctrico hasta tener un rendimiento del 80%. Menos que eso no es recomendable por seguridad y funcionamiento óptimo del vehículo. Por otra parte, el tiempo en que una batería disminuye su rendimiento al 80% no es siempre el mismo y depende de muchos factores externos, por lo que a continuación se analizarán cada uno de ellos:

1. Tasa de carga/descarga. La batería de este tipo de vehículos debe cargarse aproximadamente al 80% y descargarse hasta aproximadamente el 30%. A medida que envejece, se requiere mayor cantidad de ancho de banda de la batería utilizable, lo que aumenta la tensión y el envejecimiento. [22] [23] [24]
2. Temperaturas altas y climas cálidos, ya que estos disminuyen su capacidad, por lo que el lugar de origen del vehículo eléctrico podría tener directa relación con la duración de la batería, aunque hasta la fecha no existen datos que avalen completamente esta teoría. También puede existir una pérdida de capacidad durante el almacenamiento del vehículo debido a una alta temperatura durante muchos meses. [22] [23] [24]
3. Patrones de conducción. Según informes, la distancia real recorrida por un vehículo eléctrico es entre un 30% y un 37% menos a los que dicen los fabricantes del vehículo, ya que ellos consideran las mejores condiciones de conducción. La reducción del rango de conducción puede ser a causa de los semáforos, los limpiaparabrisas, la calefacción y la refrigeración del automóvil. También hay que considerar que la conducción agresiva también puede afectar, como también la conducción en un entorno montañoso. [22] [23]
4. Las temperaturas frías son un factor que disminuye el rendimiento temporal de la batería, por lo que también reduce el rango de conducción. Por otra parte, también es más difícil cargar el vehículo eléctrico cuando estos están fríos, ya que la mayor parte del ion litio no se puede cargar cuando está debajo del punto de congelación. Como sistema de protección de la batería, algunos modelos incluyen una manta térmica para que las baterías del vehículo, con el fin de protegerlo de bajas temperaturas. [22]

4.3.2. Proyección de la duración de las baterías en la segunda vida útil

Es importante destacar que no existen datos reales sobre la duración de la vida de las baterías, existiendo mucha incertidumbre, ya que cada caso es distinto y depende de las condiciones anteriormente nombradas. Por lo tanto, se considerarán dos casos de estudios para hacer un análisis aproximado de la duración de estos; el primero basado en las garantías de los fabricantes, que es de aproximadamente de 8 años, y el segundo en análisis empíricos, en donde la batería llega al 80% de capacidad a los 5 años de uso. En el *Anexo A* se realiza un análisis más detallado de los estudios realizados para concluir esto.

5. Análisis de mercado

Para entender qué tan factible es utilizar las baterías de vehículos eléctricos en una segunda vida útil para el almacenamiento de energía, es necesario realizar un análisis de mercado. Para este trabajo de título se define que los proveedores de baterías serán los dueños de vehículos eléctricos y que el cliente serán las empresas agroindustriales, ya que es ahí donde se ve una oportunidad en donde este tipo de proyectos podría dar resultado.

5.1. Oferta

5.1.1. Mercado de los vehículos eléctricos en Chile

La oferta se analiza principalmente por la cantidad de baterías de ion litio que hay actualmente en el mercado chileno y las que habrá en un futuro.

Como ya se comentó anteriormente, la última cifra otorgada por la Asociación Nacional Automotriz de Chile indica que, a finales del 2017, se alcanzó una cantidad de 214 vehículos eléctricos livianos (Tabla 6).

Tabla 6: Cantidad de vehículos eléctricos particulares desde el año 2011 hasta el año 2017

| Año | Cantidad vehículos convencionales | Cantidad vehículos eléctricos |
|------|---|-------------------------------------|
| 2011 | 3.571.219 | 6 |
| 2012 | 3.973.913 | 11 |
| 2013 | 4.263.084 | 16 |
| 2014 | 4.568.664 | 33 |
| 2015 | 4.751.130 | 69 |
| 2016 | 4.960.945 | 100 |
| 2017 | 5.292.336 | 214 |

Fuente: Asociación Nacional Automotriz de Chile

Por otra parte, son 2 los buses eléctricos que se encuentran en operación desde este año y 200 en total comenzarán a operar entre el año 2018 y 2019 [25]. Además, 60 radiotaxis eléctricos comienzan a operar en la Región Metropolitana este año [26].

Por lo tanto, a finales de este año, se cuenta con 474 vehículos eléctricos con baterías de ion litio, número que irá incrementando año a año según los objetivos que tiene el gobierno para potenciar el uso de los vehículos de este tipo.

Finamente, según las metas que tiene el gobierno actual, es el documento “*Ruta Energética*” publicado este año, se manifiesta como su quinta meta el aumento de 10 veces la cantidad de vehículos eléctricos para el final del gobierno actual, por lo que se toma como supuesto para este trabajo de título que para el año 2022 habrían 2.140 vehículos eléctrico en circulación.

5.1.2. Marcas de EV que hay actualmente en Chile

Los modelos de vehículos más vendidos a nivel nacional son el Hyundai Ioniq, Nissan Leaf y el BMW i3 hasta el año 2017. No existen cifras exactas de las preferencias al 2018, pero se estima que sea una cifra muy similar.

Tabla 7: Cantidad de vehículos eléctricos, registrados por marca y por año

| BEV | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| BMW - i2 | | | | | 9 | 9 | 8 |
| BMW - i3 | | | | | | | 17 |
| BYD - E6 | | | 1 | 2 | | | |
| Mitsubishi - Imiev | 6 | 5 | 4 | 1 | | | |
| Renault - Kagoo Fase I E5 | | | | | 3 | 4 | |
| Renault - Fluence | | | | | | 6 | 13 |
| Renault - Zoe | | | | | 1 | 1 | |
| Hyundai - Ioniq | | | | | | 2 | 61 |
| Nissan - Leaf | | | | | | | 26 |
| Citroën - E-Berlingo | | | | | | | 7 |
| Suma total anual | 6 | 5 | 5 | 3 | 13 | 22 | 125 |
| Acumulado | 6 | 11 | 16 | 19 | 32 | 54 | 179 |

Fuente: Asociación Nacional Automotriz de Chile

La tabla no considera el total de vehículos que existe a nivel nacional, ya que muchos de estos modelos no fueron comprados a la distribuidora nacional, sino que probablemente fue adquirido por otro medio. De todas

maneras, sirve como una buena estimación para saber cuáles son los modelos de vehículos más comunes entre los chilenos. [27]

5.1.3. Características de sus baterías

Para los vehículos eléctricos más vendidos, se hizo una tabla para comparar cuáles son las características de cada una de las baterías, ya sea su rendimiento, el tipo de celda, el peso de la batería y su composición química. En el *Anexo B* se puede ver con más detalle una descripción de los tipos de celdas.

Tabla 8: Características de las baterías según modelo EV

| Modelo | Capacidad | Química | Tipo Celda | Peso o cantidad |
|-------------------|-----------|-------------|------------|-----------------|
| BMW i3 | 23 kWh | LMO/NMC | Prismática | 204 kg |
| Mitsubishi I miev | 16 kWh | Li-Ion | Prismática | 88 celdas |
| Hyundai Ioniq | 28 kWh | s/i | Pouch | 265 kg |
| Nissan Leaf | 24 kWh | Li-Magnesio | Prismática | 272 kg |

Fuente: Elaboración propia

5.2. Demanda

El enfoque de esta sección es determinar para cuál subsector de la agroindustria se realizará este tipo de proyectos. Se define que éstos son la industria de alimentos, la agricultura en general y la fruticultura. A continuación se presentan los motivos de la elección.

5.2.1. Gasto energético (o potencial)

La agroindustria posee, en particular, muchos subsectores, como lo son la carne, la madera, los lácteos, las frutas y verduras, y los pescados. Para poder calcular la demanda total energética de esta industria, es necesario estudiar cada uno de sus subsectores en particular. Si bien, no existen datos exactos de la demanda real del subsector, el Centro de Energía de la Universidad de Chile generó una estimación de los Potenciales de Autogeneración y Reducción de Gases de Efecto Invernadero de cada uno de los subsectores de esta industria para distintas tecnologías que pueden ser utilizadas, ya sea para el riego, la generación eléctrica, entre otros.

Tabla 9 Potenciales de Autogeneración

| | GWh/año |
|---|----------------|
| Industria de Alimentos | 3.051 |
| Azúcar | - |
| Pecuaria, cerdos | 160 |
| Pecuaria, bovino | 118 |
| Vitivinícola | 6,39 |
| Agricultura cereales | 4.145 |
| Agricultura otros | 1.826 |
| Acuicultura | - |
| Aserraderos | 167 |
| Fabricación de pasta de madera, papel y cartón | 726 |
| Fruticultura | 1.747 |

Fuente: Datos obtenidos del Centro de Energía, Universidad de Chile

Donde:

FV: Fotovoltaico

SST: Solar térmico

CHP: Cogeneración

Gt: Bomba Geotérmica

Mh: Mini hidráulica

Eo: Eólica

Bm: Biomasa

Bg: Biogás

De los datos otorgados anteriormente, puede concluirse los sectores que tienen un mayor potencial de generación de energía eléctrica, probablemente a causa de que son los que poseen procesos que involucra mayor requerimiento de este tipo de energía, con la industria de alimentos, la agricultura en general y la fruticultura, por lo que estos subsectores serán estudiados más en profundidad.

5.2.2. Aporte en el PIB nacional

Según datos del Banco Central, cada sector de la Agroindustria hace un aporte en el PIB del país. A continuación, se presenta una tabla con la información obtenida del año 2015, datos otorgados por el Centro de Energía de la Universidad de Chile (millones de pesos encadenados base 2008).

Tabla 10 Aporte de cada sector al PIB Nacional

| Sector analizado | Denominación en MIP | PIB del sector (MM\$ encadenados) | Aporte (%) |
|--|---|-----------------------------------|------------|
| Minería | Minería del cobre | 14.083.981 | 11,85% |
| | Minería del hierro | | |
| | Minería de otros metalíferos no ferrosos | | |
| | Explotación de otras minas y canteras | | |
| Azúcar | Elaboración de otros productos alimenticios | 191.590 | 0,16% |
| Pecuaria | Cría de ganado bovino | 403.371 | 0,34% |
| | Cría de cerdos | 274.946 | 0,23% |
| Vitivinícola | Elaboración de vinos | 422.252 | 0,36% |
| Agricultura | Cultivos anuales (cereales y otros) y forrajeras | 459.935 | 0,39% |
| | Cultivo de hortalizas y productos de viveros | 136.928 | 0,12% |
| Acuicultura | Acuicultura | 362.222 | 0,30% |
| Aserraderos | Aserrado y acepilladura de maderas | 324.971 | 0,27% |
| Fabricación de pasta de madera, papel y cartón | Fabricación de celulosa | 785.524 | 0,66% |
| | Fabricación de envases de papel y cartón | | |
| Fruticultura | Cultivo de uva | 318.952 | 0,27% |
| | Cultivo de otras frutas | | |
| | Elaboración y conservación de carne | | |
| | Elaboración de harina y aceite de pescado | | |
| | Elaboración y conservación de pescados y mariscos | | |
| | Elaboración y conservación de vegetales | | |
| Alimentos | Elaboración de aceites | 2.333.526 | 1,96% |
| | Elaboración de productos lácteos | | |
| | Elaboración de productos de molinería | | |
| | Elaboración de alimentos para animales | | |
| | Elaboración de productos de panadería | | |
| | Elaboración de fideos y pastas | | |

Fuente: Banco Central (2015)

Se puede apreciar que el sector que más aporta al PIB nacional es la Minería, con un 11,85%. El siguiente sector es el de la los alimentos con un 1,96%, posteriormente el de la Fabricación de pasta de madera, papel y cartón, el sector pecuario y el agrícola.

5.2.3. Exportación de productos agroindustriales

Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), el salmón, la celulosa y las uvas frescas son algunos de los principales productos que el país exporta, además del cobre. Se considera que los alimentos son los segundos productos más exportados desde Chile hacia el mundo, siendo las frutas más exportadas las uvas, las manzanas y la cerezas; y siendo el mayor consumidor Estados Unidos con 295.572 toneladas, destacando las uvas de mesa, los arándanos, las mandarinas y las paltas; mientras que Asia se sitúa como el segundo mayor consumidor de

estos productos, siendo la cereza el producto más aclamado por ellos (166.692). [28] [29]

Según los datos otorgados anteriormente, se define que la industria de alimentos, la agricultura en general y la fruticultura son los sectores a los que va a apuntar este tipo de proyectos, debido a que en la actualidad poseen una alta demanda energética, integran gran parte del PIB nacional, y son productos demandados en el exterior, por lo que deben cumplir con ciertos estándares internacionales de cuidado con el medio ambiente, por lo que la implementación de proyectos de eficiencia energética les genera beneficios a la hora de posicionarse internacionalmente.

6. Modelo de negocios

Se debe definir una lógica del negocio a nivel estratégico. Es por ellos que se realiza el modelo de negocios del uso de baterías de litio usadas previamente en electromovilidad para el almacenamiento de energía.

6.1. Segmento de clientes

Para este proyecto los potenciales clientes son todas las empresas de la agroindustria.

En primer lugar, la batería que se utilice va a ser extraída de vehículos eléctricos, lo que implica que va a comenzar con un rendimiento del 80% en promedio, estando un poco gastada para su nuevo uso. Es por esto que, para lograr conservarla el máximo tiempo posible en el mejor estado, es necesario que las condiciones en las que vaya a estar la batería de ion litio sea la óptima para no disminuir la capacidad, la potencia y la eficiencia más de lo que se puede desgastar con el uso normal, es decir, mantener la batería en un lugar en donde las condiciones estén completamente controladas: no exponerla a temperaturas muy elevadas ni muy frías y utilizarla en aplicaciones en donde la carga y descarga sea regular (patrones de uso constantes).

La elección se realizó principalmente porque en este rubro se trabaja con productos que deben recibir constantemente tratamiento de refrigeración o congelación, con el fin de evitar mermas, ya que ambos son métodos para la conservación a largo plazo de los alimentos. Estos tratamientos tienen patrones de uso constantes y las condiciones en las que esté la batería puede controlarse. Por otra parte, al ser grandes industrias en donde existe una discriminación entre cargos por energía y potencia de las tarifas de suministro eléctrico, existen horarios en el que el precio por el uso de electricidad es mayor o intervalos de tiempo en los que se eleva mucho el valor de la energía, montos de dinero que podrían ser reducidos con el uso de este proyecto.

Dado todos los antecedentes anteriores, se considera que se estudiará el subsector de la agricultura y fruticultura, más específicamente en el proceso de congelación y refrigeración de frutas y hortalizas; y la industria de los alimentos, más específicamente con vegetales procesados que deben permanecer refrigerados o congelados. La decisión se toma en base a que son los rubros que requieren de mayor energía eléctrica para sus procesos, siendo el mayor

potencial de autogeneración las micro hidráulicas, además de que, gran cantidad de estos productos son enviados al extranjero, aportando en el crecimiento del PIB nacional y se deben regir por normas internacionales de sustentabilidad, por lo que este proyecto puede contribuir satisfactoriamente a este tipo de estándares del mercado extranjero, siendo aún más atractivo para el productor.

6.2. Propuesta de valor

Implementar un sistema de almacenamiento de energía a través del reciclaje de baterías de litio a partir de energía solar en el sector de la agroindustria, con la finalidad de reducir los costos de cargos por potencia generados en horario punta y reducir el impacto en el medio ambiente a través de la economía circular de las baterías y utilizando energías limpias.

6.3. Canales

Los canales de distribución serán directos con el cliente, es decir, se tomará contacto directo con cada una de las empresas para comunicar la propuesta de valor e informar el mecanismo del proyecto a través de reuniones con los clientes y visitas comerciales. Una vez que el cliente se muestre interesado, se debe realizar una evaluación que indique la oportunidad de ahorro que obtendrá la empresa con la aplicación de esta nueva tecnología a partir de la elección de un tipo de Contrato de Desempeño Energético, entregando un presupuesto detallado con toda la información necesaria. Posteriormente se hará entrega del producto, en donde se realizará la instalación de los paneles solares fotovoltaicos, de los elementos que permiten la transformación de energía solar a eléctrica y del sistema de almacenamiento de energía compuesto por las baterías de ion litio, con un software que otorgue inteligencia al sistema, de manera que se pueda controlar el flujo de energía, ya sea la capacidad, la potencia y la eficiencia energética, además del consumo en tiempo real. Por último, se entrega un servicio de postventa, el cual tiene como rol principal prestar cualquier tipo de servicio que sea requerido por los clientes una vez que el proyecto ya está en marcha, como servicio técnico, repuestos, etc.

6.4. Relación con los clientes

El tipo de relación con el cliente al que se quiere llegar con este proyecto es de asistencia personal dedicada, asignándole un responsable a la atención específica de cada uno de ellos. La razón principal es que los proyectos pueden

diferir mucho unos con otros dependiendo de los clientes, ya que son distintas las necesidades por cada tipo de alimento, son diferentes las características de cada uno de los espacios donde se deben conservar y la energía solar que puede ser capturada difiere dependiendo de la zona geográfica en donde esté ubicada la empresa y el lugar en el cuál se realizará el proyecto. Posteriormente, cuando el sistema ya esté instalado, la relación podría cambiar a asistencia directa, en donde el cliente debe contactarse cada vez que tenga algún tipo de duda o problema de cualquier tipo para lograr encontrar una solución de la manera más rápida posible.

6.5. Estructura de ingresos

Los ingresos se harán de manera idéntica a una ESCO⁵. Este tipo de empresas se caracterizan por tener contratos especiales, llamados Contrato de Desempeño Energético, en los cuales se debe estipular principalmente el tipo de contrato que es, la vigencia del contrato, y los términos y condiciones. Los elementos clave que debe contener este tipo de contratos son los siguientes [30]:

- La línea base o consumo de referencia de las instalaciones.
- Las mejoras y las medidas para conseguir los ahorros de energía.
- La garantía de los ahorros de energía.
- El procedimiento de medición y verificación de ahorros.
- El periodo de recuperación de la inversión.

Son 4 los tipos de contratos de desempeño energético más comunes [31]:

1. Ahorros compartidos: Este se produce cuando el negocio es compartido entre la ESCO y la parte contratante, en la inversión y en los ahorros.
2. Ahorros garantizados: Se produce cuando en el negocio, la ESCO implementa totalmente el proyecto y garantiza un determinado ahorro, y la parte contratante paga por con parte de dichos ahorros o servicios.
3. Fast Out: Este se caracteriza porque la ESCO implementa el proyecto, produce ahorros en energía y estos ahorros son en forma total y absoluta de la ESCO.
4. CHAUFFAGE: Este se caracteriza por la venta de energía de la ESCO a la parte contratante.

⁵ Energy Services Companies

6.6. Recursos clave

El principal recurso necesario es las baterías de ion litio y expertos en éstas, que sean capaces de extraer la batería de ion litio del vehículo eléctrico y posteriormente armar un gran conjunto de packs, diseñado para el cliente en específico. Por otra parte, es importante darle inteligencia al nuevo pack de baterías, para que actúe por si solo en el caso de situaciones poco cotidianas que pongan en peligro el funcionamiento del sistema o, incluso, del lugar en el cuál se instala el proyecto.

Por otra parte, es necesario contar con un sistema de monitoreo (software) que sea capaz de medir la capacidad, eficiencia y potencia del sistema de almacenamiento, además de entregar información acerca de la oferta y demanda de energía, y otro tipo de detalles técnicos necesarios en la implementación.

6.7. Actividades clave

En primer lugar, es necesario hacer una recolección de baterías de ion litio proveniente de vehículos eléctricos para darles un segundo uso, por lo que también es necesario reclutar a capital humano con expertiz en las baterías de ion litio, para poder hacer todo el desarrollo relacionada con estas. En segundo lugar, se requiere de expertos en la creación de software de monitoreo.

6.8. Socios clave

Uno de los socios claves, y quizás el principal, es el proveedor de paneles solares fotovoltaicos. Si bien estos pueden ser comprados en varios puntos de venta (físicos, por internet, etc.) a un precio muy bajo, se recomienda tener un mismo proveedor que asegure una buena calidad del producto, con el cual se pueda negociar el precio y, en ocasiones, la demora en la entrega del producto, dado que la compra online puede significar meses de espera.

Otro socio clave es el proveedor que tenga a un equipo externo que haga la instalación de los paneles solares y el sistema de almacenamiento de energía, ya que no es conveniente tener a un equipo interno para este trabajo por ser de duración muy corta.

6.9. Estructura de costos

Este proyecto se divide en dos grandes etapas: La primera, es la etapa en la que se extrae la batería, se analiza su estado de salud (SoH) y posteriormente es almacenada para su próximo uso. En segundo lugar, se encuentra la instalación del sistema de almacenamiento de energía solar.

1. Primera etapa: Almacenamiento de la batería

El proceso de almacenamiento de energía comienza en la etapa de revisión del estado de salud de la batería de vehículo eléctrico para ver si es que sirve para este proyecto, y termina con un análisis del estado de salud previo al segundo uso de la batería, con el final de asegurar su viabilidad en el proyecto. A continuación, se realiza un desglose con los costos involucrados.

Tabla 11: Costos asociados al almacenamiento de la batería

| Proceso | Costo [USD/pack de batería] |
|--|------------------------------------|
| Prueba e inspección del estado de salud de la batería para ver su viabilidad y posterior almacenamiento [32] | 662 |
| Desmontaje del pack de batería [32] | 111 |
| Prueba e inspección del estado de salud de la batería para su uso final [32] | 662 |
| Transporte al sistema de almacenamiento de energía [32] | 15.56 |

Fuente: D. Durán, «Estudio para la reutilización de baterías de coches eléctricos para nuevas aplicaciones en segunda vida,» Barcelona, 2017.

2. Segunda etapa: Sistema de almacenamiento de energía.

Esta etapa se divide en dos grandes sistemas que finalmente se integran para poder dar un funcionamiento real al proyecto. En primer lugar, se consideran los costos del sistema de paneles fotovoltaicos y, en segundo lugar, los costos del sistema de almacenamiento de energía a través de batería de ion litio.

a. Sistema de paneles fotovoltaicos

Los principales costos involucrados en un sistema solar fotovoltaico son: La inversión (materias primas), la instalación, y la operación y mantenimiento (O&M).

Se estima que, en promedio, el costo inicial (inversión e instalación) es de 1.365 USD/kW en Chile, pero esta cifra depende de muchos factores, por lo que es conveniente realizar un cálculo detallado de estos ítems de acuerdo al contexto de las condiciones ambientales. Por otra parte, se estima que el costo por operación y mantenimiento sería aproximadamente el 20-25% de la inversión e instalación. En la Tabla 12 se presenta un análisis detallado de los costos involucrados.

Tabla 12: Costos asociados a la instalación de un sistema fotovoltaico [33]

| Proceso | Costo |
|--|---|
| Inversión e instalación | |
| <i>Hardware:</i> | |
| <i>Módulo fotovoltaico, inversor, cableado, conexión a la red, monitoreo y control. estanterías y montaje, seguridad y protección.</i> | |
| <i>Instalación</i> | |
| <i>Instalación eléctrica, inspección e instalación mecánica</i> | |
| <i>Otros costos</i> | |
| <i>Adquisición del cliente, costos de financiamiento, aplicación de incentivo, margen, permiso, diseño de sistemas.</i> | |
| | 1.365 USD/kW en promedio [33] |
| Operación y mantenimiento | 20-25% del costos de inversión e instalación total [33] |

Fuente: Renewable Power Generation Costs in 2017, International Renewable Energy Agency

b. Sistema de almacenamiento – batería ion litio

Los principales costos que involucran a los packs de batería ion litio son la inversión, la instalación y, finalmente, la operación y mantenimiento. Hay que entender que no basta con tener los packs de baterías, si no que también es necesario crear conexiones e instalar sistemas que monitoreen el estado, con el fin de lograr identificar a tiempo posibles fallas en el sistema. En la siguiente tabla se muestra el detalle de los costos involucrados en el sistema de almacenamiento.

Tabla 13: Costos asociados a la instalación de un sistema de almacenamiento con baterías de litio

| Proceso | Costo |
|---|---|
| Inversión Baterías ion litio | Por calcular |
| Inversión Sistema de gestión de baterías (BMS) Sistema de gestión de temperatura (BMS), cableado, inversor bidireccional Protección eléctrica, tablero eléctrico, canalizadores. | 110 USD/kWh [34] |
| Instalación | 5% del costos de inversión [35] |
| Operación y mantenimiento | 1,5% del costo de inversión por año [35] |

Fuente: Lithium-ion battery cost analysis in PV-household application, Elsevier, 2015

Es importante destacar la importancia de instalar un sistema de monitoreo para el sistema de almacenamiento, es decir, un BMS y un TMS que regule tanto las baterías como la temperatura del sistema. Si los packs de baterías están constantemente siendo monitoreados, será posible identificar inmediatamente si es que algo está fallando, logrando anticiparse a un problema mayor, solucionándolo inmediatamente.

7. Estimación del precio de la batería

Para poder ver si es que este tipo de proyectos es rentable, es necesario conocer el precio de venta de la batería de litio usada, es decir, el precio al cual el dueño del vehículo eléctrico le venderá la batería usada al proyecto. Para ello se evaluarán económicamente las alternativas de uso de esta batería, con el fin de evitar la utilización de electricidad de horario punta y disminuir los costos para las empresas.

Para lograr realizar la evaluación económica, en primer lugar se definirá la inversión, los costos, la vida útil y la depreciación involucrados para todas las tecnologías que se podrían utilizar. Posteriormente se realizará la evaluación económica de estas opciones y finalmente se determinará cuál es la mejor y en qué momento.

7.1. Inversión, costos, proyecciones, vida útil y depreciación para cada tecnología

7.1.1. Tecnología de donde se obtendrá energía

a) Conexión directa a la corriente eléctrica

- **Inversión y costos**

En este caso, el costo involucrado es solamente el del consumo de electricidad, ya que toda la infraestructura está instalada desde antes y los costos de operación vienen dados por el gasto en el consumo energético y por potencia cuando se utiliza electricidad.

En el caso de la hora punta, el costo viene dado el Cargo por energía [\$/kWh] y por el Cargo por demanda máxima de potencia contratada o leída en horas de punta [\$/kW/mes].

En el caso de la hora normal, el costo viene dado por un costo de Administración (Cargo fijo mensual AT4.1/AT4.2/AT4.3 [\$/kWh]), Transporte de electricidad (Cargo por uso del sistema de transmisión [\$/kWh] y Cargo por servicio público [\$/kWh]) y la Electricidad consumida (Cargo por energía [\$/kWh])

Tabla 14: Tarifas de suministro eléctrico promedio para CGE

| Tarifas de suministro eléctrico | Promedio |
|---|-----------------|
| Cargo fijo mensual AT4.1/AT4.2/AT4.3 [\$/kWh] | 1461,8 |
| Cargo por uso del sistema de transmisión [\$/kWh] | 16,18 |
| Cargo por servicio público [\$/kWh] | 0,62 |
| Cargo por energía [\$/kWh] | 78,19 |
| Cargo por demanda máxima de potencia contratada o leída en horas de punta [\$/kW/mes] | 6.589,43 |

Fuente: Datos obtenidos desde CGE, Tarifas de suministro, Septiembre 2018

b) Paneles fotovoltaicos

- **Inversión y costos**

La información sobre la inversión y costos se encuentra en el punto 6.9 Estructura de costos.

- **Vida útil paneles fotovoltaicos**

La vida útil de un sistema fotovoltaico corresponde a 25 años. El panel fotovoltaico sufre una degradación de entre un 0,2% a un 0,5% anual. [36]

7.1.2. Tecnología que almacena la energía

a) Batería de litio nueva

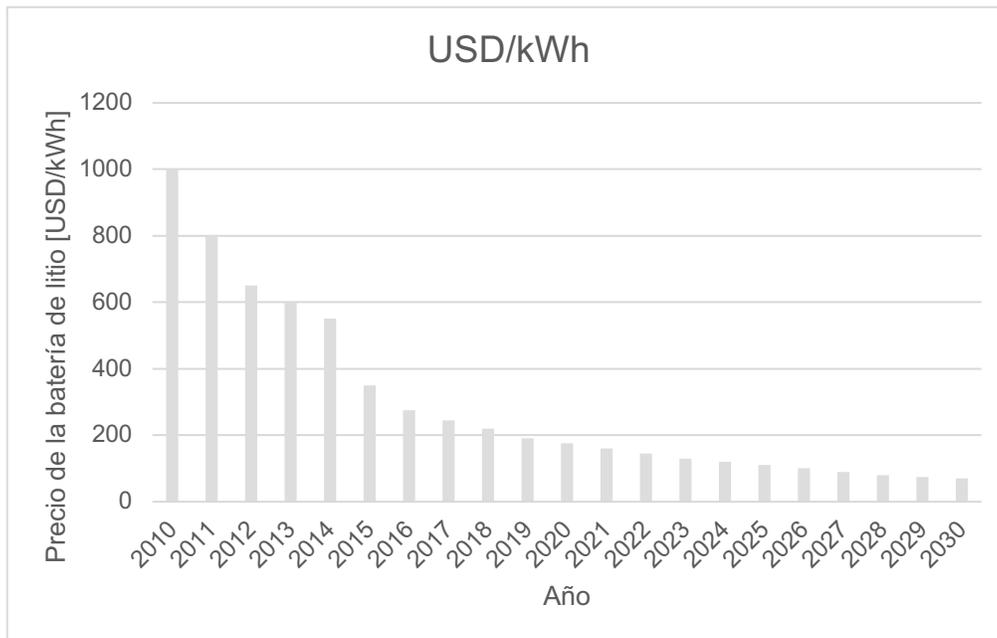
- **Inversión y costos**

Los costos involucrados con esta tecnología son iguales a los definidos en el punto 6.9, con la diferencia del precio inicial de la batería que, para este caso, es mayor, ya que su capacidad será del 100% al comenzar a utilizar. Para esto, es necesario hacer un estudio de las proyecciones de precio de las baterías de ion litio nuevas.

- **Proyección del precio de las baterías de ion litio**

El precio de las baterías de ion litio actualmente tiene un valor de 220 USD/kWh, tendiendo a la baja, alcanzando un valor de 100 USD/kWh en el año 2026.

Tabla 15: Proyección de precio de la batería de litio (USD/kWh)



Fuente: Bloomberg New Energy Finance

- **Vida útil**

Como se explicó anteriormente, se espera que una batería de ion litio tenga una vida útil de 8 años (2920 ciclos) en un vehículo eléctrico para llegar al 80% de su capacidad y 10 años (3650 ciclos) en una segunda vida útil, correspondiente a una aplicación estacionaria. [37]

Según estudios [38], los 18 años de vida útil aplicarían para soluciones estacionarias, en donde el uso de energía sea constante, mientras que para el caso de baterías utilizadas en vehículos eléctricos, el envejecimiento sería mucho más rápido en la primera vida útil, teniendo una duración de 5 años, por lo que la vida total sería de 15 años.

Por otra parte, cuando la batería pasa a su segundo uso, se espera que el desvanecimiento de su capacidad sea lineal, pero a una tasa menor que en el periodo anterior, alcanzando una pérdida de capacidad del 15%

al décimo año de su segunda vida, es decir, la batería tendría un 65% en el fin de su vida útil. [37]

b) Batería de litio usada

- **Inversión y costos**

La inversión y los costos involucrados con esta tecnología son iguales a los definidos en el punto 6.9. Además se debe agregar la inversión realizada por el desmontaje del pack de batería del vehículo eléctrico y las pruebas de inspección respectivas para saber el estado de salud de la batería (también se encuentra en el punto 6.9).

- **Proyección del precio de las baterías de ion litio**

Misma que en el punto a).

- **Vida útil**

Misma que en el punto a).

7.2. Cálculo de la tasa de descuento

Para cada uno de los proyectos que será comparado, se una tasa de descuento diferente según el riesgo involucrado en cada uno de ellos:

- Sistema de paneles fotovoltaicos con almacenamiento en baterías de litio nuevas: Para este caso no existe una tasa de descuento pre establecida, por lo que es necesario calcularla mediante el método de CAPM, debido a que se trata de un proyecto particular que requiere de una inversión, y no de una empresa consolidada que existe en la actualidad. Para esto, se utilizaron los siguientes datos:

Tabla 16: Cálculo de R_m para sistema de almacenamiento con baterías nuevas

| | |
|--------------|---------|
| S&P 500 2018 | 2740,69 |
| S&P 500 2008 | 896,24 |
| Porcentaje | 206% |

Fuente: Datos obtenidos de Yahoo Finance

- R_m : Se utiliza el precio del índice de Estados Unidos S&P 500 del año 2008 y del 2018. Posteriormente se estima el valor de R_m , dando como resultado un 11,83%.
- R_f : Este valor es obtenido del tesoro de Estados Unidos, utilizando la tasa de interés de mercado a 10 años para octubre del 2018.
- Betas: Por último, dado que se trata de un proyecto relacionado con energía renovables, se utiliza el beta relacionado con Energías verdes y Renovables. [39]
- R_p : Por último, es necesario calcular el premio por riesgo en Chile, con el fin de aplicar la cantidad asumida por riesgo nacional en el CAPM calculado. En este caso, en valor es de 0,7%. [40]

Tabla 17: Datos para el cálculo de la tasa de descuento (CAPM) para el sistema de almacenamiento con batería nueva

| | |
|-----------------------------|--------|
| R_m | 11,83% |
| R_f | 3,09% |
| B Energía verde y renovable | 1,2 |
| R_p | 0,70% |
| Baterías usadas | 14,27% |

Finalmente, la tasa de descuento calculada es de 14,27%

- Sistema de paneles fotovoltaicos con almacenamiento en baterías de litio usadas: En teoría, la tasa de descuento debería ser la misma que la calculada en el punto anterior, ya que el proyecto es básicamente el mismo. Pero es necesario considerar que, en este caso, se corre un riesgo mucho mayor, ya que no existe conocimiento del comportamiento de la segunda vida de una batería de ion litio. Es por esto que se considerará una tasa de descuento del 20% para evaluar los proyectos que la utilicen.

7.3. Determinación del precio de la batería de litio usada en 1 kW para hora punta

Para conocer el precio de la batería de ion litio usada previamente en un vehículo eléctrico, se evalúan económicamente distintos escenarios de la utilización de ésta: En primer lugar, un proyecto en donde se obtiene energía solar para transformarla en energía eléctrica, en donde el financiamiento es a partir de capital propio (sin crédito), en segundo lugar el mismo caso anterior pero con financiamiento a partir de un crédito, en tercer lugar un proyecto en donde se obtiene energía eléctrica de la red y se cargan las baterías en horario no punta, en donde el financiamiento es a partir de capital propio (sin crédito) y en cuarto lugar el mismo caso anterior pero con financiamiento a partir de un crédito. Para los escenarios en los que el financiamiento es apoyado por un crédito, se considera que éste cubre el 80% de la inversión total [41] y que la tasa de interés es del 10% anual⁶. Estas evaluaciones se realizan para estimar la rentabilidad de 1 kW utilizados durante las 5 horas que contempla la hora punta.

Esta evaluación lo que busca es calcular los ahorros generados por el cambio de tecnología en horario punta, es decir, se compara el costo que involucra utilizar directamente electricidad en hora punta con utilizar energía solar almacenada en baterías. Para todos estos casos se calcula el precio de la batería para el que comienza a ser rentable el negocio, es decir, se define que el VAN es 0 y se obtiene el precio máximo de la batería. Para aquellos casos en que el precio es negativo, se calcula el VAN cuando la disposición a pagar por parte del proyecto es 0.

⁶ Este valor es calculado a partir de varias simulaciones de crédito de consumos.

Finalmente, y solo en el caso en que los proyectos sean rentables, se calcula el precio de la batería usada para el caso en el que la rentabilidad es igual al uso de la batería nueva, por lo que es necesario realizar el mismo procedimiento anterior pero con la batería nueva para posteriormente igualar el Valor Actual Neto de ambos y obtener el precio de la batería.

Con el fin de realizar cálculos más realistas, se realizarán distintos análisis de sensibilidad para los casos en los que sea necesario.

- **Uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito.**

En primer lugar, se evaluará el proyecto que contempla el uso de paneles fotovoltaicos para transformar energía solar en energía eléctrica, y el uso de baterías de ion litio usadas para almacenar energía y posteriormente ser utilizada en horario punta. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo D*.

A continuación se muestran los resultados de esta evaluación.

Tabla 18: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con VAN=0 USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional | | 246,74 | 247,66 | 248,48 | 249,20 | 249,85 | 250,43 | 250,94 | 251,39 | 251,79 | 252,15 |
| Flujo Caja de Capitales | -1524,73 | | | | | | | | | | 905,87 |
| Flujo Total | -1524,73 | 246,74 | 247,66 | 248,48 | 249,20 | 249,85 | 250,43 | 250,94 | 251,39 | 251,79 | 1158,02 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con VAN=0 USD/kWh.

| | |
|--------------------------------|---------|
| Van | 0,00 |
| Tasa de descuento | 14% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | -153,03 |

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que el precio de la batería es negativo, lo que significaría que el dueño del vehículo tendría que pagarle al proyecto por entregar su batería, lo que no implica un beneficio para el usuario del proyecto y preferiría desecharla.

Dado lo anterior, se estima cuál sería el VAN del proyecto si es que el precio de la batería fuera 0 (es decir, ésta fuera donada por su dueño al proyecto).

A continuación se muestran los resultados de esta evaluación. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo E*.

Tabla 20: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con precio de la batería igual a 0 USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional | | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 |
| Flujo Caja de Capitales | -2289,89 | | | | | | | | | | 864 |
| Flujo Total | -2289,89 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 1119,02 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh.

| | |
|--------------------------------|---------|
| Van | -652,99 |
| Tasa de descuento | 14% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que el VAN es negativo, lo que implica que el proyecto no es rentable en ninguna medida.

- **Uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito.**

Considerando los resultados de la parte anterior, se procede a evaluar el proyecto solicitando un crédito a un banco de un porcentaje del 80% de la inversión y una tasa de interés anual del 10%. La evaluación se realiza considerando que la batería de ion litio usada fue donada al proyecto. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo F*.

Tabla 22: Tabla de pago para el crédito para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito en USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Préstamo | 860 | 769 | 669 | 560 | 439 | 306 | 160 | |
| Intereses | | 86 | 77 | 67 | 56 | 44 | 31 | 16 |
| Amortización | | 91 | 100 | 110 | 121 | 133 | 146 | 160 |

| | | | | | | | | |
|-------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Cuota | | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 |
|-------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito en USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional | | 127,56 | 140,99 | 155,77 | 172,03 | 189,91 | 209,58 | 231,22 | 255,02 | 255,02 | 255,02 |
| Flujo Caja de Capitales | -424,88 | -179,14 | -197,05 | -216,76 | -238,43 | -262,28 | -288,50 | -317,35 | | | 810 |
| Flujo Total | -424,88 | -51,58 | -56,06 | -60,98 | -66,40 | -72,36 | -78,92 | -86,13 | 255,02 | 255,02 | 1065,02 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh.

| | |
|--------------------------------|---------|
| Van | -372,91 |
| Tasa de descuento | 20% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Dado los resultados, se puede apreciar que el proyecto sigue sin ser rentable, por lo que se descarta de manera definitiva la utilización de un sistema fotovoltaico para obtener energía solar y transformarla en eléctrica

- **Análisis de sensibilidad para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito.**

Dado los resultados, se puede apreciar que el proyecto sigue sin ser rentable, por lo que se estudia el caso en que la inversión por implementar paneles fotovoltaicos disminuya. Para esto, se realiza un análisis de sensibilidad que considera la inversión por paneles fotovoltaicos y el VAN del proyecto, considerando que el precio de la batería sigue siendo 0.

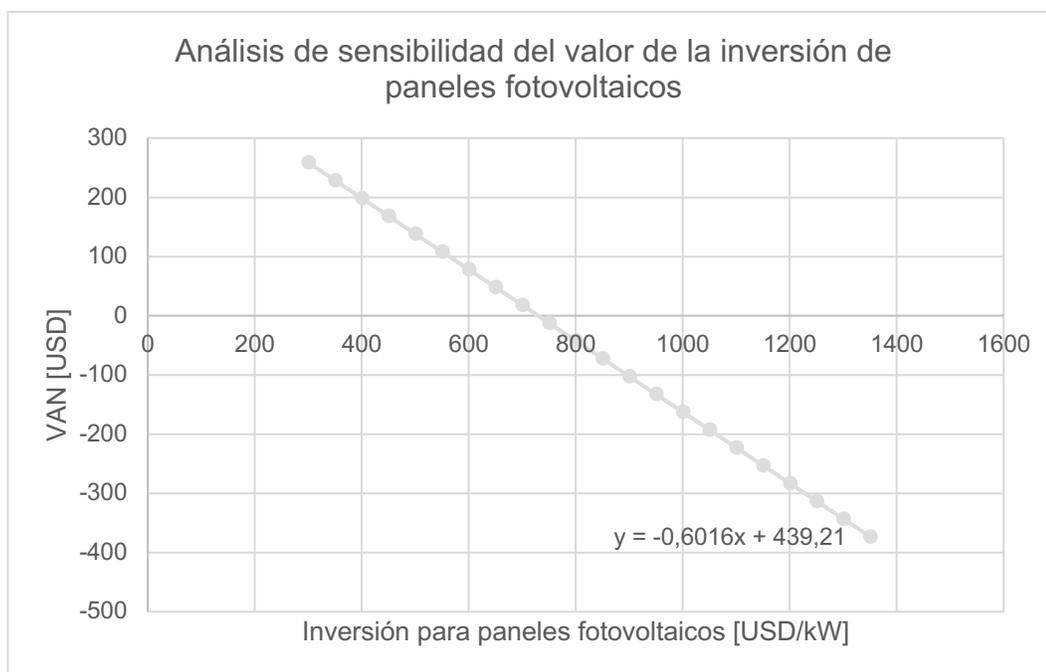


Ilustración 1: Análisis de sensibilidad para el cambio en el valor de la inversión de paneles fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración propia

El proyecto comienza a ser rentable cuando la inversión por los paneles fotovoltaicos es de 730,07 USD/kW, lo que implica que el valor de la inversión por paneles tendría que bajar un 54% para que el VAN sea igual a 0, considerando que el precio por la batería usada es también 0.

- **Uso de batería usada cargadas en la red eléctrica sin crédito.**

Dado los resultados anteriores, se decide evaluar la opción de dejar de lado la utilización de paneles fotovoltaicos y conectar las baterías directamente a la red para ser cargadas y posteriormente utilizar esa energía en horario punta. Se evalúa para qué precio de batería comienza a ser rentable el proyecto.

A continuación se muestran los resultados de esta evaluación. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo G*.

Tabla 25: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito en USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Flujo de Caja Operacional | | 47,68 | 47,37 | 47,10 | 46,85 | 46,64 | 46,44 | 46,27 | 46,12 | 45,98 | 45,86 |
| Flujo Caja de Capitales | -1017,93 | | | | | | | | | | |
| Flujo Total | -1017,93 | 47,68 | 47,37 | 47,10 | 46,85 | 46,64 | 46,44 | 46,27 | 46,12 | 45,98 | 45,86 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh.

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Van | -558,93 |
| Tasa de descuento | 14,27% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que, para este escenario, el proyecto no es rentable. Es conveniente realizar la evaluación económica para el caso en que se solicita un crédito para poder verificar si es que en ese caso lo es.

- **Uso de batería usada cargadas en la red eléctrica con crédito.**

En este punto se realizará el mismo procedimiento que en el punto anterior, pero considerando esta vez que se solicitará un crédito para el 80% de la inversión del proyecto a una tasa del 10% anual.

A continuación se muestran los resultados de esta evaluación. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo H*.

Tabla 27: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito en USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Préstamo | 598 | 535 | 465 | 389 | 305 | 213 | 112 | |
| Intereses | | 60 | 53 | 47 | 39 | 31 | 21 | 11 |
| Amortización | | 63 | 69 | 76 | 84 | 92 | 101 | 112 |
| Cuota | | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito USD/kWh.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Flujo de Caja Operacional | | 0,06 | 4,79 | 9,99 | 15,70 | 21,99 | 28,91 | 36,52 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Flujo Caja de Capitales | -149,43 | -63,00 | -69,30 | -76,23 | -83,86 | -92,24 | -101,47 | -111,61 | | | |
| Flujo Total | -149,43 | -62,94 | -64,51 | -66,25 | -68,15 | -70,25 | -72,55 | -75,09 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 0 USD/kWh.

| | |
|---------------------------------|---------|
| Van | -364,97 |
| Tasa de descuento | 14% |
| Precio de la batería USD/kWh | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Si bien se producen menos pérdidas al utilizar esta alternativa, el negocio sigue no siendo rentable, debido a la gran inversión y a los altos costos de operación y mantenimiento que se deben realizar, obteniendo un valor actual neto de -364,97 cuando el precio de la batería es 0 USD/kWh.

De los resultados anteriores se puede concluir que este tipo de proyectos no es rentable al utilizar una batería de litio usada, aunque esta tenga valor 0, ya que se requiere de todas formas una alta inversión en infraestructura, instalación, desmontaje y chequeo del estado de salud de la batería.

8. Evaluación económica para un caso real en la agroindustria

A pesar de que en el punto anterior se estima que este negocio no es rentable, de todas formas se hará una evaluación para analizar si es posible realizar este proyecto para este caso en particular. Es por esto que se considera que el precio de la batería de litio usada es 0 [CLP/kWh].

8.1. Datos utilizados para la evaluación en caso real

Para la evaluación económica en caso real, la empresa agroindustrial con la que se trabajará es de la industria frutícola y se encuentra ubicada en la ciudad de Linares. En específico, se solicitaron datos de las cámaras frigoríficas que existen en la planta: Existe un sistema centralizado que es de mayor tamaño y 12 sistemas independientes. A continuación se detallará la potencia total para cada uno de los sistemas.

Tabla 30: Potencia sistemas independientes

| Descripción | Cantidad de equipos | Potencia por equipo kW | Potencia kW Total |
|----------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|
| Compresores | 2 | 37 | 74 |
| Evaporadores | 64 | 1 | 64 |
| Condensador con ventilador | 1 | 4,5 | 4,5 |
| Bomba de agua condensador | 1 | 3,735 | 3,735 |
| Bomba deshielo | 1 | 5,6025 | 5,6025 |
| Iluminación | 1 | 0,4 | 0,4 |
| TOTAL | | | 152,2375 |

Fuente: Datos obtenidos desde empresa agroindustrial

Tabla 31: Potencia sistema centralizado

| Descripción | Cantidad de equipos | Potencia por equipo kW | Potencia kW total |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|
| Compresores de tornillo | 3 | 110 | 330 |
| Evaporadores | 2 | 200 | 400 |
| Condensador | 5 | 10 | 50 |
| Cámaras con ventiladores (22) | 1 | 624 | 624 |
| Bombas NH3 | 1 | 7,47 | 7,47 |

| | | | |
|----------------------|---|--------------|-----------------|
| Bombas agua | 1 | 5,6025 | 5,6025 |
| Bombas agua deshielo | 1 | 5,6025 | 5,6025 |
| Iluminación | 1 | 0,75 | 0,75 |
| Túneles pre-frío (9) | 1 | 250 | 250 |
| | | TOTAL | 1673,425 |

Fuente: Datos obtenidos desde empresa agroindustrial

En este caso particular, se realizará el análisis para uno de los 12 sistemas independientes, considerando que si la evaluación económica es rentable, entonces podría ser replicada para una mayor cantidad de sistemas. Por otra parte, se desconoce el perfil de consumo de la empresa, por lo que se considera que el proyecto debe ser capaz de soportar en todo momento los 152,24 [kW], con el fin de evitar algún problema mayor a la empresa si es que por algún motivo necesitan utilizar la potencia completa.

Para realizar el flujo de caja, se acudió a la plataforma “Explorador Solar” para identificar cuánta energía solar llega al punto en el que se encuentra ubicada la planta, con el fin de determinar con el software “HOMER Energy” cuántos paneles solares será necesario instalar para suplir toda la demanda energética, cuántas baterías y cuántos inversores. Para la inversión y costos de operación y mantenimiento faltantes, se utilizaron los datos recolectados anteriormente. Se consideró que el tipo de cambio de dólar a peso chileno es de 630 CLP. Por otra parte, para conocer el costo por electricidad, se acudió a las “Tarifas de suministro eléctrico” de CGE, buscando específicamente los datos relacionados a la ciudad de Linares.

Finalmente, se utilizaron las siguientes cotizaciones para realizar la evaluación económica, considerando que el software “HOMER Energy” arrojó que, dadas las condiciones atmosféricas de la zona en la que se va a realizar el proyecto, se requiere instalar 3252 paneles fotovoltaicos de 250 [W] de potencia y 80 inversores de 3000 [W]. Los paneles solares serán ubicados en el techo de las instalaciones ya que, en total, existe un área disponible de 17.000 [m²]

Tabla 32: Cotización panel solar fotovoltaico

| | |
|-----------------|---|
| Página | http://www.digishop.cl/Listaprecios.php |
| Nombre | Panel solar fotovoltaico 250W monocristalino 60celdas 1640x992x35mm |
| Precio unitario | \$ 92.000 CLP |
| Potencia (W) | 250 |
| Total | \$ 552.000.000 CLP |

| | |
|------|----------------|
| Tipo | Monocristalino |
|------|----------------|

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Cotización inversores

| | |
|-----------------|---|
| Página | http://www.kuhn.cl/webstore/energiasolar/fotovoltaica/inversores-offgrid.html |
| Nombre | Codigo 73104856 |
| Precio unitario | \$ 354.608 |
| Potencia (W) | 3000 |
| Total | \$ 177.304.000 |
| Tipo | Onda Sinusoidal Pura |

Fuente: Elaboración propia

8.2. Evaluación económica en caso real

8.2.1. Uso de paneles fotovoltaicos y batería usada

En primer lugar, se evalúa un proyecto que genere energía eléctrica a partir de la solar mediante paneles fotovoltaicos y que use una batería en su segunda vida de litio para almacenarla.

De los resultados obtenidos en la evaluación para conocer el precio de la batería usada, es intuitivo pensar que para un caso real no existirá rentabilidad. Pero como esta vez se trabaja con un caso particular en donde la inversión y costos involucrados puede diferir un poco según el clima que existe en la zona, de todas formas se analizará si es que el VAN será mayor o igual a 0, considerando que el precio de la batería es 0.

- **Sin crédito**

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación sin crédito. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo I*.

Tabla 34: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, sin crédito, para un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -482,175 | | | | | | | | | | 196,532 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -482,175 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 25,092 | 221,624 |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, sin crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 0 CLP.

| | |
|---------------------------|--------------|
| VAN [CLP] | -345.234.965 |
| Tasa de descuento | 20,00% |
| Precio batería CLP/kWh | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Tal como se intuía, el negocio continúa no siendo rentable para un precio de batería de 0 a una tasa de descuento del 20%.

Se analizará el caso con crédito para comprobar la misma teoría anterior.

- **Con crédito**

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación con crédito. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo J*.

Tabla 36: Tabla de pago para el crédito para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito, en un caso real en CLP.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Préstamo | 385.739.938 | 345.080.827 | 300.355.805 | 251.158.281 | 197.041.004 | 137.512.000 | 72.030.095 | |
| Intereses | | 38.573.994 | 34.508.083 | 30.035.580 | 25.115.828 | 19.704.100 | 13.751.200 | 7.203.010 |
| Amortización | | 40.659.111 | 44.725.022 | 49.197.524 | 54.117.277 | 59.529.004 | 65.481.905 | 72.030.095 |
| Cuota | | 79.233.105 | 79.233.105 | 79.233.105 | 79.233.105 | 79.233.105 | 79.233.105 | 79.233.105 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, con crédito, para un caso real.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|---------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | -9,484 | -5,419 | -0,946 | 3,973 | 9,384 | 15,337 | 21,886 | 29,09 | 29,09 | 29,089 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -96,434 | -40,659 | -44,725 | -49,197 | -54,117 | -59,529 | -65,481 | -72,030 | | | 196,532 |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -96,434 | -50,144 | -50,144 | -50,144 | -50,144 | -50,144 | -50,144 | -50,144 | 29,09 | 29,09 | 225,621 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, con crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 0 CLP.

| | |
|--------------------------|--------------|
| VAN [CLP] | -228.341.830 |
| Tasa de descuento | 20,00% |
| Precio batería [USD/kWh] | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Si bien se puede ver que las pérdidas son menores, sigue siendo un negocio que no es rentable, a pesar de que el precio de la batería sea 0.

8.2.2. Uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva

En segundo lugar, se evalúa un proyecto que genere energía eléctrica a partir de la solar mediante paneles fotovoltaicos y que use una batería de litio nueva para almacenarla.

- **Sin crédito**

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación sin crédito, cuando el precio de la batería es de 220 [USD/kWh]. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo K*.

Tabla 39: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | 28,022 | 27,697 | 27,407 | 27,150 | 26,921 | 26,718 | 26,537 | 26,377 | 26,234 | 26,107 | |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -568,769 | | | | | | | | | | 196,532 |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -568,769 | 28,022 | 27,697 | 27,407 | 27,150 | 26,921 | 26,718 | 26,537 | 26,377 | 26,234 | 222,639 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, sin crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 220 CLP.

| | |
|--------------------------|--------------|
| VAN [CLP] | -376.902.621 |
| Tasa de descuento | 14,27% |
| Precio batería [USD/kWh] | 220 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que este escenario no es rentable, por lo que es necesario evaluar el mismo escenario pero con crédito.

Por otra parte, se realiza el mismo análisis, pero considerando la proyección de la batería al año 2030, que sería de 70 [USD/kWh]. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo L*

Tabla 41: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 70 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | 28,022 | 27,697 | 27,407 | 27,150 | 26,921 | 26,718 | 26,537 | 26,377 | 26,234 | 26,107 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -496,835 | | | | | | | | | | 196,532 |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -496,835 | 28,022 | 27,697 | 27,407 | 27,150 | 26,921 | 26,718 | 26,537 | 26,377 | 26,234 | 222,639 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, sin crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 70 USD.

| | |
|--------------------------|--------------|
| VAN [CLP] | -376.902.621 |
| Tasa de descuento | 14,27% |
| Precio batería [USD/kWh] | 70 |

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que el precio de la batería nueva es más bajo, se puede apreciar que este negocio aún no es rentable.

- **Con crédito**

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación con crédito. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo M*.

Tabla 43: Tabla de pago para el crédito para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva con crédito, en un caso real en CLP.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Préstamo | 385.739.938 | 338.363.428 | 288.618.094 | 236.385.493 | 181.541.261 | 123.954.818 | 63.489.053 | |
| Intereses | | 19.286.997 | 16.918.171 | 14.430.905 | 11.819.275 | 9.077.063 | 6.197.741 | 3.174.453 |
| Amortización | | 47.376.509 | 49.745.335 | 52.232.601 | 54.844.231 | 57.586.443 | 60.465.765 | 63.489.053 |
| Cuota | | 66.663.506 | 66.663.506 | 66.663.506 | 66.663.506 | 66.663.506 | 66.663.506 | 66.663.506 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, con crédito, para un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | -16,412 | -11,616 | -6,340 | -0,537 | 5,846 | 12,868 | 29,089 | 29,089 | 29,089 | 29,089 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -113,753 | -47,961 | -52,757 | -58,032 | -63,836 | -70,219 | -77,241 | -84,966 | | | 196,532 |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -113,753 | -64,373 | -64,373 | -64,373 | -64,373 | -64,373 | -64,373 | -55,876 | 29,089 | 29,089 | 225,621 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Tabla 34: Resultados de la evaluación económica para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva, con crédito, para un caso real, con un precio de la batería igual a 220 CLP.

| | |
|--------------------------|--------------|
| VAN [CLP] | -305.999.998 |
| Tasa de descuento | 20,00% |
| Precio batería [USD/kWh] | 220 |

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, los resultados de la evaluación económica muestran que este escenario tampoco es rentable en la actualidad. Se decide realizar un análisis de sensibilidad según la tendencia de los precios de las batería de litio en el futuro, para analizar si es que en el futuro este escenario si es rentable.

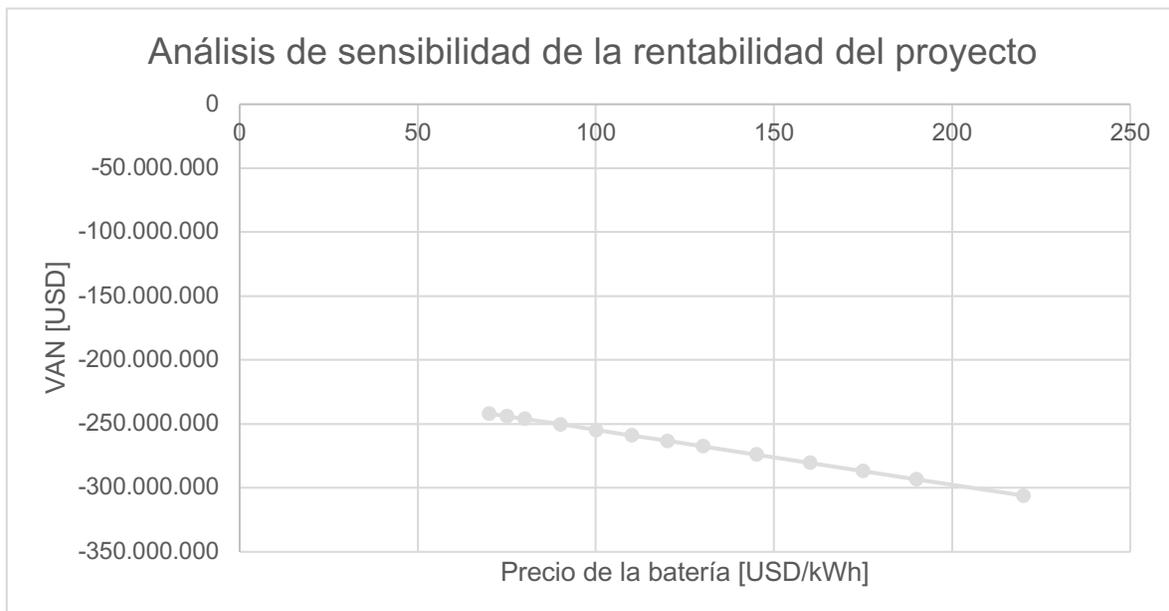


Ilustración 2: Análisis de sensibilidad de la rentabilidad del proyecto cambiando el precio de la batería de litio, para el uso de paneles fotovoltaicos y batería de ion litio nueva.

Fuente: Elaboración propia

Si bien la rentabilidad mejora a medida que pasan los años y el precio de la batería disminuye, no es suficiente, por lo que no sería rentable este tipo de proyectos para el futuro.

8.2.3. Uso de electricidad de la red y batería usada

Se plantea una nueva alternativa, que es dejar de lado los paneles fotovoltaicos por su alta inversión, y utilizar directamente a electricidad de la red en horario no punta para cargar la batería.

En primer lugar, se realiza el análisis para una batería usada sin utilizar un crédito. Se estima que el precio de la batería es 0 nuevamente.

- **Sin crédito**

Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo N*.

Tabla 46: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -76,934 | | | | | | | | | | |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -76,934 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 | 5,100 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, con un precio de la batería igual a 0 CLP, para un caso real.

| | |
|--------------------------|-------------|
| VAN [CLP] | -55.552.945 |
| Tasa de descuento | 20,00% |
| Precio batería [USD/kWh] | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que existe una mejora en la rentabilidad al compararlo con los proyectos anteriores, pero aún así no es suficiente para que el proyecto sea rentable, por lo que se evalúa la opción de solicitar un crédito.

- **Con crédito**

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación económica pidiendo un crédito. Detalles del flujo de caja se encuentran en el Anexo O.

Tabla 48: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real en CLP.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Préstamo | 61.547.368 | 55.059.937 | 47.923.763 | 40.073.971 | 31.439.200 | 21.940.953 | 11.492.880 | |
| Intereses | | 6.154.737 | 5.505.994 | 4.792.376 | 4.007.397 | 3.143.920 | 2.194.095 | 1.149.288 |
| Amortización | | 6.487.431 | 7.136.174 | 7.849.792 | 8.634.771 | 9.498.248 | 10.448.073 | 11.492.880 |
| Cuota | | 12.642.168 | 12.642.168 | 12.642.168 | 12.642.168 | 12.642.168 | 12.642.168 | 12.642.168 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | 0,484 | 0,970 | 1,506 | 2,094 | 2,742 | 3,454 | 4,238 | 5,100 | 5,100 | 5,100 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -15,387 | -6,487 | -7,136 | -7,850 | -8,635 | -9,498 | -10,448 | -11,493 | | | |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -15,387 | -6,004 | -6,166 | -6,344 | -6,540 | -6,756 | -6,994 | -7,255 | 5,100 | 5,100 | 5,100 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 0 CLP, para un caso real.

| | |
|--------------------------|-------------|
| VAN [CLP] | -35.582.014 |
| Tasa de descuento | 20,00% |
| Precio batería [USD/kWh] | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que efectivamente hay una mejora en la rentabilidad, pero aún no es suficiente para que el proyecto sea rentable, por lo que a continuación se analiza el mismo escenario que el actual, pero utilizando batería nueva.

8.2.4. Uso de electricidad de la red y batería nueva

- Sin crédito

A continuación, se presentan los resultados para este escenario sin crédito. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo* **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 51: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -163,528 | | | | | | | | | | 15,253 |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -163,528 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 16.053 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real.

| | |
|--------------------------|-------------|
| VAN [CLP] | -86.757.483 |
| Tasa de descuento | 14,27% |
| Precio batería [USD/kWh] | 220 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que no existe rentabilidad para este caso tampoco, por lo que se analiza la opción de pedir un crédito.

Por otra parte, se realiza el mismo análisis, pero considerando la proyección de la batería al año 2030, que sería de 70 [USD/kWh]. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo* Q.

Tabla 53: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ CLP Millones) | | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ CLP Millones) | -91,595 | | | | | | | | | | 86,320 |
| Flujo Total (\$ CLP Millones) | -91,595 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 6,799 | 93,119 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real.

| | |
|-------------------|-------------|
| VAN [CLP] | -33.768.343 |
| Tasa de descuento | 14,27% |

| | |
|--------------------------|----|
| Precio batería [USD/kWh] | 70 |
|--------------------------|----|

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que el precio de la batería nueva es más bajo, se puede apreciar que este negocio aún no es rentable.

- **Con crédito**

A continuación, se presentan los resultados para este escenario con crédito para una batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh]. Detalles del flujo de caja se encuentran en el *Anexo R*.

Tabla 55: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Préstamo | 130.822.877 | 117.033.426 | 101.865.030 | 85.179.795 | 66.826.036 | 46.636.901 | 24.428.853 | |
| Intereses | | 13.082.288 | 11.703.343 | 10.186.503 | 8.517.979 | 6.682.604 | 4.663.690 | 2.442.885 |
| Amortización | | 13.789.451 | 15.168.396 | 16.685.235 | 18.353.759 | 20.189.135 | 22.208.048 | 24.428.853 |
| Cuota | | 26.871.738 | 26.871.738 | 26.871.738 | 26.871.738 | 26.871.738 | 26.871.738 | 26.871.738 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|---------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ Millones) | | -6,282 | -4,903 | -3,386 | -1,718 | 0,117 | 2,136 | 4,357 | 6,799 | 6,799 | 6,799 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ Millones) | -32,705 | -13,789 | -15,168 | -16,685 | -18,353 | -20,189 | -22,208 | -24,428 | | | 158,253 |
| Flujo Total (\$ Millones) | -32,705 | -20,071 | -20,071 | -20,071 | -20,071 | -20,071 | -20,071 | -20,071 | 6,799 | 6,799 | 165,053 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 220 USD/kWh, para un caso real.

| | |
|--------------------------|---------------|
| VAN [CLP] | -70.212.462,4 |
| Tasa de descuento | 14,27% |
| Precio batería [USD/kWh] | 220 |

Fuente: Elaboración propia

Tampoco se puede ver en este caso un escenario rentable, por lo que se analiza qué es lo que se espera que pase en algunos años más, considerando la proyección de la batería al año 2030, que sería de 70 [USD/kWh]. Detalles del flujo de caja se encuentran en el Anexo S.

Tabla 58: Tabla de pagos para el evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Préstamo | 73.276.157 | 65.552.447 | 57.056.366 | 47.710.677 | 37.430.419 | 26.122.135 | 13.683.023 | |
| Intereses | | 7.327.616 | 6.555.245 | 5.705.637 | 4.771.068 | 3.743.042 | 2.612.214 | 1.368.302 |
| Amortización | | 7.723.710 | 8.496.081 | 9.345.689 | 10.280.258 | 11.308.284 | 12.439.112 | 13.683.023 |
| Cuota | | 15.051.326 | 15.051.326 | 15.051.326 | 15.051.326 | 15.051.326 | 15.051.326 | 15.051.326 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Flujo de caja operacional, de capitales y total para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Flujo de Caja Operacional (\$ Millones) | | -0,527 | 0,244 | 1,094 | 2,028 | 3,056 | 4,187 | 5,431 | 6,799 | 6,799 | 6,799 |
| Flujo Caja de Capitales (\$ Millones) | -18,319 | -7,723 | -8,496 | -9,345 | -10,280 | -11,308 | -12,439 | -13,683 | | | 86,320 |
| Flujo Total (\$ Millones) | -18,319 | -8,251 | 6,799 | 6,799 | 93,119 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Resultados de la evaluación económica para el uso de baterías nuevas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de la batería igual a 220 USD/kWh, para un caso real.

| | |
|--------------------------|-------------|
| VAN [CLP] | -24.501.191 |
| Tasa de descuento | 14,27% |
| Precio batería [USD/kWh] | 70 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que el escenario tampoco es rentable, por lo que finalmente se define que este tipo de soluciones, con estas condiciones, no es rentable.

9. Discusión

No existe certeza alguna de que la implementación de esta tecnología vaya a funcionar en el futuro ya que, en la actualidad, son pocas las baterías de vehículos eléctricos que deben ser desechadas y que puedan ser utilizadas en una segunda vida. Además, no existen las suficientes pruebas empíricas que asegure una vida útil de éstas baterías y que su capacidad y funcionamiento sean los óptimos para ser utilizadas en un sistema de almacenaje de energía, por el motivo descrito anteriormente. Por otra parte, todos los análisis realizados anteriormente son en base a extrapolación y teorías, dando cuenta de que probablemente este tipo de soluciones sea factible. Por último, se espera que las baterías que serán creadas en un futuro, con características mejores que las que existen actualmente, efectivamente sean capaces de ser utilizadas en un segundo uso, asegurando una factibilidad de este tipo de proyectos.

A continuación, se presenta un resumen con los resultados expuestos anteriormente:

Tabla 61: Resumen de la evaluación económica del uso de panel fotovoltaico con batería usada a un precio de 0 [USD/kWh]

| | Sin crédito | Con crédito |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| VAN (CLP) | -345.234.965 | -228.341.830 |
| Tasa de descuento | 20% | 20% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 0 | 0 |
| Inversión (CLP) | 482.174.922 | 96.434.984 |
| Crédito (CLP) | - | 385.739.938 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Resumen de la evaluación económica del uso de panel fotovoltaico con batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh]

| | Sin crédito | Con crédito |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| VAN (CLP) | -376.902.620 | -305.999.997 |
| Tasa de descuento | 14,27% | 14,27% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 220 | 220 |
| Inversión (CLP) | 568.769.308 | 113.753.862 |
| Crédito (CLP) | - | 455.015.446 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63: Resumen de la evaluación económica del uso de panel fotovoltaico con batería nueva a un precio de 70 [USD/kWh]

| | Sin crédito | Con crédito |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| VAN (CLP) | -304.969.220 | -241.766.767 |
| Tasa de descuento | 14,27% | 14,27% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 70 | 70 |
| Inversión (CLP) | 496.835.908 | 99.367.182 |
| Crédito (CLP) | - | 397.468.726 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Resumen de la evaluación económica de la conexión directa a la red para cargar la batería usada de un precio de 0 [USD/kWh]

| | Sin crédito | Con crédito |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| VAN (CLP) | -55.552.945 | -35.581.053 |
| Tasa de descuento | 20% | 20% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 0 | 0 |
| Inversión (CLP) | 76.934.210 | 15.386.842 |
| Crédito (CLP) | - | 61.547.368 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: Resumen de la evaluación económica de la conexión directa a la red para cargar la batería nueva de un precio de 220 [USD/kWh]

| | Sin crédito | Con crédito |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| VAN (CLP) | -86.757.482 | -70.212.462 |
| Tasa de descuento | 14,27% | 14,27% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 220 | 220 |
| Inversión (CLP) | 163.528.596 | 32.705.719 |
| Crédito (CLP) | - | 130.822.877 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Resumen de la evaluación económica de la conexión directa a la red para cargar la batería nueva de un precio de 70 [USD/kWh]

| | Sin crédito | Con crédito |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| VAN (CLP) | -33.768.343 | -24.501.191 |
| Tasa de descuento | 14,27% | 14,27% |
| Precio de la batería (USD/kWh) | 70 | 70 |
| Inversión (CLP) | 91.595.196 | 18.319.039 |
| Crédito (CLP) | - | 73.276.157 |

Fuente: Elaboración propia

Si bien los resultados muestran que este proyecto no presenta rentabilidad ni hoy ni en el futuro para ninguno de las opciones expuestas debido a los altos montos en la inversión, probablemente esto no sea del todo correcto, ya que se utilizaron muchos supuestos y rangos de precio para estimar estos valores.

1. Sistema de almacenamiento con batería nueva

En este caso se considera que el precio de un sistema fotovoltaico se conserva en el tiempo (la evidencia muestra que los precios de los módulos fotovoltaicos aún están bajando su valor, aunque la tasa de baja en los costos no es tan grande), y que la tasa correspondiente a los costos de instalación, operación y mantenimiento se mantienen siempre igual, sin considerar que puedan existir nuevas tecnologías que logren disminuir esos costos. Por otra parte, los costos de inversión, que no incluyen los paneles fotovoltaicos, también se consideran constantes, lo que podría ser diferente a lo que ocurre en la realidad. Esto también podría provocar grandes cambios en los resultados obtenidos.

2. Sistema de almacenamiento con batería usada

Mismo caso que en el punto anterior, agregando que, debido al envejecimiento de la batería, probablemente el costo por mantenimiento debería ser superior al descrito de manera teórica para una batería nueva, ya que existe más probabilidad de falla de ésta, por lo que se debe ser más cuidadoso. Además, no existe certeza de que la batería durará toda la vida útil teórica, por lo que probablemente sea necesario uno o más reemplazos durante la ejecución del proyecto. Para poder determinar de mejor manera esta evaluación económica, se requiere conocer una tasa de falla de batería en segunda vida útil, para la cuál es necesario realizar pruebas empíricas que la determinen, por lo que actualmente no se obtiene ese valor hasta que exista una cantidad suficiente de batería de segundo uso.

Por otra parte, se considera constante el costo por la prueba e inspección de estado de salud de la batería, el desmontaje del vehículo eléctrico y el transporte al sistema de almacenamiento, lo que puede traer consecuencias en los resultados esperados, debido a que, así como la batería de litio, la máquina que realiza la prueba de inspección del estado de salud de la batería puede bajar su precio de mercado, logrando que el costo por este servicio se reduzca. Además, los costos anteriores son en un contexto europeo, más

bien en Barcelona, España; por lo que existe la posibilidad que difieran a los precios que deberían ser en Chile.

Por otra parte, existe una discusión en cuanto a la utilización del banco completo de batería para este tipo de proyectos, o si es necesario desarmarla y hacer una prueba e inspección para cada una de las celdas. En el primer caso, se corre el riesgo de tener celdas que disminuyen considerablemente el rendimiento de todo el banco de baterías y que, si fueran retiradas, se obtendría un rendimiento mucho mayor. En el segundo caso, efectivamente se obtiene un banco de celdas mucho más eficiente, pero el problema principal es que este procedimiento es lento e inseguro, ya que desarmar la batería entera y luego inspeccionar cada celda podría tardar horas, poniendo en riesgo a las personas que realizan esta labor, por riesgo de explosiones e incendios. Es por esto que se toma la decisión de realizar el análisis en el primer caso, pero es necesario realizar a futuro estudios que determinen la mejor alternativa entre ambas para poder utilizar esta batería en un sistema de almacenamiento.

10. Conclusiones

Las cifras muestran que el mercado mundial presenta una fuerte alza en cuanto a la electromovilidad, y en Chile se espera que el alza sea de 10 veces respecto a fines del año 2017. Por otra parte, los precios de estas tecnologías bajarán en el tiempo mientras que su autonomía y características propias irán mejorando, haciendo un escenario propicio para el aumento de la movilidad eléctrica, lo que hace necesario los proyectos de 2da vida útil de baterías para disminuir los niveles de desechos en el futuro.

En cuando a la evaluación económica realizada anteriormente, se puede ver que utilizar la batería de ion litio en su segunda vida útil con costo 0 para almacenar energía a partir de uso de paneles fotovoltaicos y posteriormente ser usada en horario punta, da como resultado un VAN de -345.234.965 CLP en el caso de no pedir un crédito y -228.341.830 CLP en el caso de pedir un crédito de un 80% de la inversión con una tasa de interés anual del 10%. Lo anterior se debe principalmente a que la inversión inicial es muy alta (452.728.277 CLP), y no se recupera para el horizonte de 10 años del proyecto. Al analizar lo que ocurre al utilizar la conexión directa a la red en vez de paneles fotovoltaicos para almacenar energía en las baterías en horario no punta, para posteriormente utilizar la energía en horario punta, el resultado es un VAN de -55.552.945 CLP en el caso de no pedir crédito y -35.581.053 CLP en el caso de pedir crédito. Al igual que en el caso anterior, la razón principal es que la inversión no logra recuperarse en el periodo de 10 años del horizonte del proyecto.

Por otra parte, al realizar un análisis de los mismos escenarios anteriores pero utilizando una batería de litio nueva, se aprecia que tampoco existe rentabilidad ya que, en el escenario más optimista, en donde el precio de la batería es de 70 [USD/kWh] para el año 2030, la energía se obtiene directamente a la red y se solicita un crédito, el VAN es de -24.501.191 CLP, siendo la razón principal que la inversión es mayor a los que se puede recuperar en el horizonte de tiempo del proyecto.

En conclusión, para el caso particular de este trabajo de título, este tipo de proyectos no es rentable en ninguno de los escenarios expuestos. Esto se debe principalmente a que la compra e instalación de un sistema de baterías y/o fotovoltaicos es mucho más costoso de lo que se puede ahorrar en el tiempo. Considerando lo anterior, es necesario realizar análisis de sensibilidad para verificar si es que factores externos al precio de la batería podrían lograr que este tipo de proyectos se rentable. En particular, al realizar un análisis de sensibilidad para ver si es que al disminuir la inversión por paneles solares lograría hacer rentable el

proyecto, se concluye que ésta debería disminuir un 54% su valor actual, lo que se considera posible dado los avances tecnológicos que existen hoy en día.

Por otra parte, al realizar el análisis de sensibilidad para evaluar qué sucedería en el futuro dada la baja en el precio de la batería de ion litio nueva, tampoco se presentan mayores cambios y el proyecto sigue siendo no rentable, si es que no hay una baja en el precio de los otros factores.

A esto se suma que existen muchos factores que podrían proporcionar una falla en la rentabilidad de este tipo de proyectos, como que la vida útil de la batería no sea la deseada, envejecimiento acelerado de la batería, entre otros. Por lo tanto, es ideal realizar una serie de pruebas empíricas antes de arriesgarse con este tipo de proyectos y comenzar a reciclar las baterías de estos vehículos. Para esto, es necesario esperar a que exista una cantidad mayor de vehículos eléctricos a nivel mundial. Por otra parte, las baterías de vehículos eléctricos que existan en el futuro tendrán características superiores a las que existen en la actualidad, por lo que es probable que la factibilidad del almacenamiento de energía con batería sea mayor a la actualidad.

Finalmente, podría ser conveniente realizar una evaluación social para determinar si es que de esa forma es rentable este tipo de proyectos, o evaluarlo para lugares en los que obtener electricidad es difícil o derechamente imposible. También se podría considerar como opción realizar una evaluación del impacto ambiental generado por cada uno de los escenarios presentados anteriormente y, a partir de ahí, analizar cuál es el que generaría un menor impacto ambiental, para que se tome la decisión desde ese punto de vista de cuál es la mejor alternativa de implementación.

Bibliografía

- [1] C. N. d. Energía, «Tarificación,» [En línea]. Available: <https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/calificacion-instalaciones-de-transmision/>.
- [2] C. Distribución, «Tarifas,» [En línea]. Available: <http://www.cgedistribucion.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/>.
- [3] E. Distribución, «Tarifas,» [En línea]. Available: <https://www.eneldistribucion.cl/tarifas>.
- [4] B. d. C. N. d. Chile, «ESTABLECE MECANISMOS DE EQUIDAD EN LAS TARIFAS DE SERVICIOS ELÉCTRICOS,» 22 06 2016. [En línea]. Available: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1091871&buscar=equidad+tarifaria+residencial>.
- [5] B. d. C. N. d. Chile, «FIJA FÓRMULAS TARIFARIAS APLICABLES A LOS SUMINISTROS SUJETOS A PRECIOS REGULADOS QUE SE SEÑALAN, EFECTUADOS POR LAS EMPRESAS CONCESIONARIAS DE DISTRIBUCIÓN QUE SE INDICAN,» 24 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1106886>.
- [6] E. distribución, «Informacion de Utilidad Tarifas y Reglamentos Tarifas Ajuste Tarifario Límite de Invierno Generación Distribuida - Net Billing Ley de Condominios Servicios en línea Tienda Enel Centro de Ayuda Noticias Generación Distribuida - Net Billing,» [En línea]. Available: <https://www.eneldistribucion.cl/net-billing>.
- [7] C. Verde, «Sistema Net Billing: el nuevo panorama en Chile,» [En línea]. Available: <http://codexverde.cl/sistema-net-billing-nuevo-panorama-chile/>.
- [8] Acesol, «Guía para Usuarios del Net Billing,» [En línea]. Available: https://www.acesol.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=42:gu%C3%ADa-para-usuarios-del-net-billing&catid=2:pages&Itemid=101.
- [9] M. Hitt, D. I. y R. H. , Administración Estratégica, 2011.
- [10] M. Loughran, «Depreciation methods,» de *Intermediate accounting for dummies*, Paperback, 2012, p. 384.
- [11] M. d. T. y. T. M. d. M. A. Ministerio de Energía, «Estrategia de electromovilidad en Chile,» Santiago de Chile, Agosto 2017.
- [12] M. d. Energía, «Ruta Energética 2018-2022,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2018/05/rutaenergetica2018-2022.pdf>.

- [13] E. Moraga, «Los desafíos de la ley espejo del transantiago (Corregido),» *La Tercera*, 02 Febrero 2018.
- [14] M. d. T. y. Telecomunicaciones y S. d. Transportes, «Modifica la ley nº 20.378 que crea un subsidio nacional al transporte público remunerado de pasajeros, incrementando los recursos del subsidio y creando el fondo de apoyo regional (far),» 30 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1054189>. [Último acceso: 2018].
- [15] Transantiago, «Comienza histórica operación de los primeros buses eléctricos de Transantiago,» 14 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.transantiago.cl/noticias/comienza-historica-operacion-de-los-primeros-buses-electricos-de-transantiago>. [Último acceso: 2018].
- [16] L. Tercera, «El plan que busca convertir a Chile en el segundo país con más buses eléctricos del mundo,» *La Tercera*, 24 06 2018.
- [17] B. Mundial, «PIB per cápita (US\$ a precios actuales),» 2018. [En línea]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD>.
- [18] S. Viñuela, «Baterías para coche eléctrico: precios,» 24 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.autobild.es/noticias/baterias-para-coche-electrico-precios-313261>.
- [19] V. Fuentes, «El Nissan LEAF se suma al uso de baterías recicladas a mitad de precio, pero sólo en Japón,» 04 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/nissan/el-nissan-leaf-se-suma-al-uso-de-baterias-recicladas-a-mitad-de-precio-pero-solo-en-japon>.
- [20] G. I. Index, «Global Innovation Index,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>.
- [21] B. University, «BU-702: How to Store Batteries,» 04 04 2017. [En línea]. Available: http://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/how_to_store_batteries. [Último acceso: 04 07 2018].
- [22] B. University, «BU-1003: Electric Vehicle (EV),» 08 02 2018. [En línea]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev.
- [23] D. Myall, D. I. W. L. M. N. y H. M. , «Accelerated reported battery capacity loss in 30 kWh variants of the Nissan Leaf,» 2018.
- [24] C. Technica, «Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last?,» 31 05 2016. [En línea]. Available: <https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/>.
- [25] L. Tercera, «<http://www.latercera.com/nacional/noticia/plan-busca-convertir-chile-segundo-pais-mas-buses-electricos-del-mundo/219064/>,» 24 06 2018.

- [En línea]. Available: <http://www.latercera.com/nacional/noticia/plan-busca-convertir-chile-segundo-pais-mas-buses-electricos-del-mundo/219064/>. [Último acceso: 30 06 2018].
- [26] D. Financiero, «No sólo buses: ahora adjudican 60 radiotaxis eléctricos para operar en la Región Metropolitana,» 03 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.df.cl/noticias/empresas/energia/no-solo-buses-ahora-adjudican-60-radiotaxis-electricos-para-operar-en/2018-07-03/135208.html>. [Último acceso: 05 07 2018].
- [27] E. Moraga, «Los cinco autos eléctricos más vendidos en 2017,» *La Tercera*, 25 Enero 2018.
- [28] Emol, «De Chile al mundo: Exportadores de frutas frescas acumulan envíos por cerca de 900 mil toneladas,» 19 02 2018. [En línea]. Available: <http://www.emol.com/noticias/Economia/2018/02/19/895716/De-Chile-al-mundo-Exportadores-de-frutas-frescas-acumulan-envios-por-cerca-de-900-mil-toneladas.html>.
- [29] Emol, «Más allá del cobre: ¿Cuáles son los productos que más exporta Chile?,» 11 01 2018. [En línea]. Available: <http://www.emol.com/noticias/Economia/2018/01/11/890741/Mas-alla-del-cobre-Conoce-los-productos-que-mas-exporta-Chile.html>.
- [30] A. C. A.G., «ANESCO CHILE A.G.,» [En línea]. Available: <http://www.anescochile.cl/esco/>.
- [31] E. E. y. I. E. e. Chile, «Anesco Chile,» [En línea]. Available: http://old.acee.cl/576/articles-62066_recurso_7.pdf.
- [32] D. Durán, «Estudio para la reutilización de baterías de coches eléctricos para nuevas aplicaciones en segunda vida,» Barcelona, 2017.
- [33] I. R. E. Agency, «Renewable Power Generation Costs in 2017,» 2018.
- [34] A. Hawkes, A. G. O. S. y I. S. , The future cost of electrical energy storage based on experience rates, *Nature Energy*, 2017.
- [35] M. N. R. C. K. C. N. T. A. J. y H. C. H. , «Lithium-ion battery cost analysis in PV-household application,» Elsevier, 2015.
- [36] M. d. E. y. G. Chile, «Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, programa techos solares públicos,» Santiago de Chile, 2016.
- [37] L. A. M. F. S. B. Y. R. A. F. B. G. y S. B. W. , Energy efficiency of Li-ion battery packs re-used in stationary power applications, Ontario, Canadá, 2014.
- [38] «A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems».
- [39] «Betas by Sector (US),» 2018. [En línea]. Available: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html.

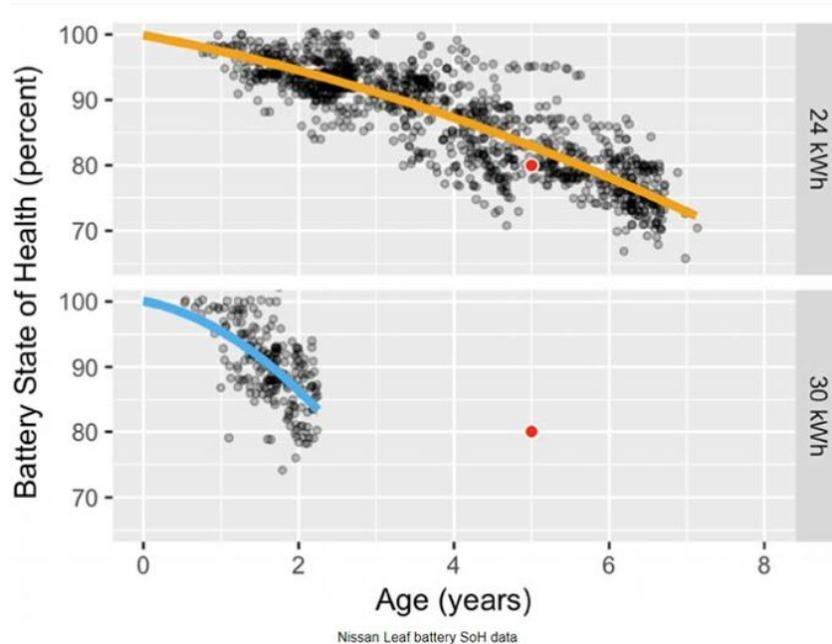
- [40] Damodaran, «<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>,» [En línea].
- [41] B. Estado, «Proyectos de eficiencia energética,» [En línea]. Available: https://www.bancoestado.cl/imagenes/_pequenas-empresas/productos/financiamiento/proyectos-eficiencia-energetica.asp.
- [42] B. University, «Types of battery cells,» [En línea]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells.
- [43] U. E. I. A. EIA, «Annual Energy Outlook 2018, Table: Petroleum and Other Liquids Prices,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2018®ion=0-0&cases=ref2018&start=2016&end=2050&f=A&linechart=ref2018-d121317a.3-12-AEO2018~ref2018-d121317a.32-12-AEO2018&map=&ctype=linechart&sourcekey=0>.
- [44] M. d. E. Centro de energías renovables, «Energías Renovables, Tipos Disponibles y Aplicaciones en la Agricultura,» La Serena, 2013.
- [45] B. C. d. Chile, «Tasas de interés de mercado,» 2018. [En línea]. Available: <https://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>.
- [46] «¿En qué consiste la economía circular?,» 2028. [En línea]. Available: <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/>.

Anexos

A. Estudios sobre las proyecciones de vida útil de baterías de litio en su segunda vida

El primer estudio [38] es realizado en la ciudad de Ontario, Canadá, considerando un paquete de baterías de iones de litio con química celular del cátodo LiFePO_4 y el ánodo de grafito, como el utilizado en los buses eléctricos de la marca BYD. Este estudio indica que una batería de litio dura aproximadamente 8 años en un vehículo eléctrico hasta alcanzar una capacidad del 80% y que, posteriormente, puede ser reutilizada en una aplicación estacionaria (Ahmadi et al., 2014a, b; Heymans et al., 2014), teniendo una vida útil de 10 años más (Ahmadi et al. 2014a, b), como lo es el almacenamiento de energía. Estas suposiciones se basan en las garantías de los fabricantes de estos vehículos y el fundamento técnico de que la duración es de 10 años en una solución estacionaria es que las baterías, en el caso de almacenamiento, se encuentran en entornos más controlados, en donde se puede gestionar cuidadosamente la carga de potencia, el clima, la profundidad de descarga y otros tipos de factores que podrían influir en el desgaste del rendimiento de la batería.

El segundo estudio es realizado en baterías de autos del modelo Nissan Leaf fabricados en el año 2011 [38], los modelos de autos más vendidos en el mercado nacional e internacional, siendo en el año 2011 cuando por primera vez llegaron a Chile, además de ser el año en el que se comenzaron a fabricar. El estudio indica que el rendimiento de una batería de 24 kWh de este modelo de vehículo fabricado entre el año 2011 y 2017 disminuye un 20% aproximadamente a los 5 años, mientras que las baterías de 30 kWh pierden la misma capacidad en un intervalo de tiempo mucho menor (aproximadamente 2 años), como se muestra en el siguiente gráfico.



Por otra parte, no existen estudios que avalen el tiempo de duración de este tipo de baterías una vez que sean retirados del servicio de vehículos eléctricos.

Debido a todos los estudios anteriores, se considera que la incertidumbre en cuanto a la duración de las baterías es demasiado alta, por lo que es necesario hacer una evaluación que contemple tres escenarios: Uno pesimista, uno base y otro optimista. Para el caso pesimista, se tomará como duración de la batería una cantidad de 5 años, asimilándolo con un Nissan Leaf. Para el caso base, se considera que la cantidad de años es de 8, como lo muestra el primer estudio. Finalmente, para el caso optimista, se considera una cantidad de 10 años de duración de la batería, debido al argumento presentado en el primer estudio.

B. Celdas de baterías de ion litio [42]

1. Celdas cilíndricas

Son las más utilizadas en el caso de las baterías primarias y secundarias. Tesla utiliza este formato de celdas, más específicamente solía utilizar el modelo 18650, caracterizado por ser la más optimizada, con menor costo por Wh y por sus buenos registros de confiabilidad. Pero desde finales del 2016 se la escasez de estas baterías para satisfacer la creciente demanda de vehículos eléctricos.

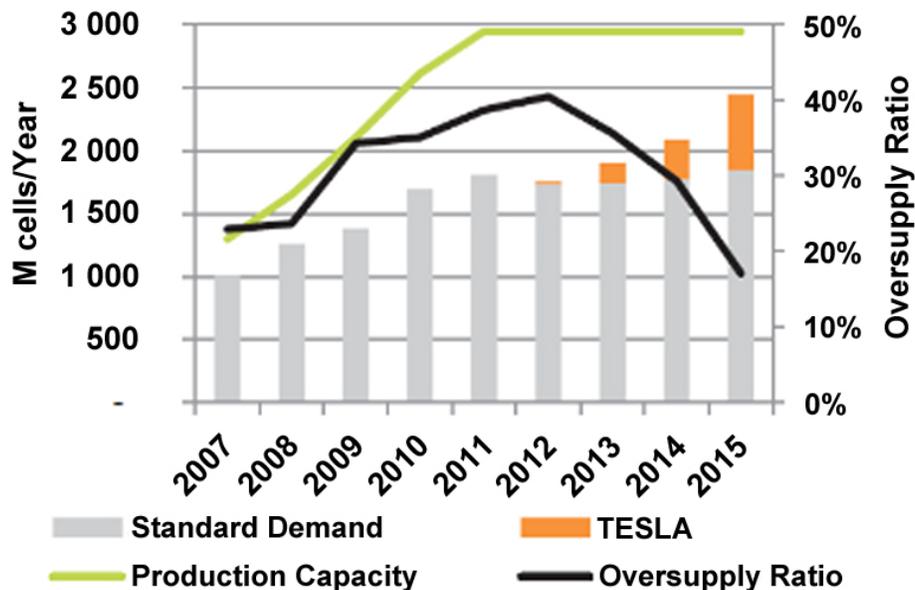


Figura 3: Demanda y suministro del 18650.

Tesla decidió cambiarse al modelo 217000, caracterizada por ser “la celda de mayor densidad en energía, que es también la más económica”.

Ventajas

- Fácil fabricación
- Buena estabilidad mecánica, por lo que someterlas a altas presiones internas no logra deformarlas tan fácilmente (por lo que son mucho más seguras).
- Buena capacidad de ciclado
- Larga vida útil
- Económica

Desventajas

- Baja densidad de empaquetamiento debido a las cavidades espaciales.

Aplicaciones típicas

- Herramientas eléctricas
- Instrumentos médicos
- Computadores portátiles
- Bicicletas eléctricas

2. Pila de botón

Se caracteriza por tener un diseño compacto en dispositivos portátiles en la década de 1980. A continuación una foto de este tipo de celdas.

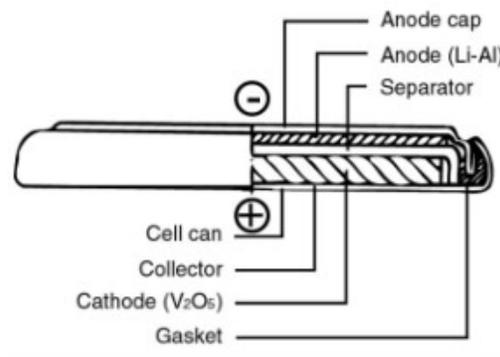


Figura 4: las celdas de botón proporcionan un tamaño pequeño, la mayoría son primarias para el uso de una sola celda.

Fuente: Sanyo y Panasonic

Ventajas

- Pequeña
- Económica

Desventajas

- Hinchazón si se carga demasiado rápido
- No posee ventilación de seguridad

Aplicaciones típicas

- Teléfonos inalámbricos

- Dispositivos médicos
- Relojes
- Audífonos
- Llaves de automóviles
- Copia de seguridad de memorias

3. Celdas prismáticas

Son las de tamaño más delgado. Hacen uso óptimo de espacio, utilizando el enfoque de capas. No existe un formato universal y cada fabricante diseña el suyo.

Ventajas

- Mejora la utilización del espacio
- Diseño flexible
- Permite algo de hinchazón

Desventajas

- Costosa
- Menos eficiente en el manejo térmico
- Ciclo de vida más corto que el diseño cilíndrico

Aplicaciones típicas

- Teléfonos móviles
- Tablets
- Computadores portátiles de bajo perfil
- Trenes de potencia eléctricos
- Vehículos híbridos y eléctricos

4. Celdas Pouch

Con una forma completamente diferente y radical, la celda Pouch se caracteriza porque las lenguetas de aluminio conductoras se soldaron a los electrodos y se llevaron al exterior de una manera completamente sellada. Cada fabricante hace su propio diseño de este tipo de celdas.

Ventajas

- Simple
- Flexible
- Ligera
- Permite altas corrientes de carga, pero funciona mejor bajo condiciones de carga ligera y moderada

Desventajas

- Se hinchan con facilidad
- Más costosa que la cilíndrica

Aplicaciones típicas

- Drones
- Dispositivos de pasatiempo
- Almacenamiento de energía

C. Paneles solares fotovoltaicos

Los tipos de paneles solares que existen se clasifican según la cantidad de silicio que contienen. Si la cantidad de silicio es mayor, entonces la transformación de energía solar a energía eléctrica es mejor.

Los tipos de paneles solares son los siguientes:

1. Panel solar fotovoltaico monocristalino de silicio: Se caracterizan por ser los que contienen el silicio más puro, por lo que son los paneles más potentes y eficientes que existen en el mercado, además de los más costosos y los con mayor vida útil (pueden llegar hasta los 25 años). Este tipo paneles funcionan mejor en condiciones de poca luz, ya que sus celdas son capaces de captar mucho mejor la energía solar. El problema de este tipo de paneles es que la suciedad, la nieve o la sombra puede causar que su circuito se averíe, aunque esté parcialmente cubierto. En este tipo de casos, se recomienda emplear micro inversores en vez de inversores centrales para transformar la energía solar en corriente alterna, ya que la conexión no es en serie, lo que permite que, en caso de que algún panel no reciba luz, el resto del sistema pueda seguir adquiriendo energía solar del resto de los paneles.
2. Panel solar fotovoltaico policristalino de silicio: Se caracteriza por poseer silicio, pero no es tan puro como en el caso anterior, por lo que son menos eficientes. Por lo tanto, para abarcar la misma cantidad de energía solar, se requiere una mayor cantidad de espacio para poder instalar más de estos paneles. Por otro lado, este tipo de paneles es más sensible al calor que el anterior, por lo que no son tan resistentes a temperaturas muy altas, afectando su vida útil, además de no ser capaces de captar tanta energía como si hubiese una temperatura normal.

3. Panel fotovoltaico de capa fina: Este es el panel fotovoltaico más utilizado en las casas por ser el más económico de los tres. Su fabricación es más sencilla, lo que no lo hace tan eficiente ya que el silicio que se utiliza no es tan puro como en los casos anteriores, convirtiéndolo en el panel con menor potencia de los tres tipos. Son flexibles y adaptable a diversas superficies, pero requiere de una gran cantidad de espacio para producir la misma energía que en los casos anteriores. Por otra parte, este tipo de panel es muy costoso de instalar, pero, a pesar de eso, sigue siendo el más económico. Por último, tiende a degradarse de manera muy rápida, por lo que los fabricantes ofrecen menor garantía.

D. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con VAN=0

| USD | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----|----------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | Ahorros | | 352,03 |
| | Costo O&M | | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Paneles | | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 |
| | Baterías | | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| | Beneficio Neto | | 322 |
| | Depreciación panel | | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| | Depreciación batería | | -33,14 | -29,45 | -26,18 | -23,27 | -20,69 | -18,39 | -16,34 | -14,53 | -12,91 | -11,48 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Utilidad | | 301 | 297 | 294 | 291 | 289 | 286 | 284 | 283 | 281 | 280 |
| | Impuesto | | 75,3 | 74,4 | 73,6 | 72,8 | 72,2 | 71,6 | 71,1 | 70,6 | 70,2 | 69,9 |
| | Ut después Imp | | 225,87 | 223,11 | 220,66 | 218,48 | 216,54 | 214,81 | 213,28 | 211,92 | 210,71 | 209,63 |
| | Depreciación panel | | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| | Depreciación batería | | -33,14 | -29,45 | -26,18 | -23,27 | -20,69 | -18,39 | -16,34 | -14,53 | -12,91 | -11,48 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Flujo de Caja Operacional | | 246,74 | 247,66 | 248,48 | 249,20 | 249,85 | 250,43 | 250,94 | 251,39 | 251,79 | 252,15 |
| | Inversión | | | | | | | | | | | |
| | Paneles | 1350 | | | | | | | | | | |
| | Baterías | 174,7317 | | | | | | | | | | |
| | Flujo Caja de Capitales | -1524,732 | | | | | | | | | | 905,87 |
| | Flujo Total | -1524,73 | 246,74 | 247,66 | 248,48 | 249,20 | 249,85 | 250,43 | 250,94 | 251,39 | 251,79 | 1158,02 |

E. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada sin crédito con precio de la batería 0.

| USD | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----|-----------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Ahorros | | 352,03 |
| | Costo O&M | | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Paneles | | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 |
| | Baterías | | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| | Beneficio Neto | | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 |
| | Depreciación panel | | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| | Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Utilidad | | 268 | 268 | 268 | 268 | 268 | 268 | 268 | 268 | 268 | 268 |
| | Impuesto | | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 | 67,0 |
| | Ut después Imp | | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 | 201,02 |
| | Depreciación panel | | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| | Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Flujo de Caja Operacional | | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 |
| | Inversión | | | | | | | | | | | |
| | Paneles | 1350 | | | | | | | | | | |
| | Baterías | 939,89 | | | | | | | | | | |
| | Flujo Caja de Capitales | -2289,89 | | | | | | | | | | 864,00 |
| | Flujo Total | -2289,89 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 255,02 | 1119,02 |

F. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito y precio de batería 0.

| USD | Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|-----------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Ahorros | | 352,03 |
| | Costo O&M | | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Paneles | | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 |
| | Baterías | | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| | Beneficio Neto | | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 | 322 |
| | Depreciación panel | | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| | Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Intereses | | 170 | 152 | 132 | 111 | 87 | 61 | 32 | | | |
| | Utilidad | | 98 | 116 | 136 | 157 | 181 | 207 | 236 | 268 | 268 | 268 |
| | Impuesto | | 24,5 | 29,0 | 33,9 | 39,3 | 45,3 | 51,9 | 59,1 | 67,0 | 67,0 | 67,0 |
| | Ut después Imp | | 73,56 | 86,99 | 101,77 | 118,03 | 135,91 | 155,58 | 177,22 | 201,02 | 201,02 | 201,02 |
| | Depreciación panel | | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| | Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Flujo de Caja Operacional | | 127,56 | 140,99 | 155,77 | 172,03 | 189,91 | 209,58 | 231,22 | 255,02 | 255,02 | 255,02 |
| | Inversión | | | | | | | | | | | |
| | Paneles | 1350 | | | | | | | | | | |
| | Baterías | 774,39 | | | | | | | | | | |
| | Crédito (+) | 1.700 | | | | | | | | | | |
| | Amortizaciones | | 179 | 197 | 217 | 238 | 262 | 289 | 317 | | | |
| | Flujo Caja de Capitales | | -179 | -197 | -217 | -238 | -262 | -289 | -317 | | | 810,00 |
| | Flujo Total | | -51,58 | -56,06 | -60,98 | -66,40 | -72,36 | -78,92 | -86,13 | 255,02 | 255,02 | 1065,02 |

G. Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, con un precio de batería igual a 0.

| USD | Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|-----------------------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Ahorros | | 352,03 |
| | Costo O&M | | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 |
| | Electricidad | | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 |
| | Baterías | | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| | Beneficio Neto | | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | Depreciación Electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Utilidad | | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | Impuesto | | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| | Ut. después Imp | | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |
| | Depreciación Electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Flujo de Caja Operacional | | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |
| | Inversión | | | | | | | | | | | |
| | Electricidad | 0 | | | | | | | | | | |
| | Baterías | 747,14 | | | | | | | | | | |
| | Flujo Caja de Capitales | -747,14 | | | | | | | | | | |
| | Flujo Total | -747,14 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |

H. Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, con un precio de batería igual a 0.

| USD | Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ahorros | | 352,03 |
| Costo O&M | | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 | 292 |
| Electricidad | | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 | 275,17 |
| Baterías | | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Beneficio Neto | | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Depreciación Electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Intereses | | 60 | 53 | 47 | 39 | 31 | 21 | 11 | 11 | | | |
| Utilidad | | 0 | 6 | 13 | 21 | 29 | 39 | 49 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Impuesto | | 0,0 | 1,6 | 3,3 | 5,2 | 7,3 | 9,6 | 12,2 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| Ut después Imp | | 0,06 | 4,79 | 9,99 | 15,70 | 21,99 | 28,91 | 36,52 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |
| Depreciación Electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de Caja Operacional | | 0,06 | 4,79 | 9,99 | 15,70 | 21,99 | 28,91 | 36,52 | 44,89 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |
| Inversión | | | | | | | | | | | | |
| Electricidad | | 0 | | | | | | | | | | |
| Baterías | | 747,14 | | | | | | | | | | |
| Créditos (+) | | 598 | | | | | | | | | | |
| Amortizaciones | | | 63 | 69 | 76 | 84 | 92 | 101 | 112 | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | -149 | -63 | -69 | -76 | -84 | -92 | -101 | -112 | | | |
| Flujo Total | | -149,43 | -62,94 | -64,51 | -66,25 | -68,15 | -70,25 | -72,55 | -75,09 | 44,89 | 44,89 | 44,89 |

I. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada, sin crédito, para un caso real

| | Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Ahorros | | | 33.947.134 |
| Costo O&M | | | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 |
| Paneles | | | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 |
| Baterías | | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | | 29.089.072 |
| Depreciación panel | | | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad | | | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 | 15.986.934 |
| Impuesto | | | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 | 3.996.734 |
| Ut después Imp | | | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 | 11.990.201 |
| Depreciación panel | | | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de Caja Operacional | | | 25.092.339 |
| Inversión | | | | | | | | | | | | |
| Paneles | | 405.240.712 | | | | | | | | | | |
| Baterías | | 76.934.210 | | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | -482.174.922 | | | | | | | | | | 196.532.070 |
| Flujo Total | | -482.174.922 | 25.092.339 | 221.624.409 |

J. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería usada con crédito, en un caso real

| --- | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|----------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Ahorros | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 |
| | Costo O&M | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 |
| | Paneles | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 |
| | Baterías | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| | Beneficio Neto | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 |
| | Depreciación panel | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| | Depreciación batería | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | 0 | 22.587.059 | 41.108.208 | 55.156.854 | 64.285.747 | 68.002.913 | 65.767.179 | 56.983.254 | 40.996.319 | 25.009.385 |
| | Interés | 38.573.994 | 34.508.083 | 30.035.580 | 25.115.828 | 19.704.100 | 13.751.200 | 7.203.010 | | | |
| | Utilidad | -22.587.059 | -41.108.208 | -55.156.854 | -64.285.747 | -68.002.913 | -65.767.179 | -56.983.254 | -40.996.319 | -25.009.385 | -9.022.450 |
| | Impuesto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | UT después Imp | -22.587.059 | -41.108.208 | -55.156.854 | -64.285.747 | -68.002.913 | -65.767.179 | -56.983.254 | -40.996.319 | -25.009.385 | -9.022.450 |
| | Depreciación panel | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| | Depreciación batería | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pérdidas ejercicio anterior | 0 | 22.587.059 | 41.108.208 | 55.156.854 | 64.285.747 | 68.002.913 | 65.767.179 | 56.983.254 | 40.996.319 | 25.009.385 |
| | Flujo de Caja Operacional | -9.484.921 | -5.419.010 | -946.508 | 3.973.244 | 9.384.972 | 15.337.872 | 21.886.063 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 |
| | Inversión | | | | | | | | | | |
| | Paneles | 405.240.712 | | | | | | | | | |
| | Baterías | 76.934.210 | | | | | | | | | |
| | Crédito (+) | 385.739.938 | | | | | | | | | |
| | Amortización | 40.659.111 | 44.725.022 | 49.197.524 | 54.117.277 | 59.529.004 | 65.481.905 | 72.030.095 | | | |
| | Flujo Caja de Capitales | -40.659.111 | -44.725.022 | -49.197.524 | -54.117.277 | -59.529.004 | -65.481.905 | -72.030.095 | | | 196.532.070 |
| | Flujo Total | -96.434.984 | -50.144.032 | -50.144.032 | -50.144.032 | -50.144.032 | -50.144.032 | -50.144.032 | 29.089.072 | 29.089.072 | 225.621.142 |

K. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 220 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real

| Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ahorros | | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 |
| Paneles | | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 |
| Baterías | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 |
| Depreciación panel | | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad | | 4.264.454 | 5.566.952 | 6.724.728 | 7.753.862 | 8.668.648 | 9.481.791 | 10.204.585 | 10.847.068 | 11.418.164 | 11.925.805 |
| Impuesto | | 1.066.114 | 1.391.738 | 1.681.182 | 1.938.466 | 2.167.162 | 2.370.448 | 2.551.146 | 2.711.767 | 2.854.541 | 2.981.451 |
| Ut después Imp | | 3.198.341 | 4.175.214 | 5.043.546 | 5.815.397 | 6.501.486 | 7.111.343 | 7.653.438 | 8.135.301 | 8.563.623 | 8.944.354 |
| Depreciación panel | | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de Caja Operacional | | 28.022.959 | 27.697.334 | 27.407.890 | 27.150.607 | 26.921.910 | 26.718.625 | 26.537.926 | 26.377.305 | 26.234.531 | 26.107.621 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| Paneles | | | | | | | | | | | |
| Baterías | | | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | | | | | | | | | | |
| Flujo Total | | 28.022.959 | 27.697.334 | 27.407.890 | 27.150.607 | 26.921.910 | 26.718.625 | 26.537.926 | 26.377.305 | 26.234.531 | 26.107.621 |
| | | | | | | | | | | | 196.532.070 |
| | | | | | | | | | | | 222.639.691 |

L. Flujo de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva a un precio de 70 [USD/kWh], sin crédito, para un caso real

| | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Ahorros | | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 |
| Panels | | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 |
| Baterías | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 |
| Depreciación panel | | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad | | 4.264.454 | 5.566.952 | 6.724.728 | 7.753.862 | 8.668.648 | 9.481.791 | 10.204.585 | 10.847.068 | 11.418.164 | 11.925.805 |
| Impuesto | | 1.066.114 | 1.391.738 | 1.681.182 | 1.938.466 | 2.167.162 | 2.370.448 | 2.551.146 | 2.711.767 | 2.854.541 | 2.981.451 |
| Ut después Imp | | 3.198.341 | 4.175.214 | 5.043.546 | 5.815.397 | 6.501.486 | 7.111.343 | 7.653.438 | 8.135.301 | 8.563.623 | 8.944.354 |
| Depreciación panel | | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de Caja Operacional | | 28.022.959 | 27.697.334 | 27.407.890 | 27.150.607 | 26.921.910 | 26.718.625 | 26.537.926 | 26.377.305 | 26.234.531 | 26.107.621 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| Panels | | 405.240.712 | | | | | | | | | |
| Baterías | | 91.595.196 | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | -496.835.908 | | | | | | | | | |
| Flujo Total | | -496.835.908 | 27.697.334 | 27.407.890 | 27.150.607 | 26.921.910 | 26.718.625 | 26.537.926 | 26.377.305 | 26.234.531 | 222.639.691 |

M.Flujos de caja para el uso de paneles fotovoltaicos y batería nueva con crédito a un precio de 220 [USD/kWh], en un caso real

| Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Ahorros | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 |
| Costo O&M | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 | 4.858.061 |
| Paneles | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 | 3.275.526 |
| Baterías | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 |
| Depreciación panel | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | 0 | 41.237.090 | 76.375.570 | 105.080.549 | 126.953.097 | 141.527.233 | 148.266.237 | 138.061.653 | 127.214.585 | 115.796.421 |
| Interés | 45.501.545 | 40.705.432 | 35.429.707 | 29.626.410 | 23.242.784 | 16.220.795 | 8.496.607 | | | |
| Utilidad | -41.237.090 | -76.375.570 | -105.080.549 | -126.953.097 | -141.527.233 | -148.266.237 | -138.061.653 | -127.214.585 | -115.796.421 | -103.870.615 |
| Impuesto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ut después Imp | -41.237.090 | -76.375.570 | -105.080.549 | -126.953.097 | -141.527.233 | -148.266.237 | -138.061.653 | -127.214.585 | -115.796.421 | -103.870.615 |
| Depreciación panel | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 | 13.102.138 |
| Depreciación batería | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | 0 | 41.237.090 | 76.375.570 | 105.080.549 | 126.953.097 | 141.527.233 | 148.266.237 | 138.061.653 | 127.214.585 | 115.796.421 |
| Flujo de Caja Operacional | -16.412.472 | -11.616.359 | -6.340.635 | -537.338 | 5.846.288 | 12.868.278 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 | 29.089.072 |
| Inversión | | | | | | | | | | |
| Paneles | 405.240.712 | | | | | | | | | |
| Baterías | 163.528.596 | | | | | | | | | |
| Crédito (+) | 455.015.446 | | | | | | | | | |
| Amortización | | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | 47.961.130 | 52.757.244 | 58.032.968 | 63.836.265 | 70.219.891 | 77.241.880 | 84.966.068 | | | |
| | -47.961.130 | -52.757.244 | -58.032.968 | -63.836.265 | -70.219.891 | -77.241.880 | -84.966.068 | | | |
| Flujo Total | -113.753.862 | -64.373.603 | -64.373.603 | -64.373.603 | -64.373.603 | -64.373.603 | -55.876.996 | 29.089.072 | 29.089.072 | 225.621.142 |

N. Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real

| | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ahorros | | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 |
| Electricidad | | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 |
| Baterías | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Impuesto | | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 |
| Ut después Imp | | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de Caja Operacional | | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| Electricidad | | | | | | | | | | | |
| Baterías | | 76.934.210 | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | -76.934.210 | | | | | | | | | |
| Flujo Total | | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 |

O. Flujo de caja para el uso de baterías usadas cargadas directamente desde la red, con crédito, para un caso real

| | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ahorros | | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 |
| Electricidad | | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 |
| Baterías | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Interés | | 6.154.737 | 5.505.994 | 4.792.376 | 4.007.397 | 3.143.920 | 2.194.095 | 1.149.288 | | | |
| Utilidad | | 645.134 | 1.293.897 | 2.007.515 | 2.792.494 | 3.655.971 | 4.605.796 | 5.650.603 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Impuesto | | 161.289 | 323.474 | 501.879 | 698.123 | 913.993 | 1.151.449 | 1.412.651 | 1.699.973 | 1.699.973 | 1.699.973 |
| Ut. después Imp | | 483.866 | 970.423 | 1.505.636 | 2.094.370 | 2.741.978 | 3.454.347 | 4.237.952 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo de Caja Operacional | | 483.866 | 970.423 | 1.505.636 | 2.094.370 | 2.741.978 | 3.454.347 | 4.237.952 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| Electricidad | 0 | | | | | | | | | | |
| Baterías | 76.934.210 | | | | | | | | | | |
| Crédito (+) | 61.547.368 | | | | | | | | | | |
| Amortización | | 6.487.431 | 7.136.174 | 7.849.792 | 8.634.771 | 9.498.248 | 10.448.073 | 11.492.880 | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | -6.487.431 | -7.136.174 | -7.849.792 | -8.634.771 | -9.498.248 | -10.448.073 | -11.492.880 | | | |
| Flujo Total | | -6.003.565 | -6.165.751 | -6.344.156 | -6.540.400 | -6.756.270 | -6.993.726 | -7.254.928 | 5.099.918 | 5.099.918 | 5.099.918 |

P. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real

| Años | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Ahorros | | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 |
| <i>Electricidad</i> | | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 |
| <i>Baterías</i> | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 4.922.589 | 8.542.680 | 11.004.996 | 12.438.177 | 12.956.573 | 12.661.826 | 11.644.284 | 9.984.260 | 7.753.139 |
| Utilidad | | -4.922.589 | -8.542.680 | -11.004.996 | -12.438.177 | -12.956.573 | -12.661.826 | -11.644.284 | -9.984.260 | -7.753.139 | -5.014.378 |
| Impuesto | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ut después Imp | | -4.922.589 | -8.542.680 | -11.004.996 | -12.438.177 | -12.956.573 | -12.661.826 | -11.644.284 | -9.984.260 | -7.753.139 | -5.014.378 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 4.922.589 | 8.542.680 | 11.004.996 | 12.438.177 | 12.956.573 | 12.661.826 | 11.644.284 | 9.984.260 | 7.753.139 |
| Flujo de Caja Operacional | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| <i>Electricidad</i> | | 0 | | | | | | | | | |
| <i>Baterías</i> | | 163.528.596 | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | | -163.528.596 | | | | | | | | | |
| Flujo Total | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 158.253.480 |
| | | | | | | | | | | | 165.053.371 |

Q. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, sin crédito, en un caso real

| Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ahorros | 33.947.134 |
| Costo O&M | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 |
| Electricidad | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 |
| Baterías | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Depreciación electricidad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | 0 | 4.922.589 | 8.542.680 | 11.004.996 | 12.438.177 | 12.956.573 | 12.661.826 | 11.644.284 | 9.984.260 | 7.753.139 |
| Utilidad | -4.922.589 | -8.542.680 | -11.004.996 | -12.438.177 | -12.956.573 | -12.661.826 | -11.644.284 | -9.984.260 | -7.753.139 | -5.014.378 |
| Impuesto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ut. después Imp | -4.922.589 | -8.542.680 | -11.004.996 | -12.438.177 | -12.956.573 | -12.661.826 | -11.644.284 | -9.984.260 | -7.753.139 | -5.014.378 |
| Depreciación electricidad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | 0 | 4.922.589 | 8.542.680 | 11.004.996 | 12.438.177 | 12.956.573 | 12.661.826 | 11.644.284 | 9.984.260 | 7.753.139 |
| Flujo de Caja Operacional | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Inversión | | | | | | | | | | |
| Electricidad | 0 | | | | | | | | | |
| Baterías | 91.595.196 | | | | | | | | | |
| Flujo Caja de Capitales | -91.595.196 | | | | | | | | | |
| Flujo Total | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 93.119.971 |

R. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 220 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real

| | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ahorros | | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 |
| Electricidad | | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 |
| Baterías | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Depreciación electricidad | | | | | | | | | | | |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 18.004.877 | 33.328.311 | 45.977.129 | 55.928.290 | 63.129.289 | 67.498.232 | 68.923.576 | 67.263.552 | 65.032.431 |
| Interés | | 13.082.288 | 11.703.343 | 10.186.503 | 8.517.979 | 6.682.604 | 4.663.690 | 2.442.885 | | | |
| Utilidad | | -18.004.877 | -33.328.311 | -45.977.129 | -55.928.290 | -63.129.289 | -67.498.232 | -68.923.576 | -67.263.552 | -65.032.431 | -62.293.669 |
| Impuesto | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ut después Imp | | -18.004.877 | -33.328.311 | -45.977.129 | -55.928.290 | -63.129.289 | -67.498.232 | -68.923.576 | -67.263.552 | -65.032.431 | -62.293.669 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 18.004.877 | 33.328.311 | 45.977.129 | 55.928.290 | 63.129.289 | 67.498.232 | 68.923.576 | 67.263.552 | 65.032.431 |
| Flujo de Caja Operacional | | -6.282.397 | -4.903.452 | -3.386.612 | -1.718.089 | 117.287 | 2.136.201 | 4.357.006 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| Electricidad | 0 | | | | | | | | | | |
| Baterías | 163.528.596 | | | | | | | | | | |
| Crédito (+) | 130.822.877 | | | | | | | | | | |
| Amortización | | 13.789.451 | 15.168.396 | 16.685.235 | 18.353.759 | 20.189.135 | 22.208.048 | 24.428.853 | | | |
| Flujo Caja de Capitales | 0 | -13.789.451 | -15.168.396 | -16.685.235 | -18.353.759 | -20.189.135 | -22.208.048 | -24.428.853 | | | 158.253.480 |
| Flujo Total | 0 | -20.071.847 | -20.071.847 | -20.071.847 | -20.071.847 | -20.071.847 | -20.071.847 | -20.071.847 | 6.799.891 | 6.799.891 | 165.053.371 |

S. Flujo de caja para el uso de baterías nuevas con un precio de 70 [USD/kWh], cargadas directamente desde la red, con crédito, en un caso real

| | Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ahorros | | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 | 33.947.134 |
| Costo O&M | | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 | 27.147.243 |
| Electricidad | | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 | 25.564.708 |
| Baterías | | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 | 1.582.535 |
| Beneficio Neto | | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Depreciación electricidad | | | | | | | | | | | |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 12.250.205 | 22.425.541 | 30.593.493 | 36.797.742 | 41.059.179 | 43.376.646 | 43.727.407 | 42.067.382 | 39.836.262 |
| Interés | | 7.327.616 | 6.555.245 | 5.705.637 | 4.771.068 | 3.743.042 | 2.612.214 | 1.368.302 | | | |
| Utilidad | | -12.250.205 | -22.425.541 | -30.593.493 | -36.797.742 | -41.059.179 | -43.376.646 | -43.727.407 | -42.067.382 | -39.836.262 | -37.097.500 |
| Impuesto | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ut. después Imp | | -12.250.205 | -22.425.541 | -30.593.493 | -36.797.742 | -41.059.179 | -43.376.646 | -43.727.407 | -42.067.382 | -39.836.262 | -37.097.500 |
| Depreciación electricidad | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depreciación batería | | 11.722.480 | 10.419.982 | 9.262.206 | 8.233.072 | 7.318.287 | 6.505.144 | 5.782.350 | 5.139.867 | 4.568.770 | 4.061.129 |
| Pérdidas ejercicio anterior | | 0 | 12.250.205 | 22.425.541 | 30.593.493 | 36.797.742 | 41.059.179 | 43.376.646 | 43.727.407 | 42.067.382 | 39.836.262 |
| Flujo de Caja Operacional | | -527.725 | 244.646 | 1.094.254 | 2.028.823 | 3.056.849 | 4.187.677 | 5.431.589 | 6.799.891 | 6.799.891 | 6.799.891 |
| Inversión | | | | | | | | | | | |
| Electricidad | | 0 | | | | | | | | | |
| Baterías | | 91.595.196 | | | | | | | | | |
| Crédito (+) | | 73.276.157 | | | | | | | | | |
| Amortización | | 7.723.710 | 8.496.081 | 9.345.689 | 10.280.258 | 11.308.284 | 12.439.112 | 13.683.023 | | | |
| Flujo Caja de Capitales | 0 | -18.319.039 | -7.723.710 | -8.496.081 | -9.345.689 | -10.280.258 | -11.308.284 | -12.439.112 | -13.683.023 | | 86.320.080 |
| Flujo Total | 0 | -18.319.039 | -8.251.435 | -8.251.435 | -8.251.435 | -8.251.435 | -8.251.435 | -8.251.435 | 6.799.891 | 6.799.891 | 93.119.971 |