



Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas
ICS3013-Evaluación de Proyectos

Informe 4

Evaluación de Proyectos

Grupo N°12
Escuela Naval Producción Limpia

Integrantes:

Agustín Carracedo
Vicente Chauriye
Nicolás Chubretovic
Álvaro Postigo
Enrique Russi
José Antonio Zegers

Profesores:

Santiago Mingo
Andrés Ramírez

Organización:

Escuela Naval Arturo Prat

Fecha:

Diciembre, 2023.

Resumen

El presente informe describe el desarrollo del proyecto “Escuela Naval Producción Limpia”. Este proyecto fue otorgado a la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile por la Escuela Naval Arturo Prat. El proyecto busca cumplir con un plan sustentable para el año 2024 sujeto a sus metas autoimpuestas, las cuales reconocen la sustentabilidad de la institución. Se revisa la trayectoria de la Escuela Naval en prácticas sostenibles a lo largo de los años, incluyendo mejoras en eficiencia energética, compromisos con el medio ambiente, adhesión al acuerdo de producción limpia, entre otros.

El objetivo actual corresponde a identificar las mejores alternativas que permitan cumplir con las metas propuestas con el compromiso sustentable de la Escuela Naval, para lograr una mejora operacional y un cambio de imagen de la institución. Las decisiones estratégicas para evaluar se centran en la producción de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos, reutilización de las aguas grises para su consumo en riego y la mejora de eficiencia para el sistema de calderas. Se encuentran contabilizados recursos legales, financieros, tecnológicos y materiales para el proyecto. Idealmente se buscará el punto óptimo entre una solución sustentable y rentable económicamente en el mediano y largo plazo.

Para el desarrollo del proyecto, se evaluaron las tres decisiones estratégicas presentadas anteriormente en base a los ingresos futuros que entregarían a la Escuela Naval, sus costos, el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recuperación de la inversión de cada proyecto de manera independiente.

Dentro de las metodologías propuestas para el desarrollo del proyecto, se encuentran visitas a las instalaciones, recopilación de datos, análisis de área e impacto, búsqueda de soluciones sostenibles y cumplimiento con los recursos disponibles.

Abstract

This report describes the development of the “Escuela Naval Producción Limpia” project. This project was assigned to the Escuela de Ingeniería at the Pontificia Universidad Católica de Chile by the Escuela Naval Arturo Prat. The project aims to comply with a sustainable plan for the year 2024, subject to its self-imposed goals that acknowledge the institution's sustainability. It reviews the Escuela Naval's trajectory in sustainable practices over the years, including improvements in energy efficiency, environmental commitments, and adherence to the clean production agreement, among others.

The current objective is to identify the best alternatives that allow meeting the proposed goals within the Escuela Naval's sustainable commitment, aiming for operational improvement and a change in the institution's image. The strategic decisions to evaluate focus on electricity production from photovoltaic panels, reusing greywater for irrigation, and enhancing efficiency in the boiler system. Legal, financial, technological, and material resources for the project have been accounted for. Ideally, the aim is to find the optimal balance between a sustainable and economically viable solution in the medium and long term.

For the project's development, the three strategic decisions were evaluated based on the future revenues they would provide to the Naval School, their costs, net present value (NPV), internal rate of return (IRR), and investment payback period for each project independently.

Among the proposed methodologies for the project's development are facility visits, data collection, area and impact analysis, search for sustainable solutions, and compliance with available resources.

Resumen	2
Abstract	2
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas	6
1. FORMULACIÓN: DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO	8
1.1. Descripción de la organización y su ecosistema	8
1.1.1. Historia	8
1.1.2. Infraestructura	8
1.1.3. Mercado	9
1.2. Descripción General del Proyecto	9
1.3. Identificación Detallada de las Decisiones Estratégicas a Evaluar	9
1.4. Identificación del Caso Base Optimizado	10
2. ANÁLISIS ESTRATÉGICO	11
2.1. Análisis PESTEL	11
2.2. Identificación de recursos críticos y requerimientos necesarios para implementar las decisiones estratégicas	12
2.2.1. Recursos Financieros	12
2.2.2. Recursos tecnológicos	12
2.2.3. Recursos materiales	13
2.2.4. Recursos humanos y organizacionales	13
2.2.5. Recursos para el proyecto	13
2.3. Modelo de negocio a seguir para la implementación del proyecto de acuerdo con la Estrategia del Cliente y Análisis PESTEL	14
3. EVALUACIÓN: MODELACIÓN Y ANÁLISIS	15
3.1. Modelación detallada del Proyecto y Caso Base Optimizado	15
3.1.1. Modelación del proyecto de tratamiento de aguas	15
3.1.2. Modelación del proyecto de calderas	19
3.1.3. Modelación del proyecto energético	20
3.2. Cálculo de Costos Económicos	21
3.2.1. Costos Económicos proyecto de tratamiento de aguas	21
3.2.2. Costos Económicos proyecto calderas	21
3.2.3. Costos Económicos proyecto energético	21
3.3. Cálculo de Ingresos	21
3.3.1. Ingresos proyecto de tratamiento de aguas	21
3.3.2. Ingresos proyecto de calderas	22
3.3.3. Ingresos proyecto energético	22

3.4.	Inversión, capital de trabajo, valor residual, depreciación e impuestos	23
3.4.1.	Inversión proyecto tratamiento aguas.....	23
3.4.2.	Inversión proyecto calderas	23
3.4.3.	Inversión proyecto energético	23
3.5.	Estructura del Flujo de caja libre, tasa de descuento, periodo de evaluación.....	24
3.5.1.	Flujo de caja libre, tasa de descuento y periodo de evaluación para proyecto de tratamiento de aguas.....	24
3.5.2.	Flujo de caja libre, tasa de descuento y periodo de evaluación para proyecto de calderas	24
3.5.3.	Flujo de caja libre, tasa de descuento y periodo de evaluación para proyecto energético	24
3.6.	Análisis de la rentabilidad del proyecto: VAN, TIR, Payback.....	25
3.6.1.	Análisis proyecto de tratamiento de aguas	25
3.6.2.	Análisis proyecto calderas	25
3.6.3.	Análisis proyecto energético.....	25
3.7.	Planteamiento y Análisis de la Sustentación de la rentabilidad	26
3.7.1.	Planteamiento y Análisis para proyecto de aguas.....	26
3.7.2.	Planteamiento y Análisis para proyecto energético	27
3.7.3.	Planteamiento y Análisis para proyecto de calderas	27
3.8.	Análisis de Sensibilidad	28
3.8.1.	Análisis de Sensibilidad para proyecto de aguas.....	28
3.8.2.	Análisis de Sensibilidad para proyecto energético	29
3.8.3.	Análisis de Sensibilidad para proyecto de calderas	31
3.9.	Planteamiento y Análisis de Flexibilidad	32
3.9.1.	Planteamiento y Análisis de Flexibilidad para proyecto de aguas.....	32
3.9.2.	Planteamiento y Análisis de Flexibilidad para proyecto energético.....	32
3.9.3.	Planteamiento y Análisis de Flexibilidad para proyecto de calderas	32
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
	Bibliografía	37
	ANEXOS.....	39
	ANEXO 1: Índice de precipitación anual histórico de la zona central	39
	ANEXO 2: Precios históricos del diésel y gas natural en Chile	39
	ANEXO 3: Visita a la escuela.....	40
	ANEXO 4: Cálculo para la estimación de aguas grises	40
	ANEXO 5: Estimación de aguas lluvias.....	42
	ANEXO 6: Precipitaciones acumuladas por año para 2018-2022 y por mes para 2023	43
	ANEXO 7: Estimación de tamaño del estanque de aguas lluvias.....	44

ANEXO 8: Promedio de precipitaciones acumuladas por mes	45
ANEXO 9: Desglose del monto de la planta de tratamiento de aguas grises.....	45
ANEXO 10: Cálculos detallados modelación proyecto calderas	46
ANEXO 11: Detalles modelación proyecto solar.....	47
ANEXO 12: Techos disponibles para instalación solar	47
ANEXO 13: Generación fotovoltaica diaria.....	48
ANEXO 14: Desglose de inversión para proyecto de tratamiento de aguas.....	48
ANEXO 15: Flujos de caja libre para proyecto de tratamiento de aguas	49
ANEXO 16: Flujo de caja libre para el proyecto de calderas en el escenario 1	49
ANEXO 17: Flujo de caja libre para el proyecto de calderas en el escenario 2.....	50
ANEXO 18: Flujo de caja libre para el proyecto energético	50
ANEXO 19: Gráfico araña proyecto de aguas – Escenario 2	50
ANEXO 20: Tabla resumen análisis de sensibilidad de precio - Proyecto calderas	51
ANEXO 21: Tabla resumen análisis de sensibilidad de inversión inicial - Proyecto calderas.....	51
ANEXO 22: Tabla resumen análisis de sensibilidad de eficiencia. Proyecto calderas	51
ANEXO 23: Tabla resumen análisis de sensibilidad de tasa de descuento. Proyecto calderas.....	52
ANEXO 24: TIR y Payback para proyecto de aguas-escenario 2, variando eficiencia de planta y de recolección de aguas lluvias.....	52
ANEXO 25: Modelación para el pago propio del proyecto energético	52
ANEXO 26: Detalles simulación de Montecarlo	53
ANEXO 28: Montecarlo escenario 2 proyecto de agua y gráficos tornados generados por @RISK.....	54
ANEXO 29: Cuenta eléctrica y ahorro por periodo proyecto energético.....	55
ANEXO 30: Desglose inversión proyecto energético	56

Índice de Figuras

Figura 1: Árbol de decisión energía solar. Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 2: Árbol de decisión reemplazo de planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 3: Árbol de decisión reemplazo de calderas actuales. Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 4: Consumo de agua en el último año. Fuente: Elaboración propia.....	16
Figura 5: Generación de aguas grises por mes. Fuente: Elaboración propia.....	17
Figura 6: Reutilización de aguas por categoría. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 7: Reutilización y consumo de aguas por mes. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 8: Generación vs consumo energético. Fuente: Elaboración propia.....	20
Figura 9: Gráfico araña - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 10: Simulación de Montecarlo - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 11: Gráfico de tornado proyecto energético - escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 12: Gráfico de tornado proyecto energético - escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 13: Gráfico de araña variación del VAN – Proyecto Calderas. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 14: Árbol de decisión. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 15: Comparación de proyectos evaluados a 10 años. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 16: Flujo de caja para los tres proyectos y VAN acumulado. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 17: Índice de precipitación anual histórico de la zona central. Fuente: (Espinoza, 2022).....	39
Figura 18: Precios históricos de diésel en Chile. Fuente: (Banco Central de Chile, 2023).....	39
Figura 19: Precios históricos de gas natural en Chile. Fuente: (Banco Central de Chile, 2023).....	40
Figura 20: Visita a la Escuela Naval Arturo Prat. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 21: Promedio diario de precipitaciones. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 22: Precipitaciones acumuladas por año. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 23: Máximo de precipitaciones diarias por año. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 24: Optimo económico para la capacidad del estanque. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 25: Promedio de precipitaciones acumuladas por mes. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 26: Techos disponibles para instalación solar. Fuente: Datos proporcionados por el cliente....	48
Figura 27: Generación fotovoltaica diaria. Fuente: (Ministerio De Energía, 2023).....	48
Figura 28: Gráfico araña - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 29: Simulación de Montecarlo - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 30: Gráfico Tornado - Simulación Montecarlo - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 31: Gráfico Tornado - Simulación Montecarlo - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 32: Cuenta eléctrica nueva y ahorro proyectado escenario 1.....	55
Figura 33: Cuenta eléctrica nueva y ahorro proyectado escenario 2.....	56

Índice de Tablas

Tabla 1: Análisis PESTEL. Fuente: Elaboración propia.....	11
Tabla 2: Comparación de caldera de vapor actual con modelo Bosch CSB.....	19
Tabla 3: Comparación de caldera de agua caliente actual con modelo Bosch UNIMAT-UTL.....	19
Tabla 4: Costos proyecto planta tratamiento de agua.....	21
Tabla 5: Ingresos mensuales planta de tratamiento de agua - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	21
Tabla 6: Ingresos mensuales planta de tratamiento de agua - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 7: Flujos de caja libre escenarios 1 y 2 para los primeros 5 años. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 8: Flujos de caja libre para los 2 casos para los primeros 4 años. Fuente: Elaboración propia.....	24

Tabla 9: Flujos de caja libre para proyecto energético. Fuente: Elaboración propia	25
Tabla 10: Análisis de rentabilidad para proyecto de aguas. Fuente: Elaboración propia.	25
Tabla 11: Análisis de rentabilidad para calderas. Fuente: Elaboración propia	25
Tabla 12: Análisis de proyecto energético. Fuente: Elaboración propia.....	25
Tabla 13: Métricas financieras escenario 3. Fuente: Elaboración propia.	26
Tabla 14: Métricas financieras según eficiencia PTAG. Fuente: Elaboración propia.	26
Tabla 15: VAN escenario 2 según eficiencia de planta de tratamiento y de recolección de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 16: VAN, TIR, Payback e IVAN de los tres proyectos a 10 años. Fuente: Elaboración propia. 33	
Tabla 17: Estimación de consumo de agua en duchas y lavamanos por mes. Fuente: Elaboración propia.	42
Tabla 18: Desglose del monto de la planta de tratamiento de aguas grises.	46
Tabla 19: Promedio de producción de agua caliente. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 20: Desglose de inversión para proyecto de aguas. Fuente: Elaboración propia con datos externos.....	49
Tabla 21: Flujos de caja libres para escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 22: Resumen análisis sensibilidad de precio - proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia. .	51
Tabla 23: Análisis de sensibilidad para inversión inicial - Proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 24: Análisis de sensibilidad para eficiencia - Proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia. ..	52
Tabla 25: Análisis de sensibilidad según vida útil - Proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia. ..	52
Tabla 26: TIR escenario 2 según eficiencia de planta de tratamiento y de recolección de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 27: Payback escenario 2 según eficiencia de planta de tratamiento y de recolección de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 28: Distribución de variables - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	53
Tabla 29: Distribución de variables - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	54
Tabla 30: Inversión para instalación de paneles solares. Fuente: Terralink.....	56

1. FORMULACIÓN: DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

1.1. Descripción de la organización y su ecosistema

La Armada, junto con el Ejército y la Fuerza Aérea constituyen a las Fuerzas Armadas (FF.AA.) del país. Estas son dependientes del Ministerio de Defensa Nacional. Las FF.AA. existen para la defensa de la patria y son esenciales para la seguridad nacional (Chile, 2023). Según datos proporcionados por el Banco Mundial, el año 2019 el personal total de las FF.AA. en Chile era de 122.000 personas (Banco Mundial, 2019).

La Escuela Naval Arturo Prat es la escuela de educación naval básica para oficiales del país. Esta se encuentra ubicada en Francisco González De Hontaneda 11, Playa Ancha, Valparaíso, y este edificio data del año 1960. Su misión principal es participar en la protección de la seguridad exterior y la defensa militar del país, garantizando la soberanía y la integridad territorial. Durante períodos de paz, también trabaja para promover los intereses nacionales en el extranjero y fomentar el desarrollo nacional. Esta institución se dedica a la formación de profesionales, adopta tecnología y tácticas de vanguardia, se adapta a los cambios y desafíos, y se mantiene firme en cuanto a sus principios y valores. Se prepara para utilizar sus recursos en beneficio de los mejores intereses de la población chilena. La armada de Chile se autodefine como “una Institución formadora de profesionales, innovadora en tecnología y tácticas de vanguardia, flexible a los cambios y desafíos, y sólida en cuanto a principios y valores, que se desarrolla y prepara para emplear sus medios en beneficio de los intereses superiores de todos los chilenos” (Escuela Naval, s.f.).

1.1.1. Historia

La institución fue fundada por el director Supremo General Don Bernardo O’Higgins Riquelme, el 4 de agosto de 1818 con el nombre de “Academia de Jóvenes Guardias Marinas”. Esta iniciativa se gestó por la necesidad de establecer un plantel de Oficiales de Marina que fueran capaces de conducir las operaciones navales de la recientemente formada Primera Escuadra Nacional. Durante sus primeros 40 años el plantel recibió los nombres de “Academia de Guardiamarinas” y “Escuela Náutica o de Aplicación”. En 1858 se actualiza el nombre a “Escuela Naval del Estado”. Este año se registró el ingreso de 26 cadetes, cuyas edades fluctuaban entre los diez y doce años. Entre ellos figuraban los nombres de Arturo Prat Chacón, Juan José Latorre Benavente, Carlos Condell de la Haza, entre otros. Finalmente, en 1945 fue rebautizada en honor al Capitán Arturo Prat como “Escuela Naval Arturo Prat”.

A lo largo de su existencia, la Escuela Naval de Chile ha sido conducida por sesenta directores y por un distinguido cuerpo de oficiales y profesores, quienes han sabido imprimirle el necesario sello de calidad académica, sobriedad y rigidez, que exige la formación naval militar (Escuela Naval, s.f.).

1.1.2. Infraestructura

El recinto de la Escuela Naval posee una superficie de 14,8 hectáreas en el sector de Playa Ancha, ciudad de Valparaíso. Esta superficie cuenta con más de 80.000 metros cuadrados construidos a disposición de los cadetes. Dentro de sus instalaciones se encuentran salas de clases y de estudio; laboratorios de física, química y computación; biblioteca; comedores y dormitorios y servicios auxiliares. Sumado a esto, dentro de la escuela hay 18.000 metros cuadrado de áreas verdes.

El complejo deportivo está dotado de piscina olímpica y gimnasio techado, en donde se desarrollan deportes como voleibol, básquetbol, gimnasia olímpica, judo, esgrima y natación, entre otros. Además, posee áreas deportivas al aire libre, que permiten a los cadetes la práctica de rugby, buceo, fútbol, tenis, tiro, atletismo y pentatlón militar. Asimismo, la escuela cuenta con una casa de yates en Viña del Mar equipada con 6 yates oceánicos y 30 de vela menor y una casa de botes en el lago Curauma. Todo lo anterior para la práctica de deportes náuticos (Escuela Naval, s.f.).

Cabe destacar que el edificio de la Escuela Naval es considerado patrimonio histórico nacional, por lo tanto, su fachada no puede ser modificada.

1.1.3. Mercado

Como se mencionó anteriormente, la Escuela Naval es parte de la Armada de Chile, la cual integra las Fuerzas Armadas del país, que son dependientes del Ministerio de Defensa Nacional, lo que la convierte en una institución estatal. Podemos distinguir dos tipos de mercados para la Escuela Naval. El primero es el mercado de las Fuerzas Armadas. Este es un mercado que podemos considerarlo como un oligopolio debido a que existe un número limitado de instituciones en las FF.AA. y las barreras de entradas son enormes dado que el estado tendría que crear una nueva institución en este contexto. En este mercado, la Armada cuenta con un presupuesto de \$427.381.383 miles de pesos para el presente año. Este es considerablemente menor al del Ejército (\$622.939.959 miles de pesos), pero mayor que el de la Fuerza Aérea (\$247.511.620 miles de pesos) (BCN, 2023). El segundo mercado sería el de la educación superior. Podemos considerar que la Escuela Naval, al ofrecer títulos profesionales, está dentro del mercado de las universidades e institutos profesionales. Este mercado presenta una mayor competencia que el anterior debido a que existen múltiples oferentes en temas de educación.

Como se mencionó anteriormente, la Escuela Naval es parte de la Armada de Chile, la cual integra las Fuerzas Armadas del país, que son dependientes del Ministerio de Defensa Nacional, lo que la convierte en una institución estatal. Podemos distinguir dos tipos de mercados para la Escuela Naval. El primero es el mercado de las Fuerzas Armadas. Este es un mercado que podemos considerarlo como un oligopolio debido a que existe un número limitado de instituciones en las FF.AA. y las barreras de entradas son enormes dado que el estado tendría que crear una nueva institución en este contexto. En este mercado, la Armada cuenta con un presupuesto de \$427.381.383 miles de pesos para el presente año. Este es considerablemente menor al del Ejército (\$622.939.959 miles de pesos), pero mayor que el de la Fuerza Aérea (\$247.511.620 miles de pesos) (BCN, 2023). El segundo mercado sería el de la educación superior. Podemos considerar que la Escuela Naval, al ofrecer títulos profesionales, está dentro del mercado de las universidades e institutos profesionales. Este mercado presenta una mayor competencia que el anterior debido a que existen múltiples oferentes en temas de educación.

1.2. Descripción General del Proyecto

La Escuela Naval de Chile se encuentra actualmente en el desarrollo de un plan de sustentabilidad autoimpuesto que le otorgue el reconocimiento por su compromiso con el medioambiente y en materia de sustentabilidad. Para la realización del plan de sustentabilidad, la Escuela Naval busca la implementación de producción de energía eléctrica de fuentes renovables, reutilización de aguas grises para su posterior consumo en riego y disminución de la contaminación y mejora en la eficiencia energética del sistema de calderas.

El objetivo del proyecto es evaluar económicamente alternativas que puedan lograr llevar a cabo mejoras en los ámbitos de energías renovables, reutilización de aguas grises y eficiencia en el sistema de calderas. Esto le permitirá a la Escuela Naval volverse más sustentable y a largo plazo ahorrar costos energéticos en cuanto a las tres áreas previamente estipuladas.

1.3. Identificación Detallada de las Decisiones Estratégicas a Evaluar

Para el área de implementación de producción de energía eléctrica de fuentes renovables, se debe tomar la decisión sobre qué tipo de energía renovable se debe utilizar. Es posible utilizar energía eólica, solar, una combinación de estas u otra fuente de energía renovable. A lo largo de este informe se realiza un análisis detallado de cada una de las decisiones estratégicas a evaluar, para así poder determinar un orden de prioridades frente a que decisiones tomar en base a la capacidad de la Escuela Naval. El proceso para la resolución de las decisiones estratégicas se detalla en los siguientes árboles de decisión. La siguiente figura muestra el árbol de decisión para la instalación de paneles solares:

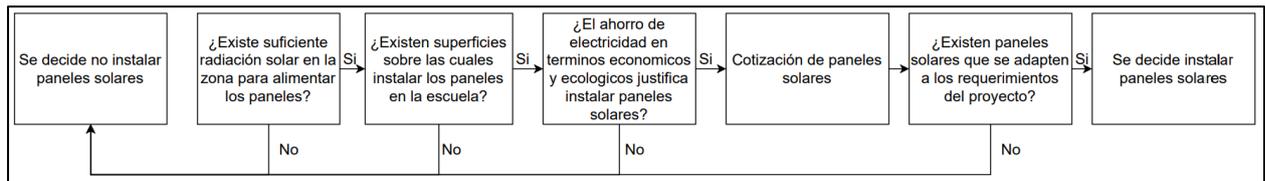


Figura 1: Árbol de decisión energía solar. Fuente: Elaboración propia.

Para el reúso de aguas en el riego, es necesario evaluar la viabilidad de emplear las aguas grises de la institución para el mantenimiento de sus zonas verdes. Para ello, se requiere analizar la posibilidad de instalar una planta de tratamiento de aguas grises en la Escuela Naval. La figura siguiente ilustra el diagrama de decisión atinente a la instalación de esta planta de tratamiento.

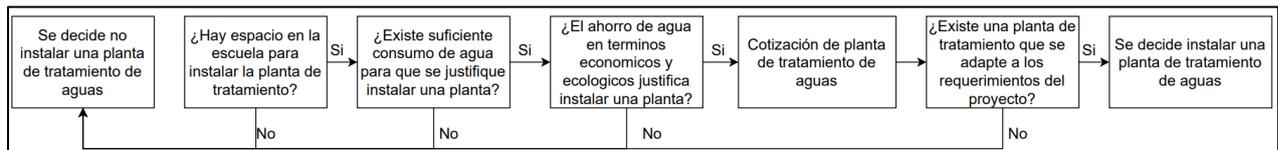


Figura 2: Árbol de decisión reemplazo de planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el área de disminución de la contaminación y uso energético del Sistema de Calderas, se debe evaluar si implementar un nuevo sistema de calderas, modificar el actual, o implementar un sistema de calentamiento de agua por medio de calentadores solares. Actualmente la escuela cuenta con tres calderas de los años 1959, 1964 y 1974, las cuales funcionan con gas natural o diésel. Dada la antigüedad de las calderas su eficiencia energética actual es baja, por lo que se puede mejorar bastante en esta área en cuanto a eficiencia y costos. La siguiente figura muestra el árbol de decisión para el reemplazo de las calderas actuales por modelos modernos:

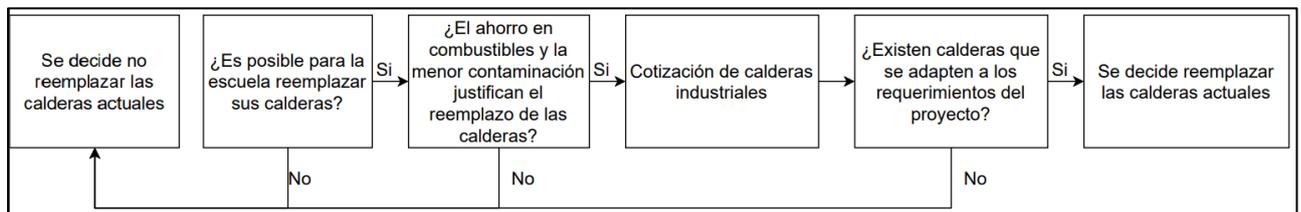


Figura 3: Árbol de decisión reemplazo de calderas actuales. Fuente: Elaboración propia.

Para el definir la prioridad de estas decisiones estratégicas se debe realizar un análisis económico en cuanto al VAN, TIR y *Payback* de cada proyecto. Además, se debe evaluar el impacto medioambiental de cada una de las decisiones. Con esta información es posible dar un orden de prioridad para la realización de estas decisiones estratégicas. Dicho orden de prioridad se muestra más adelante en el informe.

1.4. Identificación del Caso Base Optimizado

El caso base corresponde a lo que sucede en la empresa si el proyecto no se realiza. Es importante entender bien el caso base porque la valoración del proyecto depende de lo que sucedería si este se realiza en contraste con lo que sucedería si no se realiza (Reyes, 2018). Para nuestro proyecto, el caso base sería la mejora de las tecnologías actuales, sin la implementación de nuevas tecnologías. Es decir, la Escuela Naval optimizaría sus recursos actuales de alguna manera que logre satisfacer su plan de sustentabilidad. Esto sería perjudicial a futuro, ya que la ciudad de Valparaíso se encuentra afectada por la crisis hídrica. En este sentido, el ahorro de agua es un tema de suma importancia no solo en la Escuela Naval, sino que también en toda la zona central de Chile (Quezada, 2018). Valparaíso se encuentra actualmente en medio de una “mega sequía” la cual solo ha incrementado con los años, como se puede ver en el [Anexo 1](#). Debido a esto, el precio del agua se disparará en esta región, debido a el costo

implicado en la producción de agua de mar para consumo humano (SCIENTIFIC AMERICAN, 2008). La producción de agua de esta forma es una necesidad en regiones desérticas, por lo que es solo cuestión de tiempo para que la Región de Valparaíso adopte esta medida, y los precios del agua crezcan aún más.

Por otro lado, las calderas actuales de la escuela son extremadamente antiguas, y utilizan diésel o gas natural para su funcionamiento. En el caso base la escuela se queda con estas calderas, por lo que utilizan estos tipos de combustibles en sus operaciones. Esto es de suma relevancia, ya que los precios de los combustibles fósiles y el gas natural han ido en aumento, y se espera que sigan aumentando a futuro. El [Anexo 2](#) muestra gráficos del precio histórico del diésel y del gas natural en Chile.

Como se puede apreciar, los precios de ambos combustibles se han alzado en comparación con años anteriores, y expertos sugieren que los precios de diésel seguirán al alza en el futuro cercano (Vergara, 2023), mientras que se espera que los precios de gas natural decrezcan a futuro (Capex, 2023).

2. ANÁLISIS ESTRATÉGICO

2.1. Análisis PESTEL

El análisis PESTEL es una herramienta estratégica utilizada por las organizaciones para comprender y evaluar el entorno en el que operan. Este análisis sirve para identificar y analizar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que pueden tener un impacto significativo en la empresa u organización. También, es crucial para la planificación estratégica del proyecto, ya que el análisis PESTEL aporta información clave para tomar decisiones fundamentadas sobre la inversión, el cronograma y los recursos necesarios.

Tabla 1: Análisis PESTEL. Fuente: Elaboración propia.

Político	<ul style="list-style-type: none"> • La Escuela Naval de Chile está directamente influenciada por las políticas gubernamentales. Se deben evaluar las políticas gubernamentales sobre el medio ambiente • La Armada de Chile colabora con otras fuerzas navales a nivel internacional.
Económico	<ul style="list-style-type: none"> • La financiación de la escuela depende en gran medida de los fondos públicos asignados al Ministerio de Defensa. • Las fluctuaciones económicas pueden afectar la disponibilidad de recursos y la inversión en tecnologías sustentables. Debido a esto, los presupuestos para proyectos de la Escuela Naval pueden variar en el tiempo. • Los precios de energías no renovables han ido alzándose con el tiempo.
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la población pueden afectar la disponibilidad de reclutas y la demanda de programas de formación. • La Escuela Naval debe estar atenta a los valores y expectativas cambiantes de la sociedad. • La institución debe cuidar su imagen pública.
Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Existen diversas tecnologías que permitirán a la escuela disminuir su huella de carbono. • La institución es antigua y actualmente cuenta con tecnologías poco ecológicas y eficientes. • Se han implementado algunas tecnologías sustentables en la escuela a través de los años.

Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> • La armada debe considerar las regulaciones ambientales y la gestión responsable de sus operaciones. • Existe un compromiso autoimpuesto de sustentabilidad por parte de la escuela. • Actualmente la escuela desperdicia recursos que podrían ser reciclados. • Actualmente la escuela no aprovecha a cabalidad el potencial de las energías renovables que se presentan en su entorno.
Legal	<ul style="list-style-type: none"> • La Escuela Naval debe cumplir con las leyes y regulaciones marítimas nacionales e internacionales. • No es posible modificar la fachada de la escuela debido a ser un edificio patrimonial. • Se debe contar con diversos documentos y permisos con tal de instalar las nuevas tecnologías que la escuela requiere.

De este análisis se aprende que las tecnologías actuales utilizadas por la escuela están obsoletas, y que la escuela se encuentra en riesgo de aumentar sus costos a medida que los precios de las energías no renovables aumenten. Además, las tecnologías actuales de la escuela son anticuadas, y existen tecnologías las cuales tienen la posibilidad de reducir los costos operacionales de la escuela, a la vez que reducen su huella de carbono.

Por otro lado, el proyecto se debe realizar teniendo en cuenta las regulaciones que afectan a la Escuela Naval, por ser un organismo gubernamental y militar. También se debe tener en cuenta los permisos y documentos legales que se necesitan para poder realizar el proyecto de manera adecuada.

2.2. Identificación de recursos críticos y requerimientos necesarios para implementar las decisiones estratégicas

El desarrollo de este proyecto requiere una gran cantidad de recursos, ya sean nuevos a adquirir, actualmente presentes en las instalaciones de la escuela, o adaptables y modificables. Tan importante identificación de recursos se sigue a continuación.

2.2.1. Recursos Financieros

Con respecto a las finanzas de la escuela, no se cuenta con una fuente de financiamiento, ya que el valor estimado a entregar depende del estudio a realizar, el cual será una base para solicitar recursos y ejecutar el proyecto. La Escuela, en el área de vinculación con el medio, puede contar con financiamiento interno (Armada), externo (público o privado) o mixto.

Es por esta razón que el presupuesto destinado al desarrollo del proyecto será determinado en gran medida por la magnitud de las medidas a tomar dentro del plan de sustentabilidad, tomando en consideración las restricciones del proyecto y los costos y flujos.

2.2.2. Recursos tecnológicos

En cuanto a la tecnología actualmente disponible y eventualmente reutilizable para el desarrollo del futuro proyecto, se ven diversas fuentes. Por el lado de la generación de energía limpia, la escuela tiene luminaria eléctrica con energía solar alrededor de los edificios, las cuales están conectadas a baterías individuales. Con respecto a la reutilización de agua, el uso de cañerías actuales podría usarse para conectarse con las tuberías nuevas de recolección, y la escuela tiene un proyecto actual de separación entre aguas grises y negras para redirigir las grises junto al agua lluvia a un eventual estanque. Finalmente, en cuanto a las calderas es poco lo que se podría reutilizar de las tres calderas de 1959 y cañerías de mucha antigüedad, por lo que tal cambio vendría con mayores costos.

2.2.3. Recursos materiales

La infraestructura de la Escuela Naval es extensa. Las casi 15 hectáreas de terreno cuentan con vastas áreas verdes que requieren riego, parques y canchas que permiten la práctica de deportes varios. Siguiendo esta misma rama, se cuenta con un gimnasio techado y piscina olímpica, resultando así un campus de alto nivel en cuanto a infraestructura deportiva.

En cuanto a la infraestructura académica, la escuela cuenta con múltiples salas y laboratorios, además de un comedor para los cadetes, oficinas, una biblioteca, dormitorios y una estructura completa de servicios auxiliares. El edificio, además, es de conservación histórica, lo que quiere decir que su fachada está protegida y no puede ser modificada, por lo que una eventual instalación energética (como, por ejemplo, paneles solares) podría ser eventualmente instalada en los techos planos ya que no se interfiere la fachada.

2.2.4. Recursos humanos y organizacionales

Una de las principales fuentes de información para el desarrollo del proyecto es el contacto con la teniente Carolina Cuadra, quien es nuestro principal contacto con la escuela, el jefe de departamento de gestión y acreditación Jorge Weldt, el teniente René Gallegos y Cristian Bravo, encargado de proyectos técnicos. Mediante reuniones periódicas de manera remota y una visita presencial a la escuela, se ha logrado entender de la mejor manera posible la situación y las necesidades del cliente, y se les ha pedido información relevante como la cantidad de energía y agua que consumen, el presupuesto para la realización del proyecto, entre otros.

Desde una perspectiva organizacional, la institución busca cambiar su forma de operación actual por una más sustentable. La Escuela Naval ha hecho esfuerzos por transición al uso de energías renovables y el reciclaje de recursos donde sea posible. Entonces, como organización, la Escuela Naval le da gran peso a este proyecto, y han realizado su mejor esfuerzo para proveer la información necesaria para la correcta realización de este.

La escuela no cuenta con la capacidad de realizar los tres proyectos a la vez, debido a que cada proyecto conlleva a realizar modificaciones a la infraestructura de la escuela y un costo monetario asociado. Además, cada proyecto requerirá la realización de capacitaciones a los funcionarios de la escuela que correspondan. Debido a lo anterior, y a que los fondos de la escuela son limitados, las capacidades organizacionales de la escuela son limitadas.

Desde esta perspectiva, el proyecto más simple de realizar es el de calderas, ya que se deben simplemente remover las calderas antiguas he instalar las nuevas. La escuela ya cuenta con técnicos especializados en calderas, por lo que la capacitación para el uso de las nuevas calderas no sería extensa.

Por otro lado, para la instalación de paneles se requeriría de una modificación de gran parte de los techos de la escuela, y requeriría de modificaciones a la red eléctrica. Además de esto, se deberá capacitar al personal eléctrico y de limpieza de la universidad para el correcto uso y cuidado de los paneles.

Por último, el proyecto de reutilización de aguas grises requiere de una excavación para la instalación de una planta de tratamiento de agua, así como también la instalación de bombas y modificación de la red de riego de la escuela. Este es el proyecto más complejo desde una perspectiva organizacional, ya que el mayor cambio estructural para la escuela. Además de esto, se requerirá capacitar al personal de la escuela sobre el correcto mantenimiento de la planta de tratamiento de agua.

2.2.5. Recursos para el proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto será preciso adquirir nuevos recursos, así como adaptar otros. Con respecto al área de generación energética, se evaluó para la zona que la energía renovable más adecuada para la zona es la energía solar, por lo que se deberá analizar el espacio disponible en los techos planos de los edificios para notar cuánta área disponible hay para la generación, para que, luego

evaluando la futura generación con esta área ocupada y su respectivo coste de instalación, se analice cuántos paneles son precisos instalar. Para esto, se cotizará con agencias externas el coste de instalación y nuevas líneas de cableado eléctrico.

Para el área de la reutilización de agua, no se necesitarán nuevas tuberías para distribuirla, sino que una intervención en la tubería actual para redirigirla al estanque de recolección en lugar de tirarla al mar, así como uno o más estanques de recolección y el movimiento de tierra respectivo para la instalación. Como está en proceso el proyecto de separar aguas grises y negras, se tomará como hecho, por lo que sólo se necesitará el estanque, una planta de tratamiento de aguas grises y tuberías que lleven esta agua a las áreas verdes de la cancha de fútbol, y, si la cantidad es suficiente, al patio central.

En cuanto a las calderas, se cuenta con una a gas (1959, 8,6 bar), una mixta (1959, 13 bar) y una a vapor (1974, 13 bar), las que se usan para complejo deportivo, piscinas, duchas, cocina, lavandería. Estas calderas, al ser tan antiguas, tienen una eficiencia muy por debajo de las calderas actuales, por lo que en este punto se ve una gran capacidad de mejora en la eficiencia energética, así como en la reducción de la huella de carbono. De igual forma que para los incisos anteriores, se deberá cotizar la instalación de éstas, así como los cambios que se deberán hacer en la sala de calderas y conexiones.

Para la realización de este proyecto, fue fundamental conocer las instalaciones de la Escuela Naval para tener conocimiento empírico y real de la situación actual con respecto al tema de abastecimiento energético. Además, se pudo conversar con los especialistas involucrados con el proyecto. El [Anexo 3](#) muestra una imagen de esta visita.

Otro factor relevante consiste en la información que se requiere para evaluar las decisiones estratégicas escogidas. En el caso de la reutilización de aguas grises o de aguas lluvias, se obtuvo información acerca del terreno de la escuela y la cantidad de agua que es posible reciclar. Con esta información, se contactó a la empresa *O&G* y *Fibra Nov* para realizar una cotización respecto a una planta de tratamiento de aguas grises y un estanque de acumulación final. De esta cotización se obtuvo información sobre los requerimientos de la planta de tratamiento que mejor se adecua con las necesidades de la escuela. Se obtuvieron también los costos de dicha planta y la posible cantidad de agua que puede ser reciclada.

Para la posibilidad de un cambio completo de las calderas, se realizaron los supuestos necesarios para poder realizar una estimación de consumo de agua caliente, vapor y potencia requerida, ya que la Escuela Naval no cuenta con muchos datos sobre sus calderas actuales más que el año de fabricación y la temperatura y presión de trabajo, lo cual no es suficiente para realizar una comparación exhaustiva. Con estos supuestos, se cotizaron 2 calderas: una a vapor y una de agua caliente con la compañía *Bosch*, específicamente se tuvo contacto con Cristian Granadino, quien aportó con un rango de precios estimados para estas calderas, ya que al no tener suficiente información no fue posible obtener un número específico.

Con respecto a la última decisión estratégica planteada, antes de averiguar y cotizar paneles solares para la generación de energía solar, fue preciso visitar la Escuela en una primera instancia para evaluar el terreno y luego analizar distintas opciones de paneles, para basarse en la cotización de *Terralink* para la selección más adecuada.

2.3. Modelo de negocio a seguir para la implementación del proyecto de acuerdo con la Estrategia del Cliente y Análisis PESTEL

La Escuela Naval se encuentra en una etapa de análisis de alternativas sobre como volverse más sustentable como organización. Debido a la naturaleza del proyecto, no existe un mercado en el cual la Escuela Naval desee competir. Es por esto que no se puede definir un modelo de negocios tradicional para el proyecto, por lo que en esta sección se realizará un análisis de la relevancia del proyecto para la escuela. De acuerdo con el análisis PESTEL y la identificación de recursos críticos, se concluye que el proyecto tiene dos focos. Por un lado, se busca la reducción de costos operacionales para la escuela.

Por otro lado, se busca reducir la huella de carbono de institución, para que esta sea más ecológicamente amigable.

En cuanto a la reducción de costos, la escuela debe operar de la forma más eficiente posible, debido a la incertidumbre económica que esta tiene, ya que su única fuente de fondos es el gobierno de Chile. Además, como cualquier organización, la Escuela Naval debe operar con los menores costos posibles. De los análisis anteriores se evidenció que la escuela no está operando tan eficientemente como podría, y que las tecnologías actuales del mercado pueden proporcionar las herramientas necesarias para reducir costos y operar de manera óptima.

En cuanto a la reducción de la huella de carbono de la institución, la Escuela Naval requiere operar de forma más ecológica debido a varios factores. En primer lugar, existe un compromiso autoimpuesto de sustentabilidad por parte de la escuela el cual obliga a la institución a reducir su huella de carbono. En segundo lugar, la sequía que amenaza a la Región de Valparaíso, y las alzas de los precios de las energías no renovables hacen que la adaptación de energías atractivo para la escuela. En tercer lugar, la institución busca mejorar su imagen pública en cuanto a sustentabilidad.

Por lo anterior, la relevancia del proyecto para la Escuela Naval radica en tanto la disminución de costos operacionales como en la reducción de su huella de carbono. Para el correcto desarrollo del proyecto se debe seguir una serie de pasos para analizar cada una de las tres tecnologías sustentables expuestas en el informe. Estos son:

1. **Identificar tecnologías:** Se debe investigar el mercado y encontrar tecnologías las cuales cumplan con las expectativas y requisitos de la Escuela Naval, las cuales sean factibles de implementar dado el contexto de la escuela.
2. **Establecer los beneficios potenciales:** Una vez que se hayan identificado tecnologías sustentables adecuadas, se debe realizar un análisis de los beneficios que estas puedan traer a la escuela.
3. **Evaluar los costos:** Se debe realizar un análisis de costo vs beneficio de acuerdo con que tanto aportarán estas tecnologías en términos económicos y ecológicos a la Escuela Naval.
4. **Realizar análisis de viabilidad:** Se debe calcular el VAN y TIR de los costos y beneficios monetarios con tal de dilucidar los potenciales ahorros monetarios que el proyecto puede ofrecer.
5. **Tomar decisión final:** Una vez que se hayan realizado todos los análisis necesarios, se deberá tomar la decisión de implementar o no una determinada tecnología sustentable, tomando en cuenta las necesidades y recursos de la Escuela Naval.

Se deben seguir estos lineamientos para las áreas de reutilización de aguas grises, cambio de calderas y paneles solares, con tal de obtener un análisis completo de los beneficios, costos y factibilidad de cada tecnología. Con esta información, se podrá realizar a la Escuela Naval una recomendación adecuada sobre cómo reducir su huella de carbono, y transformar a la escuela en una institución más amigable con el medio ambiente, que opere de forma eficiente.

3. EVALUACIÓN: MODELACIÓN Y ANÁLISIS

3.1. Modelación detallada del Proyecto y Caso Base Optimizado

3.1.1. Modelación del proyecto de tratamiento de aguas

Para el proyecto de aguas, dos integrantes del grupo se pusieron en contacto con *O&G*, una empresa que se especializa en el tratamiento de aguas (*O&G*, s.f.), para hacer una cotización de planta de tratamiento de aguas. Desde la Escuela Naval, especificaron que el proyecto de tratamiento de aguas

debía efectuarse sobre las aguas grises¹ generadas en los entrepuentes² de los cadetes y la recolección de aguas lluvias. Lo anterior se justifica en que la Escuela Naval tiene la infraestructura para separar las aguas grises casi completa. Esto se le mostró al equipo en la visita a terreno. Sin embargo, es necesario considerar que la Escuela Naval se encuentra un área de concesión³ de la empresa Esval, por lo tanto, para poder llevar a cabo el proyecto, se deberá presentar un certificado de factibilidad y un comprobante de solicitud de aprobación del proyecto de reutilización de aguas grises ante la autoridad sanitaria regional (BCN, 2019). Por lo tanto, para poder llevar a cabo el proyecto, es necesario que tanto la evaluación económica, como la factibilidad del proyecto sean favorables.

La Escuela Naval cuenta con aproximadamente 18.000 m² de áreas verdes, por lo que se requiere una gran cantidad de agua para poder regar toda la escuela. El teniente René Gallegos comentó que, a pesar de que algunas áreas verdes pueden ser reemplazadas, hay otras áreas como el patio principal o la cancha de fútbol las cuales deben mantenerse con pasto a pesar de la inminente sequía. Debido a esto, el ahorro de aguas es de vital importancia para la escuela. En contraste con el caso base optimizado, reutilizar aguas que antes eran desechadas para el riego de la escuela sería una ganancia no solo económica para la escuela, sino también disminuiría el impacto medioambiental de la Escuela Naval en cuanto a la sequía que afecta la región.

Para la evaluación económica, la Escuela Naval puso a disposición de los alumnos los datos de consumo de agua actual. Luego, los alumnos estimaron el volumen de aguas grises que se podrían reutilizar por mes. Siguiendo con esta línea, se estimó el volumen de aguas lluvia que se podría recolectar de manera mensual. Finalmente, los alumnos calcularon la alimentación que tendría la planta de tratamiento de aguas grises durante un año. Este procedimiento se detalla a continuación.

3.1.1.1. Consumo de agua actual

La escuela cuenta con tres medidores de agua, uno en el complejo deportivo, otro es el medidor principal y el último es la red de incendio. La red de incendio es utilizada para regar las áreas verdes de la escuela, que incluyen múltiples patios con pasto y una cancha de fútbol. En total son 18.000 metros cuadrados de áreas verdes en el campus de la escuela. El consumo de agua en el último año se presenta en el siguiente gráfico.

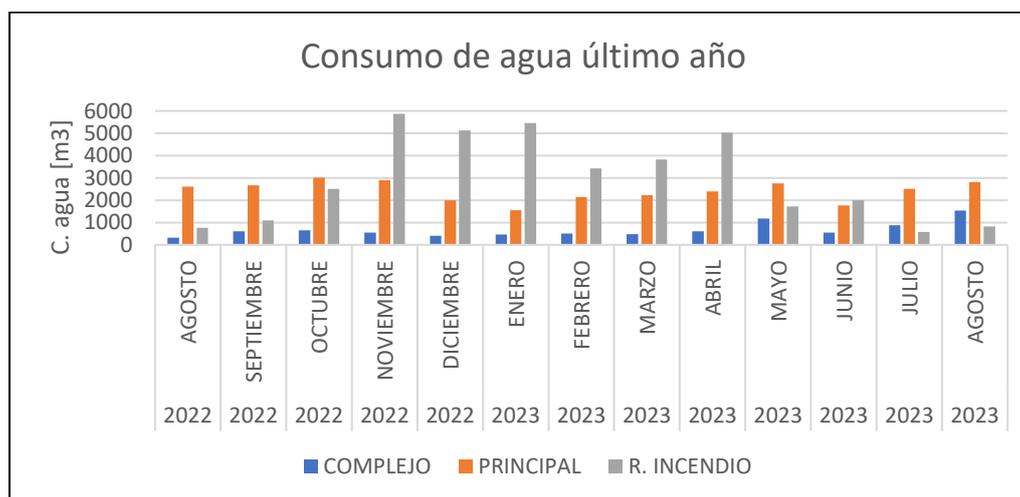


Figura 4: Consumo de agua en el último año. Fuente: Elaboración propia

¹ Corresponden a las aguas consumidas por las duchas y los lavamanos. Excluyen al agua consumida en los inodoros.

² Dormitorios de los cadetes.

³ “Área geográfica delimitada en extensión territorial y costa, donde existe obligatoriedad de servicio para las concesionarias de distribución de agua potable y de recolección de aguas servidas” (Esval, s.f.).

Podemos ver que, en los meses más calurosos del año, el consumo de agua se eleva en la red de incendios, ya que es la que utilizan para regar las áreas verdes. Asimismo, en entre los meses de diciembre y enero el consumo principal cae producto de las vacaciones de los cadetes. Cabe destacar que el agua que las aguas grises destinadas a una futura planta de tratamiento representan una fracción del consumo del medidor principal.

3.1.1.2. Estimación de aguas grises

El [Anexo 4](#) presenta los cálculos para la estimación de generación de aguas grises en la escuela. El siguiente gráfico resume los consumos reales estimados por mes. Los meses modificados sobre el escenario actual producto de las consideraciones anteriores fueron enero, febrero, julio, septiembre y diciembre. Para calcular los días generales, sábados y domingos se utilizó el calendario del 2022.

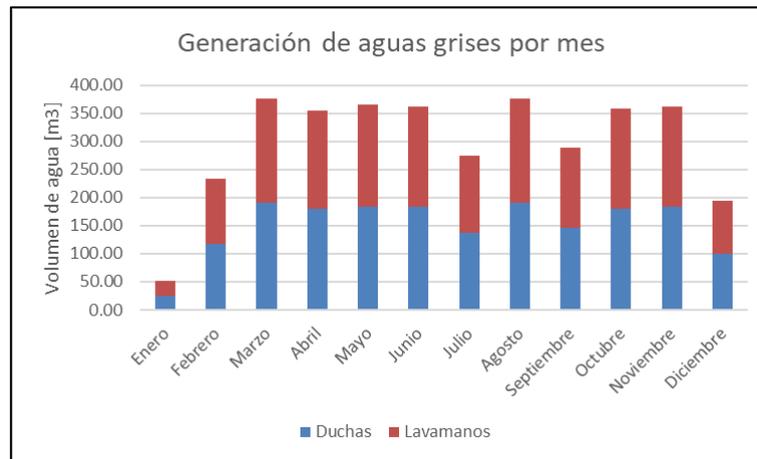


Figura 5: Generación de aguas grises por mes. Fuente: Elaboración propia

3.1.1.3. Estimación de agua lluvia

El [Anexo 5](#) muestra los detalles para la estimación de aguas lluvias. Para este proyecto consideramos dos escenarios: el primero no contempla las aguas lluvias y el segundo contempla un estanque de 10 m³ para la acumulación de aguas grises tratadas y aguas lluvias.

3.1.1.4. Reutilización y consumo desde la planta y estanque durante un año

Para la evaluación del proyecto, consideraremos los datos proporcionados por la Escuela Naval sobre el consumo de agua. Para la información de consumo de agua desde la planta de tratamiento, usaremos el medidor de la red de incendio, dado que esta es el agua que se usa para regar las áreas verdes de la escuela. Luego, para cada mes, se usará la estimación de consumo de aguas grises que se hizo en el punto 2. Por último, para la recolección de agua lluvia, se utilizará el promedio de precipitaciones acumuladas por mes de los últimos 5 años. Esta información se ilustra en el [Anexo 8](#).

El siguiente gráfico muestra la reutilización de aguas para el escenario 2, escenario que incluye la planta de tratamiento de aguas grises y la recolección de aguas lluvias en un estanque de 10 m³.

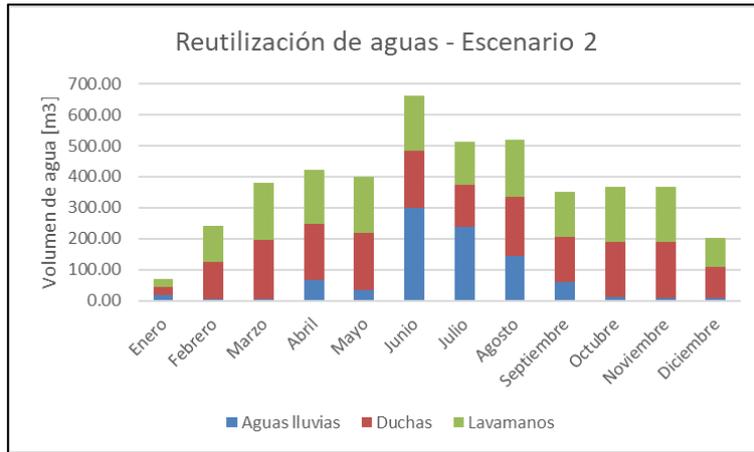


Figura 6: Reutilización de aguas por categoría. Fuente: Elaboración propia.

Podemos distinguir que el componente más importante para la alimentación de la planta es la recolección de aguas lluvias. Sin embargo, y como se puede ver en el siguiente gráfico, los meses que más se consume agua para regadío es en los meses de verano, los que coinciden con la menor alimentación a la planta

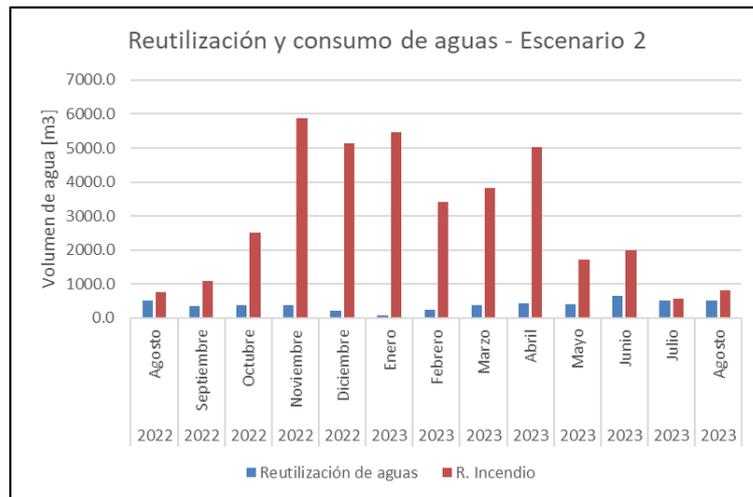


Figura 7: Reutilización y consumo de aguas por mes. Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.5. Cotización

La información anterior fue entregada a O&G y realizaron la siguiente cotización: una planta de tratamiento de aguas grises modelo VA4.5 ci de 5,5 m³ de capacidad. Esta planta es capaz de tratar 13 m³ de aguas grises por día. Además, la empresa indicó la construcción de un estanque de acumulación final de agua de 1 m³ para las aguas grises y sugirió que si se quiere añadir también las aguas lluvias, que se acumulen en ese estanque. En este caso, el estanque debería ser de mayor tamaño, dependiendo de la cantidad de agua lluvia que quiera reutilizarse. El monto de la planta de tratamiento junto con su equipamiento es de 303 UF (\$10.971.139 pesos). Este monto excluye el estanque de acumulación final; IVA; obras civiles; excavaciones y rellenos; retiro de escombros; empalmes eléctricos e hidráulicos; tramitaciones y aprobaciones legales; flete a destino; grúa para descarga y posicionamiento; consumo eléctrico y agua potable durante montaje y puesta en marcha; traslado y estadía del técnico para la puesta en marcha. El desglose del monto de la planta se encuentra en el [Anexo 9](#). El estanque de acumulación de aguas fue cotizado con la empresa *Fibra Nov*.

3.1.2. Modelación del proyecto de calderas

Para el modelo de las calderas, dos integrantes del grupo realizaron diferentes cotizaciones de distintos tipos de calderas. Se nos hizo saber desde el principio que la idea era cambiar las calderas completamente, por lo que se procedió de esta manera. La Escuela Naval cuenta con 3 calderas, una de agua caliente, una de vapor y una mixta. La mayor dificultad en este ámbito ha sido la dificultad para conseguir información, ya que sólo fue posible obtener de parte del cliente las temperaturas y presiones de trabajo de las calderas, pero estos datos no son suficientes ya que una caldera industrial con un gran caudal podría trabajar a la misma temperatura y presión que una caldera muy pequeña.

Es por esto por lo que el análisis fue basado en la cotización de diferentes calderas de distintos rangos, haciendo un estimado del consumo utilizado por la Escuela Naval diariamente, y mediante esos datos se buscaron calderas de los tipos definidos anteriormente que puedan suplir las demandas requeridas por la institución. Para todos los supuestos de consumos de cada sector, se sacaron datos de diferentes fichas técnicas de productos similares ya que no se tiene la especificación los productos con los que cuenta la Escuela Naval, y se hicieron los supuestos que se consideraron prudentes para obtener una estimación adecuada. Esto no es un cálculo 100% asertivo, pero sirve para tener un orden de magnitud de lo que se necesita. Los cálculos detallados y supuestos se encuentran en el [Anexo 10](#).

Se cotizaron unas calderas *Bosch* que se comparan con las calderas actuales en las siguientes tablas:

Caldera de vapor:

Tabla 2: Comparación de caldera de vapor actual con modelo Bosch CSB.

	Caldera Actual	Caldera Bosch CSB
Tipo	Pirotubular	Pirotubular
Presión de trabajo	2,5 – 1,8 bar	16 bar
Temperatura	150 - 210 °C	224 °C
Alimentación	Gas - Diesel	Gas - Diesel – Biocombustibles – hidrógeno - Dual
Caudal	2.273 kg/h	300 – 5.200 kg/h

Caldera de agua caliente:

Tabla 3: Comparación de caldera de agua caliente actual con modelo Bosch UNIMAT-UTL.

	Caldera Actual	Caldera Bosch UNIMAT-UTL
Tipo	Pirotubular	Pirotubular
Presión de trabajo	4 bar	16 bar
Temperatura	60 – 75 °C	50 - 110 °C
Alimentación	Gas - Diesel	Gas - Diesel – Biocombustibles – hidrógeno - Dual
Caudal	4.266,33 kg/h	650- 25.000 kg/h
Potencia	14.239 kWh	-

Como se puede apreciar en las tablas comparativas, las calderas propuestas cumplen con los caudales estimados y las potencias requeridas. Más adelante se explayan los precios y el ahorro que esto puede significar.

Como se mencionó anteriormente en el informe, los precios de Diesel y gas natural son impredecibles y tienden al alza en el tiempo. Es por esto que las calderas propuestas presentarían un ahorro sustancial a la escuela en contraste con el caso base optimizado. El cambio de estas calderas contempla ahorros futuros para la escuela que las calderas actuales no pueden ofrecer. Además, las calderas actuales son de una antigüedad considerable, lo que las hace mucho más propensas a fallas que las nuevas calderas propuestas. Es por esto que el caso base optimizado para el proyecto de las calderas no resulta muy atractivo en comparación con la solución propuesta.

3.1.3. Modelación del proyecto energético

Con respecto a la generación de energía, tras la recopilación de información de diversas fuentes se encontró que las mejores fuentes de energía renovable no convencional (ERNC), considerando los recursos, características geográficas de la zona y la eficiencia de cada una, era la solar y la eólica. No obstante, al sumar restricciones externas, tales como el mantener la fachada del edificio puesto que es un edificio de conservación histórica, se descarta la energía eólica. Así, se determina la energía solar como la ERNC a utilizar debido a su eficiencia y características. Los detalles de la modelación se encuentran en el [Anexo 11](#).

Mediante una cotización con la empresa *Terralink*, se estimó que 635 paneles entregarán anualmente 491.101 kWh, equivalente a un 72% del consumo total de 680.841 kWh, los cuales estarán conectados igualmente mediante el sistema de *net-billing* a la red. El siguiente gráfico muestra la generación de energía solar y el consumo que sostiene la escuela de manera mensual.

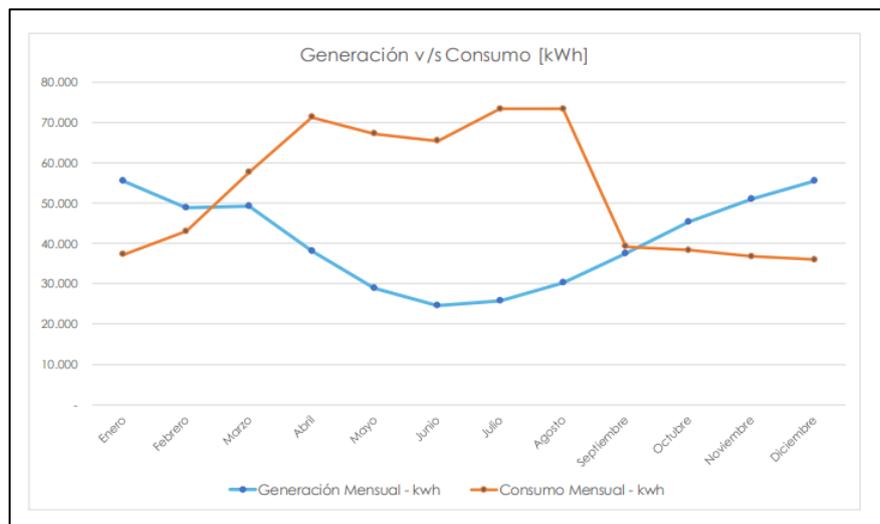


Figura 8: Generación vs consumo energético. Fuente: Elaboración propia.

Además, para la modelación de este proyecto, *Terralink* presentó dos opciones que serán las consideradas en el presente informe: con financiamiento y sin el mismo. Para la primera opción se considera un financiamiento propuesto a 8 años, donde la consultora se encarga de financiar la inversión y para la segunda la Escuela Naval incurriría en tal gasto.

En contraste con el caso base optimizado, de no instalar paneles solares se estaría desaprovechando una gran cantidad de energía. Además, con la instalación de paneles solares la escuela reduciría su huella de carbono de forma sustancial, mientras que en el caso base optimizado la escuela no se acercaría a su objetivo de reducir la misma.

3.2. Cálculo de Costos Económicos

3.2.1. Costos Económicos proyecto de tratamiento de aguas

Los costos que se tienen en el proyecto de aguas grises son los siguientes:

Tabla 4: Costos proyecto planta tratamiento de agua.

Parámetro	Detalle	Precio	Fuente
Consumo hipoclorito de calcio	13 pastillas por mes	\$41.600 por mes	(Mercado Libre, 2023)
Consumo sulfito de sodio	11 pastillas por mes	\$35.200 por mes	(Mercado Libre, 2023)
Mantenciones	1 vez al año	12 UF por año	O&G

En estos costos no se detalla la inversión inicial, dado que se presenta más adelante.

3.2.2. Costos Económicos proyecto calderas

Los costos más significativos asociados a la actualización del sistema de calderas se relacionan principalmente con la adquisición e instalación del equipo. Cabe destacar que la Escuela Naval dispone de un equipo técnico encargado de llevar a cabo las labores de mantenimiento requeridas y de supervisar su funcionamiento, lo que significa que no se generan costos incrementales en esta área.

3.2.3. Costos Económicos proyecto energético

Para calcular los costos económicos del proyecto energético, es preciso notar que no hay costos de infraestructura, marketing ni exteriores. No obstante, según *Terralink* los paneles solares tienen un costo de mantención anual que comienza en \$7.489.852 y va creciendo 3,6% por periodo. Además de esto, si se toma en cuenta el escenario con financiamiento, los primeros 8 años tienen un costo extra que sería para pagar el mismo, correspondiente a una tarifa fija de 122 UF al mes o 1.464 UF anual. Es importante mencionar que, los pagos mensuales del financiamiento se pagarían con la energía generada por los paneles. Se considera como costo debido a que esa energía hubiese sido considerada como ahorro o ingreso.

3.3. Cálculo de Ingresos

3.3.1. Ingresos proyecto de tratamiento de aguas

En este proyecto, al igual que en los otros dos, no existen ingresos como tal, sino que la Escuela Naval deja de pagar una porción del agua consumida cada mes. En otras palabras, los ingresos del proyecto serán los ahorros producto de este. Como el agua tratada por la planta será destinada a regadío, este ahorro se verá reflejado en una disminución del consumo de agua de la red de incendio. Tomando una tarifa de agua de constante obtenida de la cuenta de agua de septiembre de la Escuela Naval de \$1.945,1 pesos por m³ para el consumo, recolección y tratamiento del agua, se presentan dos escenarios para el proyecto:

- Escenario 1: No se consideran las aguas lluvias

Al no considerar las aguas lluvias, solo se reutiliza el agua consumida por la escuela. Los ingresos para este escenario se detallan a continuación:

Tabla 5: Ingresos mensuales planta de tratamiento de agua - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total anual
Consumo R.I.(m3)	5.458	3.428	3.827	5.029	1.726	1.988	583	815	1.092	2.508	5.875	5.129	37.458
Alimentación planta (m3)	51	234	376	355	365	362	275	376	289	358	362	195	3.598
Ahorro agua (m3)	51	234	376	355	365	362	275	376	289	358	362	195	3.598
Ingresos mensuales (CLP)	99.531	455.737	731.295	689.546	710.514	703.255	535.011	731.295	563.052	696.805	703.255	379.668	6.998.964

- Escenario 2: Se considera un estanque de 10^4 m^3

Tabla 6: Ingresos mensuales planta de tratamiento de agua - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total anual
Consumo R.I.(m3)	5.458	3.428	3.827	5.029	1.726	1.988	583	815	1.092	2.508	5.875	5.129	37.458
Alimentación planta (m3)	51	234	376	355	365	362	275	376	289	358	362	195	3.598
Recolección agua lluvia (m3)	17,5	6,1	4,6	67,7	34,4	300,0	236,5	143,5	61,3	9,9	6,9	8,4	897
Ahorro agua (m3)	69	240	381	422	400	662	512	519	351	368	368	204	4.495
Ingresos mensuales (CLP)	133.492	467.539	740.239	821.261	777.418	1.286.785	994.963	1.010.458	682.257	716.034	716.703	396.068	8.743.216

De los resultados anteriores, podemos observar que el ahorro de agua siempre fue contabilizado como la menor cantidad entre el consumo de la red de incendio y la alimentación a planta en conjunto con el agua lluvia (para el escenario 2). Esto es porque el agua de la planta de tratamiento esta exclusivamente destinada al riego. Si algún mes posee un exceso de alimentación, el agua tratada será depositada al alcantarillado en conjunto con las otras aguas consumidas en la escuela. Además, podemos notar que el ingreso anual del proyecto es de aproximadamente 7 y 8,7 millones para los escenarios 1 y 2 respectivamente.

3.3.2. Ingresos proyecto de calderas

Los ingresos percibidos por la actualización del sistema de calderas vienen dados por el ahorro en el consumo mensual de combustible, generado por la mejor eficiencia presente en las calderas modernas. La Escuela Naval tiene un gasto mensual de 10.037 m^3 . Este total también incluye servicios externos como la cocina y panadería, pero debido a la dificultad para discernir entre el gasto de cada servicio y a la baja eficiencia de las calderas, se estimó que el factor de las calderas comprende la totalidad de este gasto.

Con el fin de estimar un valor conservador acerca del ahorro real que tendría la Escuela Naval, se decidió generar el estimado por medio un promedio ponderado, en el cual se le otorgo un mayor peso al valor que se discutió con el agente de la empresa Bosch. El valor mínimo corresponde a un 5%, el valor máximo un 20% y el esperado de 12%. Estos valores representan el consumo de gas con la mínima eficiencia, la esperada y la máxima respectivamente. Luego se tiene que:

$$\text{Mínimo} = 0,95 \cdot 10.037 \text{ m}^3 = 9.535,15 \text{ m}^3$$

$$\text{Esperado} = 0,88 \cdot 10.037 \text{ m}^3 = 8.832,56 \text{ m}^3$$

$$\text{Máximo} = 0,80 \cdot 10.037 \text{ m}^3 = 8.029,6 \text{ m}^3$$

Luego, el valor estimado corresponde a:

$$\text{Estimación} = \left(\frac{9.535,15 \text{ m}^3 + 4 \cdot 8.832,56 \text{ m}^3 + 8.029,6 \text{ m}^3}{6} \right) = 8.815,83 \text{ m}^3$$

De esta forma, se estima que se generara un ahorro de $1.221,17 \text{ m}^3$ de gas al mes. Considerando que 20 m^3 de gas son equivalentes a 15 kg y que estos mismos tienen un valor actual de $\$24.500$ aproximadamente, se puede estimar que los ingresos mensuales percibidos por el ahorro en combustible son de $\$1.495.933$ pesos.

3.3.3. Ingresos proyecto energético

Los ingresos obtenidos a partir del proyecto energético, de la misma forma que los otros proyectos vienen en forma de ahorro de dinero. Con esto en mente, para realizar el trabajo solar existen dos escenarios.

⁴ Según el desarrollo del Anexo 9

- Escenario 1: Sin financiamiento
 - o En este caso, la Escuela Naval asumiría los gastos de inversión para el proyecto, realizando un ahorro de \$67.830.308 o de 65% de la cuenta energética en el primer año, \$62.982.829 o de 63% de la boleta para el año 5 y esto va bajando debido a la pérdida de eficiencia que viene atada a los paneles solares. Tomando en cuenta la vida útil que presentó *Terralink*, se estima un ahorro anual promedio de \$53.665.478, durante los 30 años que prometen.
- Escenario 2: Con financiamiento
 - o En este escenario, la empresa *Terralink* asumirá los costos de inversión con un leasing de los paneles solares recibiendo una cantidad de dinero mensual, pagado en forma de energía generada, hasta pagar la inversión en 8 años. Luego de esto, los paneles solares y la generación de electricidad pasa a ser completamente de la Escuela. En esta situación, el primer año se ahorrarían \$14.315.047 que equivale a un 14% de la boleta, de forma similar esto seguiría bajando año a año por la pérdida de eficiencia. Luego del pago de la inversión, el año 9 se ahorrarían \$56.055.388 que equivaldría al 60% de la cuenta de ese año. Con todo esto en mente, se tendría un ahorro promedio anual de \$37.802.955. En el siguiente gráfico se puede observar los valores de la cuenta eléctrica y el ahorro generado en este escenario por periodo.

El [Anexo 29](#) detalla los gráficos de gasto eléctrico y ahorro por periodo para cada escenario.

3.4. Inversión, capital de trabajo, valor residual, depreciación e impuestos

Para el desarrollo del proyecto nos centramos en la inversión que debe hacer la Escuela Naval para poder adquirir y mantener los equipos especificados que le brindan una mayor sustentabilidad. Es importante señalar que la Escuela Naval no paga impuestos por las matrículas de los cadetes, por lo tanto, no se consideraron los pagos de impuestos. Asimismo, no se consideraron depreciaciones de los equipos.

3.4.1. Inversión proyecto tratamiento aguas

Distinguimos dos escenarios: el primero contempla sola la planta de tratamiento de aguas grises. El segundo contempla la planta de tratamiento con un estanque de acumulación final de agua de 10 m³. La inversión del proyecto contempla el valor de los componentes junto con su instalación. Para el escenario 1 la inversión es de \$17.939.933 y para el 2 es de \$19.264.583 pesos. El desglose de las inversiones para cada escenario se presenta en el [Anexo 14](#), donde se detalla un IVA de aproximadamente 2 millones para ambos casos, debido a que considera los elementos comprados a *O&G*.

3.4.2. Inversión proyecto calderas

Para la inversión de la actualización de calderas, se debe considerar no solo el costo de adquisición de estas, sino también otros gastos asociados como lo son la instalación y transporte. Las calderas que cumplen con los requisitos y normativas aplicables varían en precio, con un rango de 80.000 y 100.000 dólares por unidad, lo que equivale a \$74.600.000 y \$92.600.000 pesos respectivamente. Esta variabilidad en los costos de adquisición depende de factores como la capacidad de la caldera, su eficiencia energética, rangos de presión y temperatura, y otras características específicas del modelo. Con el fin de adoptar una postura más conservadora, se optó por realizar los cálculos financieros considerando el mayor costo, el cual se empleará como la inversión inicial, es decir, \$92.600.000.

3.4.3. Inversión proyecto energético

En cuanto a la inversión de este proyecto, para la entrega pasada se tomó en cuenta la modelación propia de diferentes casos al de cubrir 50, 60, 70, 80 y 100 % de la demanda energética del mes de mayor consumo, pero tras la mayor información recolectada y de acuerdo a análisis de parámetros económicos, se notó que las dos nuevas opciones presentadas en la cotización son más realistas y rentables, por lo

que para esta entrega se tomarán en cuenta estas dos distintas posibilidades de realización: la de inversión propia y la de financiamiento externo, siguiendo la cotización realizada con *Terralink*.

La inversión necesaria para el caso de pagar por la instalación de los paneles solares y tener todo su beneficio desde el primer año es de \$306.038.250 y se ve desglosada en el [Anexo 30](#).

3.5. Estructura del Flujo de caja libre, tasa de descuento, periodo de evaluación.

3.5.1. Flujo de caja libre, tasa de descuento y periodo de evaluación para proyecto de tratamiento de aguas

Para el periodo de evaluación se utilizó un horizonte de 10 años, basado en la evaluación de un proyecto similar de Cecilia Hernández (Hernández, 2017), usando el año 2024 como el periodo inicial (t=0). La tasa de interés para el proyecto es de 9,5%, que fue obtenida de una evaluación de un proyecto similar por la Asesoría Técnica Parlamentaria (Baeza, 2023). Además, según lo explicado en el punto 3.4, no se consideraron impuestos y tampoco depreciación para el proyecto. Se asume ingresos y costos constantes a lo largo de los años. La siguiente tabla muestra los flujos de caja libre para los escenarios 1 y 2 del proyecto para los primeros 5 años. El [Anexo 15](#) detalla el desarrollo completo de los primeros dos años de los escenarios. El resto de los años son iguales porque asumimos todo constante.

Tabla 7: Flujos de caja libre escenarios 1 y 2 para los primeros 5 años. Fuente: Elaboración propia.

Escenario	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
1	\$-17.939.933	\$5.027.321	\$5.027.321	\$5.027.321	\$5.027.321	\$5.027.321
2	\$-19.264.583	\$6.574.409	\$6.574.409	\$6.574.409	\$6.574.409	\$6.574.409

3.5.2. Flujo de caja libre, tasa de descuento y periodo de evaluación para proyecto de calderas

Considerando un horizonte mínimo de 10 años del proyecto, y utilizando el año 2024 como el tiempo inicial, con una tasa de interés del 9,5% obtenida como se mencionó anteriormente, se obtiene unos flujos de caja libre para los escenarios en que se incurren en costos de inversión de los casos propuestos de:

Tabla 8: Flujos de caja libre para los 2 casos para los primeros 4 años. Fuente: Elaboración propia.

Escenario	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
1	\$-92.600.000	\$17.951.190	\$17.951.190	\$17.951.190	\$17.951.190	\$17.951.190

Se puede apreciar que los flujos de caja libre son los mismo para todos los periodos pues los ingresos percibidos corresponden al ahorro estimado en base a la mejora en la eficiencia del sistema de calderas. El cálculo de estos flujos de caja se encuentra en el [Anexo 16](#).

3.5.3. Flujo de caja libre, tasa de descuento y periodo de evaluación para proyecto energético

Para la evaluación de este proyecto se utilizó como horizonte la vida útil prometida del panel, es decir, 30 años, usando el 2024 como el año de inicio (Valdés, Rodríguez, Miranda, & Lillo, 2020) Para la tasa de interés, se encontró que para proyectos iniciados el 2020, tienen una tasa de 9,2% y, los del 2025 una tasa de 14,5% (Rodríguez, 2017). Por lo tanto, se hizo una relación lineal para obtener que la tasa para un proyecto el 2024 será de 13,44%. De esta forma, y sin considerar los impuestos puesto que no existirían, a partir del [Anexo 18](#) se obtiene la siguiente tabla de los primeros años de los flujos de caja

libre, debido a que después de éstos se mantiene constante. Con todo lo anterior en mente, se obtiene la siguiente tabla de los primeros años de los flujos de caja libre.

Tabla 9: Flujos de caja libre para proyecto energético. Fuente: Elaboración propia

Escenario	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
Inversión propia	-306.038.250	67.830.308	62.648.976	63.423.977	63.668.467	62.982.829
Financiamiento	-	14.315.047	7.528.257	6.638.637	5.190.897	2.750.931

Es importante mencionar que, los flujos que se muestran en la tabla anterior y los que corresponden al resto de los años se obtuvieron a partir de variaciones en el precio de la energía según lo entregado por los expertos de Terralink. Estas estimaciones se realizaron a partir del tarifario de la proveedora de la Escuela Naval. Además de esto se consideró la pérdida de eficiencia de los paneles solares.

3.6. Análisis de la rentabilidad del proyecto: VAN, TIR, Payback.

3.6.1. Análisis proyecto de tratamiento de aguas

La siguiente tabla resume los resultados del análisis de rentabilidad del proyecto para ambos escenarios.

Tabla 10: Análisis de rentabilidad para proyecto de aguas. Fuente: Elaboración propia.

	Escenario 1	Escenario 2
VAN (\$CLP)	13.625.599	22.014.801
TIR	25%	32%
PB (años)	3,57	2,93

De los resultados anteriores se desprende que el escenario 2, es decir, la incorporación de las aguas lluvias al proyecto es un escenario más provechoso para la Escuela Naval, debido a que el VAN es 62% mayor en comparación con el escenario 1 y su TIR es 7 puntos porcentuales más alta. Además, se paga medio año antes.

3.6.2. Análisis proyecto calderas

Utilizando una tasa del 9.5% como se mencionó anteriormente y una vida del proyecto de 10 años, se llegó a la siguiente conclusión del análisis de rentabilidad.

Tabla 11: Análisis de rentabilidad para calderas. Fuente: Elaboración propia

Métrica	Valor
VAN (\$CLP)	\$20.111.953
TIR	14%
PB (años)	5,16

3.6.3. Análisis proyecto energético

Para el cálculo de los parámetros económicos como el VAN, TIR y Payback, se utilizó una tasa de descuento de 13,44% como se mencionó anteriormente y se resumen los dos escenarios.

Tabla 12: Análisis de proyecto energético. Fuente: Elaboración propia

	Escenario 1: Inversión propia	Escenario 2: Financiamiento externo
VAN (\$CLP)	\$110.115.179	\$140.335.246

TIR	19%	-
Payback (años)	4,76 años	-

De la tabla de arriba, se puede ver que ambos escenarios son bastante provechosos para la Escuela Naval. El escenario 1 presenta un mayor beneficio económico en términos de ahorro para la escuela, no obstante, el escenario 2 también presenta muy buenos parámetros y no requiere de inversión por parte de la escuela, haciendo que la decisión se pueda basar en las prioridades de la escuela.

3.7. Planteamiento y Análisis de la Sustentación de la rentabilidad

Para el análisis de sustentación del proyecto, se consideraron dos amenazas: expropiación de la renta e ineficiencias.

3.7.1. Planteamiento y Análisis para proyecto de aguas

3.7.1.1. Expropiación de la renta

La expropiación de la renta en el proyecto de aguas es factible, debido a los permisos legales que se requieren para la construcción de una planta de tratamiento de aguas grises. Si se da el caso que la Escuela Naval no logra obtener la aprobación legal para llevar a cabo la construcción de una planta de tratamiento de aguas grises, no se podría llevar a cabo la construcción de la planta de tratamiento de aguas. En su defecto, solo podría desarrollarse el proyecto de aguas lluvias (escenario 3). Su VAN, TIR y *payback* se muestran a continuación.

Tabla 13: Métricas financieras escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VAN (\$CLP)	13.625.599	22.014.801	8.389.202
TIR	25%	32%	117%
PB (años)	3,57	2,93	1

Podemos notar que este escenario resulta favorable, debido a la baja inversión que tiene. El estanque, las obras de conducción del agua hacia el estanque y el flete suman una inversión de aproximadamente \$1,3 millones de pesos. Mientras que los ingresos anuales son de \$1,7 millones de pesos. Con respecto a la TIR, esta está sobredimensionada debido a la baja inversión que tiene el proyecto. En particular, los ingresos del primer año son mayores que toda la inversión.

3.7.1.2. Ineficiencias

Las ineficiencias en este proyecto se traducen en una menor captura de agua. Para la situación inicial, se asumió que todas las aguas grises generadas en la escuela son reutilizadas y todas las aguas precipitaciones son recolectadas. Para medir el impacto de las ineficiencias en el escenario 1, se crearon diferentes situaciones para la planta de tratamiento, donde el agua reutilizada equivale al 95%, 90%, 85% del total. La siguiente tabla resume los resultados.

Tabla 14: Métricas financieras según eficiencia PTAG. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1: Sólo PTAG			
Eficiencia	95%	90%	85%
VAN (\$CLP)	11.428.345	9.231.091	7.033.837
TIR	23%	20%	18%
<i>Payback</i>	3,8	4,1	4,5

Por otro lado, para medir las ineficiencias en el escenario 2, se variaron iteró sobre la ineficiencia en la planta de tratamiento de aguas y en la recolección de aguas lluvias. La siguiente tabla muestra los resultados del VAN. El [Anexo 24](#) detalla los resultados para la TIR y el *Payback*.

Tabla 15: VAN escenario 2 según eficiencia de planta de tratamiento y de recolección de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.

PTAG/Recolección	100%	95%	90%	85%
100%	22.014.801	21.467.211	20.919.621	20.372.030
95%	19.817.547	19.269.957	18.722.367	18.174.776
90%	17.620.293	17.072.703	16.525.113	15.977.522
85%	15.423.039	14.875.449	14.327.859	13.780.268

De la tabla anterior, podemos observar que impacta de mayor manera las ineficiencias en la planta de tratamiento por sobre las ineficiencias de la recolección de aguas lluvias. Esto resulta favorable para el proyecto, debido a que la planta de tratamiento es algo que se puede controlar con mantenimiento, cuidados y mejoras. Sin embargo, no es posible controlar la lluvia, que es el componente principal de la recolección de aguas lluvias.

3.7.2. Planteamiento y Análisis para proyecto energético

3.7.2.1. Ineficiencias

En el proyecto de energía, el principal factor de peligro son las ineficiencias que pueden surgir en los paneles solares. Si bien se consideró la pérdida de eficiencia en el cálculo de las métricas anteriores, también se puede dar el caso de que los paneles solares no cumplan con su vida útil esperada, teniendo impactos en el VAN del proyecto. Estos tienen garantía de 10 años, por lo que cualquier problema que ocurra dentro de ese período de tiempo estará cubierto por la empresa. Sin embargo, si los paneles en vez de durar los 30 años garantizados por la empresa duran 25 años, el VAN bajaría ya que habría menos ahorro en los últimos cinco años.

La pérdida de ineficiencia es lineal, entonces, para el año 25, los paneles solares estarían ahorrando un 51% de la cuenta de energía, comparándolo con su 65% inicial. Además de esto, para el cálculo de VAN tenemos la tasa de descuento que tendría un exponente de 25, que sería un divisor de 5,43 aproximadamente. Es decir que sería un 9,39% de la cuenta para ese año y sería aún menor para los años 26 – 30. Esto también es una situación extrema donde fallarían todos los paneles el año 25. Esto se verá más en detalle en el análisis de sensibilidad.

Con lo anterior se puede notar que a pesar de que la vida útil del proyecto sea unos años menos, la gran parte del ahorro ya se habrá generado. Por ende, aunque existan posibles ineficiencias relacionadas con la vida útil y la eficiencia de los paneles en sí, el proyecto sigue siendo rentable y debería realizarse.

3.7.3. Planteamiento y Análisis para proyecto de calderas

3.7.3.1. Ineficiencias

Principalmente dentro del proyecto de las calderas, el mayor problema de ineficiencias que puede existir es aquel en el cual las calderas tendrían una eficiencia menor a la considerada, lo cual afectaría el rendimiento y el funcionamiento de estas de gran manera.

Los dispositivos termodinámicos como lo son estas calderas de agua caliente o de vapor de agua tienden a tener eficiencias tabuladas en las fichas técnicas, pero en la realidad estas pueden variar de manera considerable debido a diferentes factores como lo son las condiciones de operación tales como la temperatura, el tiempo de uso, suciedad, mantención, entre otros factores. Es importante considerar estas posibles variaciones al momento de tomar una decisión, ya que se debe tener en consideración que no son dispositivos perfectos. En el posterior análisis de sensibilidad realizado se exponen

diferentes casos en los cuales las eficiencias de estas calderas varían, y cómo estas variaciones afectarían al VAN del proyecto.

3.8. Análisis de Sensibilidad

3.8.1. Análisis de Sensibilidad para proyecto de aguas

Se construyó un gráfico de araña para cada escenario, modificando las siguientes variables entre -20% y +20%: Precio del agua, Inversión, Costos, Tasa de Descuento y Superficie de recolección (solo en el escenario 2). El siguiente gráfico muestra los resultados para el primer escenario. El [Anexo 19](#) contiene el escenario 2.

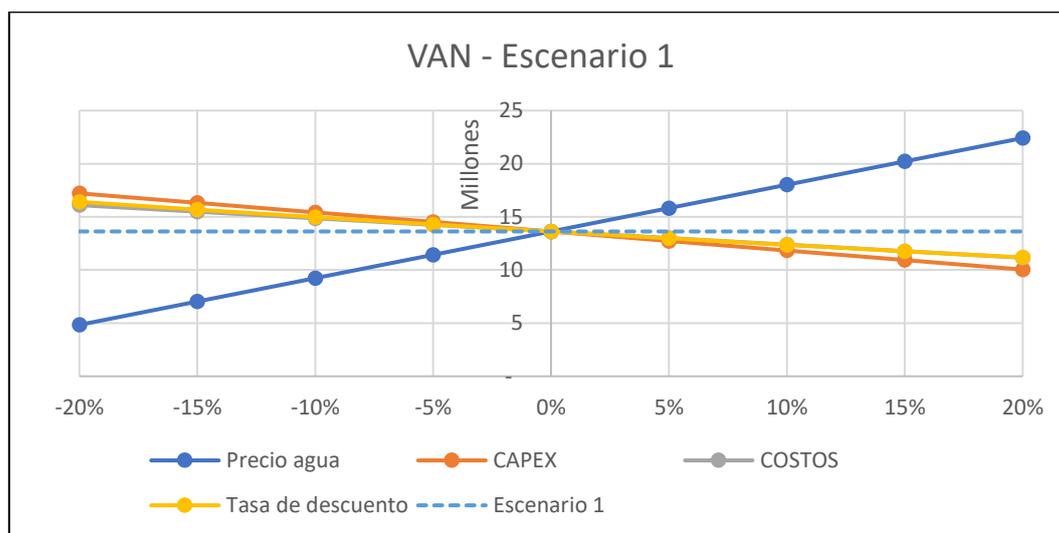


Figura 9: Gráfico araña - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior se desprende que la variable que impacta en mayor medida al aumentar al VAN de manera positiva es el precio del agua. Esto es una buena noticia para el proyecto, ya que se espera que el precio de esta suba. Por otro lado, las variables que más influyen de manera negativa al VAN cuando estas aumentan son la inversión inicial (CAPEX) y la tasa de descuento asignada al proyecto. De todas maneras, el VAN sigue estando por sobre los 15 millones de pesos en el peor escenario.

Para complementar el análisis de sensibilidad, se realizó una simulación de Montecarlo para el VAN de cada escenario. Se modificaron las mismas variables anteriores en siguiendo distribuciones triangulares. La distribución triangular se compone del valor mínimo que puede tomar la variable, el valor esperado y el valor máximo. Estos detalles se adjuntan en el [Anexo 26](#). Para el máximo del precio del agua se utilizó el mayor valor encontrado mediante un benchmarking sobre el precio del agua en diferentes ciudades de Chile. Para el valor mínimo, su utilizó un 10% menos del valor esperado. Para la inversión y los costos, su valor máximo se definió como un 50% mayor al valor esperado, mientras que su valor mínimo es un 10% menor al valor esperado. Esto es para tener una simulación más conservadora. Por último, la tasa de descuento y la superficie de recolección se variaron en 20% para arriba y para abajo. Utilizando el software @RISK, se corrieron 100.000 simulaciones para cada escenario. Para el análisis de resultados de la simulación, es necesario definir los siguientes conceptos:

1. VAN determinístico: VAN calculado mediante los flujos de caja en el punto 3.6.1.
2. VAN esperado: es el VAN promedio de las 100.000 simulaciones del *software*.
3. Valor seguro: corresponde al percentil 5 de las 100.000 simulaciones del *software*. Se define como valor seguro debido a que el 95% de las simulaciones están por sobre ese VAN.
4. Valor en riesgo: VAN determinístico – Valor seguro, dividido entre el VAN determinístico. Refleja la porción del VAN determinístico que podría perderse.

5. Probabilidad de cumplimiento de VAN: refleja la probabilidad de que el proyecto obtenga un VAN mayor al VAN determinístico. Esto se calcula como la cantidad de iteraciones con un VAN mayor al VAN determinístico dividido entre el total de simulaciones.
6. Probabilidad de pérdida VAN: refleja la probabilidad de que el proyecto obtenga un VAN negativo. Se calcula como la cantidad de iteraciones con un VAN negativo, dividido entre el total de iteraciones.

A continuación, se muestra a la derecha la distribución de las simulaciones generadas y a la izquierda las métricas para el análisis. Vemos que el VAN entregado por las simulaciones es mayor al VAN calculado en el punto 3.6. Esto se explica por el gran peso que tiene el precio del agua en el VAN del proyecto, como quedó evidenciado en los gráficos de tornado. Al hacer las simulaciones con un valor mínimo del precio del agua correspondiente a un 90% del valor esperado y un valor máximo de \$3,188 (64% mayor que el valor promedio), el VAN va a tender a aumentar, debido a que un mayor precio del agua aumenta el ahorro en gasto de agua del proyecto.

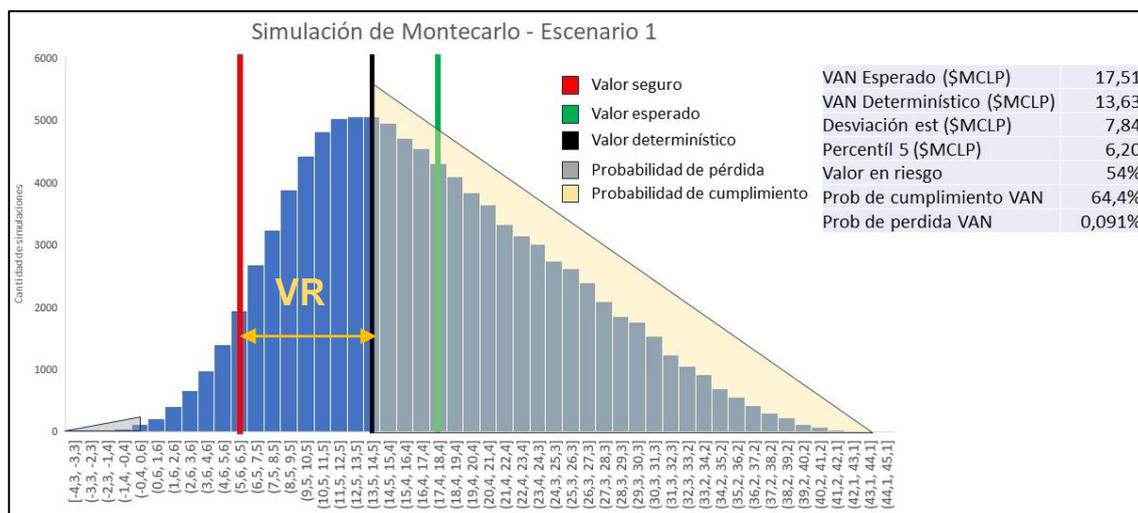


Figura 10: Simulación de Montecarlo - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Además, las métricas de la simulación dan vista de la robustez del proyecto. El valor en riesgo refleja la porción del VAN determinístico que podría perderse. Si bien, esta aparece como un 54%, en el peor de los casos el VAN sería de 6,2 millones de pesos. La probabilidad de cumplimiento del VAN determinístico es de un 64,4%, lo que indica que un 64,4% de las simulaciones obtuvieron un VAN mayor a 13,63 \$MCLP. Por último, la probabilidad de pérdida de VAN (VAN menor a 0) es casi nula. El [Anexo 28](#) contiene los resultados para el escenario 2 y también los gráficos tornados generados por el software.

3.8.2. Análisis de Sensibilidad para proyecto energético

Para el análisis de sensibilidad respectivo al proyecto energético, se definieron los factores más influyentes en el cálculo del VAN y cuáles podrían ser los con mayor variabilidad tanto a corto como a largo plazo, para luego variarlos y realizar el análisis respectivo. Así, se variaron el precio de energía, la vida útil y la tasa de interés para el escenario sin financiamiento, y sumando el cambio de UF para el escenario con financiamiento. Es fundamental señalar que en este proyecto no se emplearán gráficos araña para representar la sensibilidad, ya que se ha considerado una variación en la eficiencia y el precio de la energía en cada período. No obstante, se presentarán gráficos tornado para ambos escenarios, los cuales reflejarán las variables sensibilizadas y su impacto en el VAN.

En primer lugar y con relación a variar el precio de la energía, ya existía una variación en tales valores en la cotización y planilla entregada por *Terralink*. Sin embargo, tal valor consiste también en una estimación, por lo que se tomó un escenario optimista en que los precios anuales disminuyen cada uno

en un 5% y otro pesimista, en el que suben el mismo porcentaje. Es importante notar que estas variaciones pueden ocurrir en su mayoría debido a cambios económicos importantes a nivel país, que terminaría por repercutir en los precios energéticos. Como se puede notar en el gráfico tornado de más adelante, en ambos escenarios el VAN baja para ambos escenarios, por lo que podemos notar que la estimación hecha por *Terralink* bordea un óptimo de precio.

Luego se tomaron variaciones de la vida útil, donde luego de investigaciones y comparación a la cotización hecha, se notó que los 30 años de horizonte de evaluación respectiva es un caso óptimo, por lo que se consideró como tal y sólo se varió exageradamente a 20 años, en un caso pesimista. Tal cambio varió casi en la misma magnitud que el 5% pesimista de variación en el precio de la energía, mientras que el óptimo, como se explicó, permaneció igual.

Finalmente, y como mayor relevancia, se tomaron variaciones de la tasa de interés del proyecto. Si bien el valor usado corresponde a un promedio entre todos los proyectos afines y los años actuales, la empresa de cotización entregó una tasa del 7%. Es por esto que se consideró este valor como un escenario optimista de tasa para además notar el cambio de VAN respecto a la mirada de *Terralink*, y en su contraparte se varió a un escenario pesimista de tasa del 19,88%. Al analizar los cambios, se puede notar que para el caso optimista el VAN aumenta considerablemente, siendo mucho más influyente que los demás parámetros considerados.

Para el caso del segundo escenario que considera el financiamiento, se analizó el cambio en la UF, y, por consiguiente, en el costo del financiamiento de los primeros 8 años. La empresa de cotización tomó un valor de aumento anual del 3%, por lo que se consideró un caso optimista de aumento igual a 2% y uno pesimista, considerando 4%. En base a tales variaciones se notó una pequeña variación tanto positiva como negativamente relativa al VAN, debido a que el efecto del cambio en la UF sólo se manifiesta en el financiamiento, es decir, en los primeros 8 años.

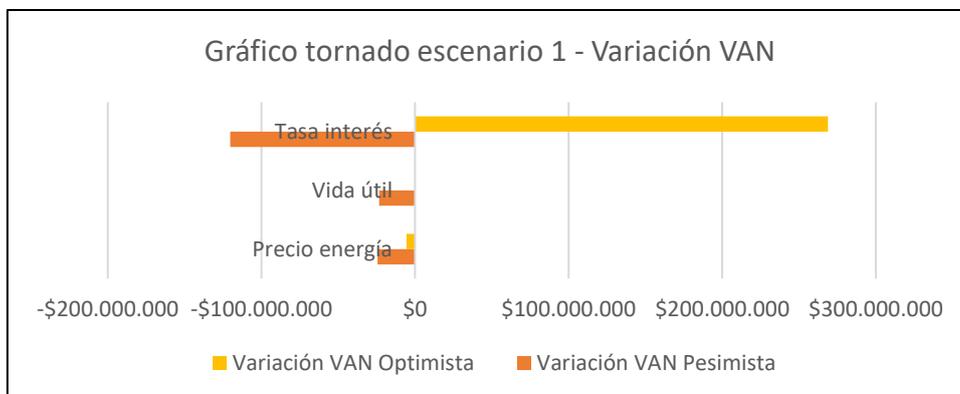


Figura 11: Gráfico de tornado proyecto energético - escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

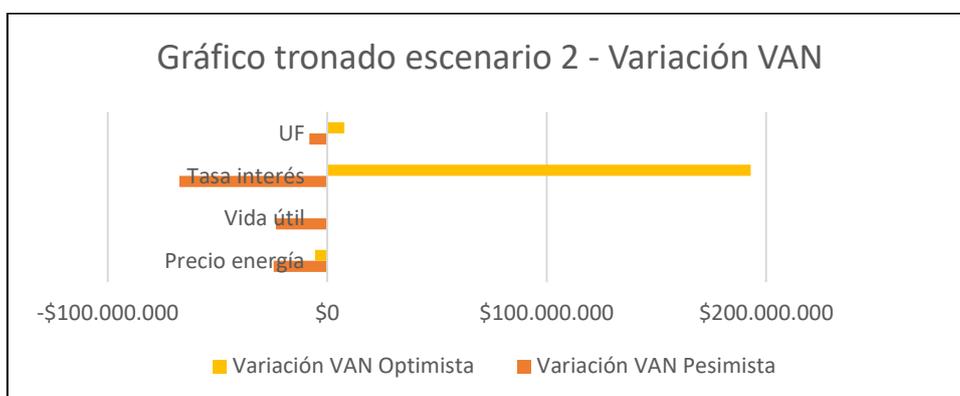


Figura 12: Gráfico de tornado proyecto energético - escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

3.8.3. Análisis de Sensibilidad para proyecto de calderas

Para llevar a cabo el análisis de sensibilidad del proyecto de las calderas, se tomaron en consideración aquellos factores con mayor influencia sobre el proyecto, y que por lo tanto tienen un mayor impacto sobre él. De esta forma, se decidió analizar el precio del combustible de gas, el costo de la inversión inicial, el aumento en la eficiencia del sistema de calderas generado por la realización del proyecto y la vida útil.

Comenzando con el precio del gas, se optó por analizar esta variable debido a su impacto directo en el potencial ahorro que la Escuela Naval podría alcanzar al implementar el proyecto de las calderas. No se consideró evaluar otros combustibles como el petróleo debido a que no se está utilizando para alimentar las calderas debido a su elevado costo. Por último, se varió el precio en un rango de -20% a 20% con respecto a su valor actual, puesto que este margen se sitúa dentro del rango de variación observado durante los últimos 4 años. Del análisis se destaca que una reducción del 20% del precio del combustible, se obtiene un VAN negativo para el proyecto de 2.4 millones. Esto se debe a que, si el precio del combustible baja, también lo hace el ahorro generado por la realización del proyecto. Se puede apreciar el resumen de resultados en el [Anexo 20](#).

Después, se abordó el costo de la inversión inicial. Conforme se mencionó anteriormente, los costos iniciales pueden oscilar entre \$74.600.000 y \$92.600.000, razón por la cual se optó por considerar este rango porcentual en el análisis de sensibilidad. Así, se decidió implementar un margen de variación del -20% al 20%. Se destaca de este análisis que la inversión inicial afecta en gran medida al VAN del proyecto. Se puede apreciar que, si la inversión inicial se reduce en un 20%, el VAN se duplica, mientras que, si la inversión inicial se incrementa en un 20%, el VAN se reduce a casi \$0. El [Anexo 21](#) muestra un resumen de este análisis.

Continuando con la variación de la eficiencia del sistema de calderas, tras conversaciones con diversos proveedores, se estableció un rango de valores para la eficacia a considerar en el análisis de sensibilidad. Se recomendó un aumento del 9,76% como límite inferior y 14,64% para el superior, dado que corresponden a un decremento e incremento del 20% respectivo al porcentaje establecido. Al evaluar estas alternativas, se concluyó que la variación en la eficiencia del sistema de calderas representa la variable más sensible para el proyecto, a la par del precio de combustible. Al considerar una eficiencia del 9,76%, se obtuvo un VAN de -2,1 millones. Por otro lado, si la eficiencia fuera del 14,64%, es decir, 20% más de lo estimado, el VAN ascendería a 43 millones, lo cual representa un excedente de más de 20 millones con respecto a las estimaciones iniciales. Por lo tanto, garantizar un aumento en la eficiencia del sistema de calderas debería considerarse como la principal prioridad en el caso de llevar a cabo el proyecto. El [Anexo 22](#) tiene un resumen de los resultados de este análisis.

Por último, se evaluó como respondería el proyecto si se le aplicara un cambio del 20% tanto positiva como negativamente a la tasa de descuento. El [Anexo 23](#) muestra los resultados.

El siguiente gráfico muestra los resultados explicados anteriormente.

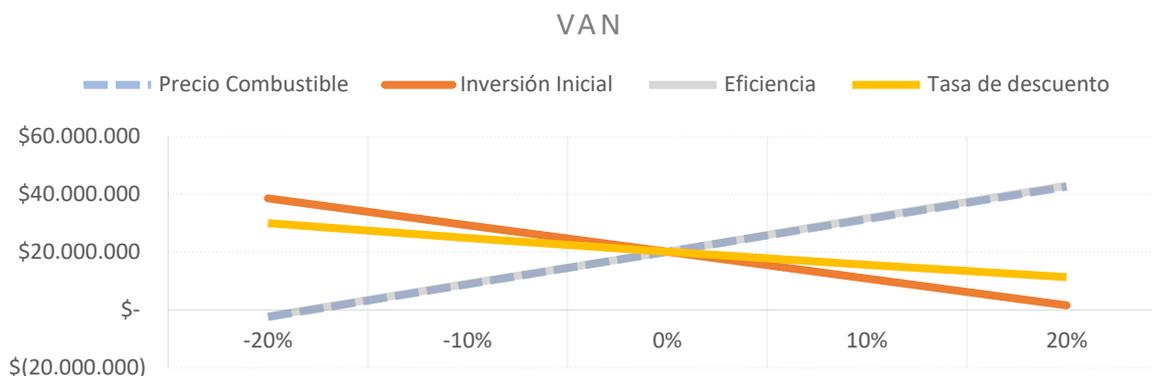


Figura 13: Gráfico de araña variación del VAN – Proyecto Calderas. Fuente: Elaboración propia.

3.9. Planteamiento y Análisis de Flexibilidad

3.9.1. Planteamiento y Análisis de Flexibilidad para proyecto de aguas

El proyecto de aguas puede ser flexibilizado con cuatro casos:

- Caso 1: Solo realizar el proyecto con las aguas grises. Esto implicaría llevar a cabo el escenario 1.
- Caso 2: Solo realizar el proyecto con las aguas lluvias. Esto implicaría realizar solo el escenario 3 detallado en el punto 3.7.1.1.
- Caso 3: Realizar el proyecto con ambas fuentes de agua. Esto es equivalente a realizar el escenario 2.

Los resultados de este análisis fueron detallados en el punto [3.7.1.1](#) en la tabla 15. Podemos observar que el caso 3 (escenario 2) es el con mayor VAN, pero el caso 2 (escenario 3) es el con mayor TIR y menor *payback*. La elección de que hacer está en manos del cliente, pero si hay que aclarar que llevar a cabo solo el caso 2, es decir, solo utilizar las aguas lluvias para el proyecto tiene grandes desventajas, ya que se mostró que el mayor consumo de agua es en los meses de verano y coincide con la menor cantidad de agua lluvia caída. Además, según lo conversado con la escuela, las áreas verdes no son regadas cuando llueve, por lo tanto, no sirve de mucho acumular agua en los meses de invierno.

3.9.2. Planteamiento y Análisis de Flexibilidad para proyecto energético

El proyecto energético presenta bastante flexibilidad para la Escuela Naval, como se ha visto en base a cifras anteriores, por temas estrictamente económicos conviene hacer el escenario 2 de este proyecto, que es el con el financiamiento externo. Además de tener mejores cifras, que la empresa *Terralink* realice la inversión reduce los riesgos de perder dinero con el proyecto, algo que es bastante relevante cuando se habla de inversiones como la de este proyecto, que se acerca a los \$300 millones.

También este escenario permite utilizar las ganancias que se generan a través de la vida útil del proyecto para financiar los otros proyectos que se mencionan en el informe. Al obtener el VAN a 10 años, se ve que es posible realizar el proyecto de aguas solamente con los beneficios de este ámbito energético.

Además de esto, si en una visita a terreno para la implementación, la Escuela decide no tener tantos paneles solares, esto es conversable con *Terralink* para reducir su cantidad, sin embargo, una vez que ya se consiguen los materiales y se instalan los soportes, es difícil cambiar los planes de desarrollo.

3.9.3. Planteamiento y Análisis de Flexibilidad para proyecto de calderas

Dentro del proyecto de las calderas, además de los factores mencionados en el análisis de sensibilidad como lo son el precio del gas licuado, la vida útil, la inversión y la eficiencia, la variable más importante a considerar es finalmente si se realiza el cambio de las calderas o no, y si es que se lleva a cabo, cuántas calderas serán reemplazadas, ya que si bien el proyecto planteado consiste en hacer el cambio de tanto la caldera de vapor como la caldera de agua caliente, los cálculos planteados anteriormente fueron para

tan sólo 1 caldera, y además, la Escuela Naval puede decidir eventualmente hacerlo de manera distinta y realizar sólo 1 cambio por diferentes motivos, como por ejemplo restricciones de presupuesto, o quizás no se pueden cambiar ambas calderas simultáneamente ya que la Escuela quedaría con un suministro deficiente de vapor o agua caliente, entre otros motivos. Es porque esto nos enfocaremos en 3 casos:

1. Cambio de sólo la caldera de agua caliente.
2. Cambio de sólo la caldera de vapor de agua.
3. Cambio de ambas calderas simultáneamente.

Tanto para el primero como para el segundo caso, el VAN consistiría en \$62.669.644, ya que como se mencionó, este fue considerado anteriormente, y se consideró también que el cambio de tanto la caldera de vapor de agua como la de agua caliente son monetariamente muy parecidos, por lo que al cambiar 1 de estas el VAN sería el mismo para ambos casos.

Para el tercer y último caso en el que se cambiarían ambas calderas simultáneamente, el VAN sería el doble de aquel en los casos anteriores. En el siguiente árbol, se considera el precio del gas y la eficiencia en sus valores bases, ya que en el análisis anterior de sensibilidad se variaron estos números.

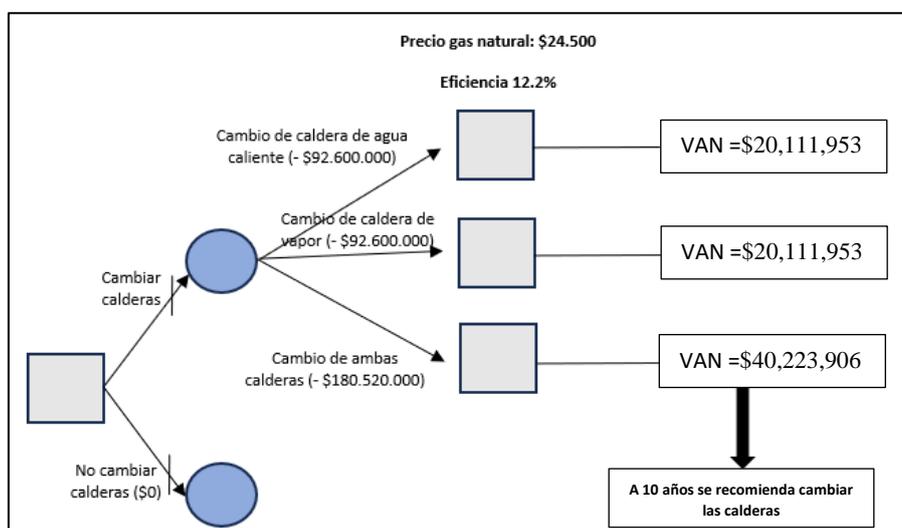


Figura 14: Árbol de decisión. Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este informe se realizó un análisis PESTEL con tal de orientar el proyecto de acuerdo con las necesidades, requerimientos y contexto de la Escuela Naval. En base a este análisis, se planteó una metodología para la implementación y análisis de las decisiones estratégicas del proyecto. Finalmente, se realizó un análisis en cuanto al impacto económico y ecológico de cada una de las decisiones estratégicas planteadas, junto con un análisis de sensibilidad y flexibilidad para cada proyecto. Del análisis anterior, se obtuvieron los siguientes datos, tomando en cuenta los escenarios con mayor VAN para cada proyecto:

Tabla 16: VAN, TIR, Payback e IVAN de los tres proyectos a 10 años. Fuente: Elaboración propia.

	Aguas	Caldera	Energético
VAN	\$22.014.801	\$20.111.953	\$48.990.121
TIR	38%	19%	-
Payback	2,61	5,16	-
IVAN	1,14	0,22	-

En base a los datos de la tabla anterior, se asigna un orden de prioridad a los proyectos. De acuerdo con el criterio VAN, la implementación de paneles solares sería el proyecto prioritario, seguido de la implementación de una planta de tratamiento de aguas. Por último, la implementación de nuevas calderas. Analizando el criterio TIR, es posible notar que el proyecto energético no tiene debido a que no existe inversión, y el mayor valor de ésta es para el proyecto de tratamiento de aguas. Siguiendo esta línea, de acuerdo con el criterio del *Payback* vemos que la implementación de una planta de tratamiento de aguas sería tendría prioridad sobre la implementación de calderas. Por el mismo motivo de ausencia de inversión inicial, para el proyecto energético no existe retorno de esta. Finalmente, según IVAN (VAN dividido inversión), el proyecto de aguas estaría sobre el proyecto de calderas.

Con el fin de presentar un orden de prioridad de proyectos, se incluyeron métricas no financieras para la evaluación. Estas son: dificultad de implementación, Tiempo requerido, impacto social, espacio requerido y dificultad de mantención. Para cada una de las métricas (financieras y no financieras), se asignó un orden de prioridad, donde al mejor proyecto en una métrica particular se le asignó un 3, mientras que al peor se le asignó un 1. Este análisis puede verse en el siguiente gráfico radial.

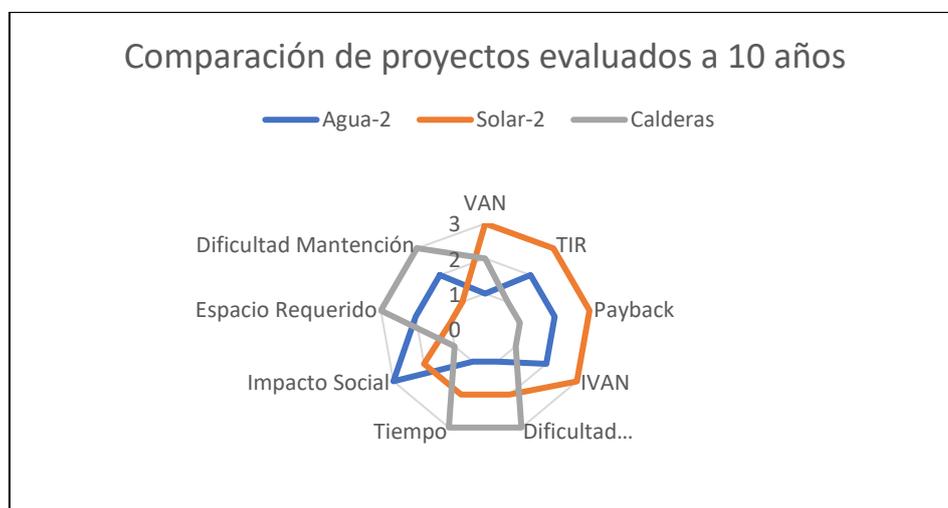


Figura 15: Comparación de proyectos evaluados a 10 años. Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el gráfico anterior podemos notar algunas tendencias claras. Vemos que en el proyecto solar en su segundo escenario (proyecto con *Terralink*) lidera las métricas financieras. Sin embargo, en las métricas no financieras vemos que el proyecto de calderas destaca sobre el resto de los proyectos, con excepción del impacto social, que es donde lidera el proyecto de aguas.

Dicho lo anterior, y considerando que la Escuela Naval busca una combinación entre una imagen sustentable en su producción y un ahorro en gastos operacionales, se sugiere como primera prioridad el proyecto solar, seguido del proyecto de calderas, y por último, el proyecto de aguas.

El proyecto energético se posiciona como el ideal debido a que no tiene inversión inicial gracias a el modelo de negocio entregado por *Terralink*, y, al mismo tiempo, posee el mayor VAN, por lo que sería el primero a realizar. Al no tener inversión inicial y que el financiamiento de los primeros años se pague con la misma generación energética de los paneles, es posible realizar otro proyecto en simultáneo. De esta manera, se propone comenzar el año 2024 con la inversión y construcción del proyecto energético (solar). Luego, hacer la actualización de calderas a finales del año 2025, para destinar los ingresos del proyecto energético a costear la inversión de las calderas. Finalmente, comenzar la construcción del proyecto de aguas el 2028. De esta manera, el año 2029 la Escuela Naval estaría recibiendo los ingresos de los tres proyectos de manera conjunta. El siguiente gráfico representa el cronograma de ingresos, costos e inversiones. Estos no se encuentran descontados según su tasa de interés. También, se aprecia el VAN acumulado de los tres proyectos.

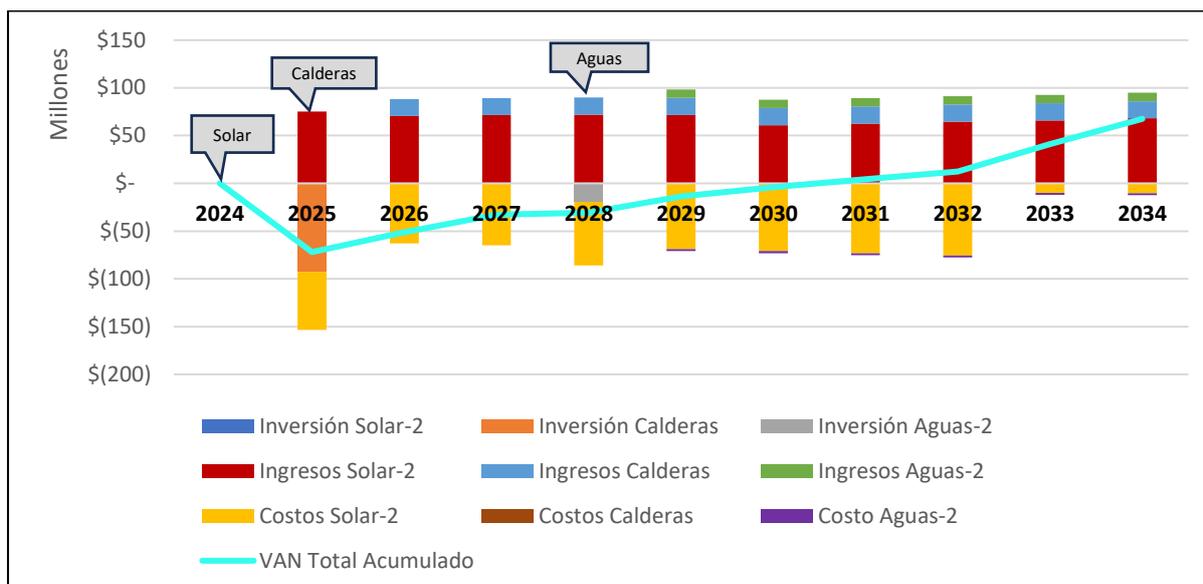


Figura 16: Flujo de caja para los tres proyectos y VAN acumulado. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el VAN proyectado a 10 años desde 2024 es \$67.553.929, la TIR es 27% y el *payback* son 5.9 años.

Sin embargo, en el caso de que la escuela cambie sus prioridades y tenga otro enfoque, se entregarán recomendaciones para diferentes casos. Si la prioridad de la Escuela es partir con el proyecto que sea más fácil de implementar y genere retorno de manera más rápida, es posible notar que las calderas podría ser el proyecto más rápido, ya que una vez que se adquieran, reemplazar las anteriores por estas no requiere ningún tipo de modificación de infraestructura. Luego, vendría el de paneles solares con financiamiento externo, ya que este proyecto en ese sentido es bastante flexible y sin costo de inversión, y, por último, el proyecto de aguas grises ya que, desde un punto de vista de mano de obra, cambios en la infraestructura y construcción, es el más complejo y que requiere más trabajo, por lo que partir con este proyecto si se quiere una fácil instalación y retorno no es la mejor opción.

Por otro lado, si el presupuesto es limitado y se quiere partir con la opción más económica, el proyecto de energía con financiamiento debe ser prioridad si se quiere disminuir la huella de carbono y a la vez partir con el proyecto más barato de implementar. Luego vendría el proyecto de agua y finalmente el de calderas. Otro factor relevante a tener en cuenta es que en la Escuela Naval los cadetes tienen un régimen de internado durante todo el año, por lo que cualquier tipo de modificación a la Escuela puede resultar invasiva y perjudicar a los alumnos. Si esto se considera la dificultad de instalación como una prioridad, lo más recomendable sería hacer una instalación parcial de paneles solares e intentar hacer el cambio de calderas durante un fin de semana para evitar problemas con las duchas, por ejemplo. Desde este punto de vista, lo más recomendable sería implementar el proyecto de aguas grises durante el verano cuando los cadetes no se encuentran en internado.

De esta manera, se presenta un plan preliminar para que la Escuela Naval pueda disminuir su huella de carbono, al mismo tiempo que disminuye sus costos operativos en cuanto a combustibles y energía en el mediano a largo plazo. En línea con lo requerido por la escuela, se recomienda la realización de los tres proyectos, es decir, la instalación de paneles solares, el reemplazo de las calderas y la instalación de una planta de tratamiento de aguas grises, realizando los primeros dos en simultáneo y el de aguas en un futuro. Sin embargo, en caso de que los fondos asignados a la Escuela Naval por parte del gobierno

no sean suficientes para la realización de los tres proyectos de inmediato, se recomienda realizar dichos proyectos dependiendo de las necesidades de la Escuela Naval.

Bibliografía

- SCIENTIFIC AMERICAN. (2008). <https://www.scientificamerican.com/>. Obtenido de <https://www.scientificamerican.com/article/why-dont-we-get-our-drinking-water-from-the-ocean/>
- Aguas Antofagasta. (13 de julio de 2023). *Aguas Antofagasta*. Obtenido de <http://www3.aguasantofagasta.cl/empresa/informacion-comercial/tarifas/tarifas-actuales.html>
- Armada. (1 de febrero de 2023). *Los grados jerárquicos de la Armada*. Obtenido de [https://www.armada.cl/nuestra-armada/los-grados-jerarquicos-de-la-armada#:~:text=Capit%C3%A1n%20de%20Fragata%20\(5%20a%C3%B1os\).&text=En%20este%20grado%2C%20el%20oficial%20puede%20seguir%20el%20Curso%20Regular,flote%20a%20quienes%20son%20seleccionados.](https://www.armada.cl/nuestra-armada/los-grados-jerarquicos-de-la-armada#:~:text=Capit%C3%A1n%20de%20Fragata%20(5%20a%C3%B1os).&text=En%20este%20grado%2C%20el%20oficial%20puede%20seguir%20el%20Curso%20Regular,flote%20a%20quienes%20son%20seleccionados.)
- ASCC. (s.f.). *Agencia de sustentabilidad y cambio climático*. Obtenido de <https://www.ascc.cl/pagina/apl>
- Baeza, E. (Abril de 2023). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de Asesoría técnica parlamentaria: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34147/1/Informe_AlternativasTratamiento_AR.pdf
- Banco Central de Chile. (2023). *si3.bcentral.cl*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_EI/MN_EI11/EI_PROD_BAS
- Banco Mundial. (2019). *Datos Banco Mundial*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/MS.MIL.TOTL.P1?end=2019&locations=CL&start=1985&view=chart>
- BCN. (15 de Febrero de 2019). *Biblioteca del Congreso Nacional*. Obtenido de Decreto 10: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1153728&idParte=10186730&idVersion=Diferido>
- BCN. (2023). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/presupuesto/periodo/2023/partida/11>
- Capex. (2023). *Capex.com*. Obtenido de <https://capex.com/lat/overview/gas-natural-pronostico>
- Chile. (2023). *CONSTITUCION POLITICA DE LA REPUBLICA DE CHILE*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- DahSolar. (s.f.). *www.dahsolarpv.com*. Obtenido de https://www.dahsolarpv.com/half-cell-hcm72x9-395w-410w_p146.html
- Enerlife. (s.f.). *enerlife.cl*. Obtenido de <https://enerlife.cl/precios/>
- Escuela Naval. (2018). *Escuela Naval “Arturo Prat” acreditada por 6 años*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/2018/11/29/escuela-naval-arturo-prat-acreditada-por-6-anos/>
- Escuela Naval. (s.f.). *Escuela Naval*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/escuela-naval/>
- Escuela Naval. (s.f.). *escuelanaval.cl*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/compromiso-sustentable/>
- Escuela Naval. (s.f.). *Formación Escuela*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/formacion-escuela/>
- Escuela Naval. (s.f.). *Infraestructura*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/infraestructura/>

- Escuela Naval. (s.f.). *Oficiales Escuela Naval*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/autoridades/>
- Escuela Naval. (s.f.). *Requisitos de Postulación*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/admision-requisitos/>
- Escuela Naval. (s.f.). *Reseña Histórica*. Obtenido de <https://escuelanaval.cl/resena-historica/>
- Espinoza, C. (26 de diciembre de 2022). *uchile.cl*. Obtenido de <https://uchile.cl/noticias/200549/escasez-hidrica-en-chile-desafios-de-un-futuro-con-menos-agua>
- Esvál. (s.f.). *Esvál*. Obtenido de Área de concesión: <https://www.esval.cl/personas/como-ser-cliente/etapa-1-solicitud-de-factibilidad/%C3%A1rea-de-concesi%C3%B3n/>
- Hernández, C. (10 de Mayo de 2017). *Repositorio Universidad de Chile*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/146290/Evaluaci%C3%B3n-de-un-plan-de-reciclaje-y-tratamiento-de-aguas-para-la-ciudad-de-Rancagua-.pdf?sequence=1>
- IADB. (12 de Agosto de 2015). *Inter-American Development Bank*. Obtenido de ¿Cuánta agua consumes realmente por día?: <https://blogs.iadb.org/agua/es/cuanta-agua-consumes-realmente-por-dia/>
- INIA. (s.f.). *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. Obtenido de Agrometeorología: <https://www.agrometeorologia.cl/>
- Mercado Libre. (2023). *Mercado Libre*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-1385504356-kit-mensual-pastillas-decloradoras-y-cloradoras-para-planta-_JM?matt_tool=35115214&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14572403968&matt_ad_group_id=126603518613&matt_match_type=&matt_network=g&mat
- Ministerio De Energía. (2023). *Reporte Generación Eléctrica Fotovoltaica*.
- O&G. (s.f.). *O&G*. Obtenido de Quiénes somos: <https://oyg.cl/content/7-quienes-somos>
- Quezada, F. S. (2018). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. En *AGRICULTURA CHILENA Reflexiones y Desafíos al 2030* (págs. 147-178). ODEPA.
- Reyes, T. (16 de abril de 2018). *La clase ejecutiva*. Obtenido de Evaluación de proyectos: Paso a paso: <https://www.claseejecutiva.uc.cl/blog/articulos/evaluacion-de-proyectos-paso-a-paso/>
- Valdés, G., Rodríguez, E., Miranda, C., & Lillo, J. (2020). <https://www.scielo.cl>. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v31n3/0718-0764-infotec-31-03-249.pdf>
- Vergara, C. (2023). *Diario Financiero*. Obtenido de <https://www.df.cl/economia-y-politica/macro/bencinas-vuelven-a-subir-en-antesala-del-18-y-el-alza-seguiria-en-octubre>
- Bosch (2022) *Caldera de Calefacción Unimat ut-L: Bosch Industrial, L*. Available at: <https://www.bosch-industrial.cl/industrial/productoSelected/>
- Delgado , Y. (2016) *Eficiencia Energética en el Uso del vapor para la cocción de ... - UAO*. Available at: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10666/A0050.pdf?sequence=1>
- Alliance Laundry Systems (2017) *DX 25 dx 34 - primus laundry*. Available at: <https://www.primuslaundry.com/wp-data/techspecs-dx25-34-eng>.

Rodríguez, F. (2017). *ANÁLISIS DE INCENTIVOS A LA ENERGÍA SOLAR EN UNA CIUDAD UTILIZANDO MODELOS DE PROYECCIÓN DE*. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE.

ANEXOS

ANEXO 1: Índice de precipitación anual histórico de la zona central

[\[volver\]](#)

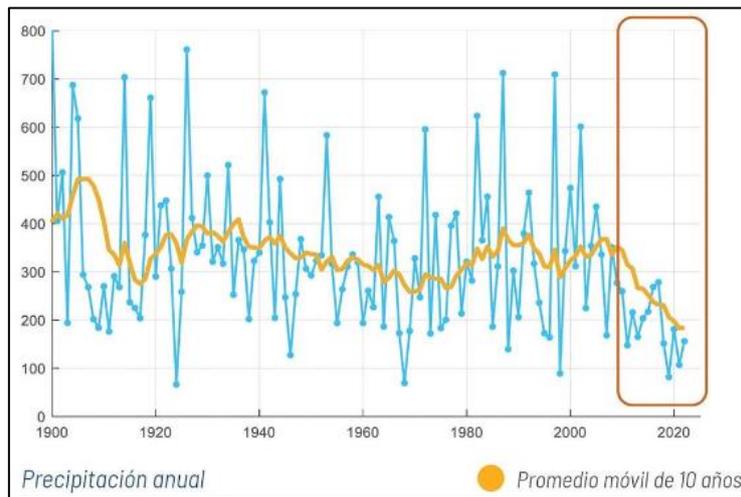


Figura 17: Índice de precipitación anual histórico de la zona central. Fuente: (Espinoza, 2022)

ANEXO 2: Precios históricos del diésel y gas natural en Chile

[\[volver\]](#)

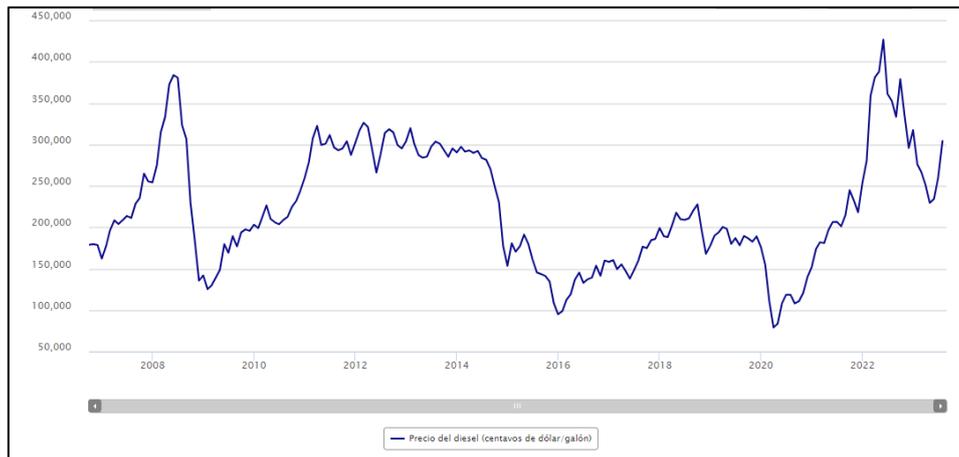


Figura 18: Precios históricos de diésel en Chile. Fuente: (Banco Central de Chile, 2023)

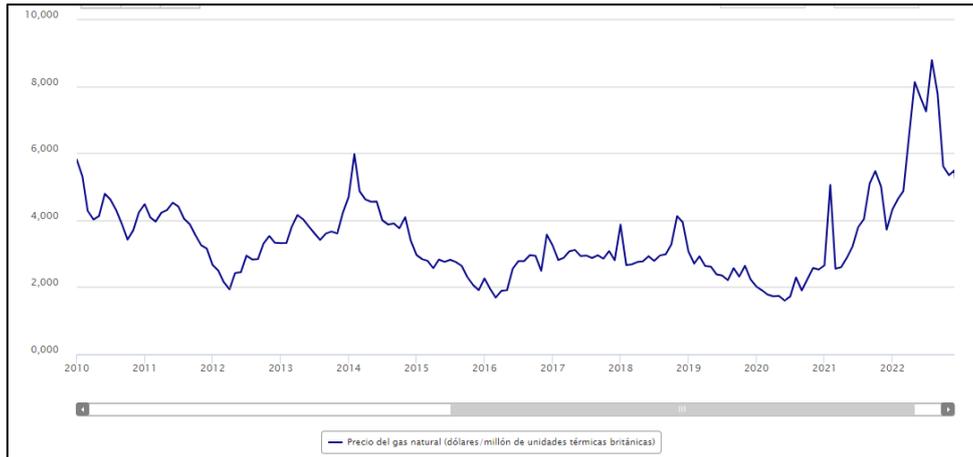


Figura 19: Precios históricos de gas natural en Chile. Fuente: (Banco Central de Chile, 2023)

ANEXO 3: Visita a la escuela

[\[volver\]](#)



Figura 20: Visita a la Escuela Naval Arturo Prat. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4: Cálculo para la estimación de aguas grises

[\[volver\]](#)

Para hacer la estimación de agua consumida por los cadetes, se dispone de la siguiente información:

- 424 cadetes entre el domingo en la noche hasta el sábado a medio día.
- 346 lavamanos y 774 duchas.

Se consideró que una ducha promedio consume 9 litros por minuto (IADB, 2015). Producto de la gran eficiencia que tienen en la escuela para el uso de duchas, se asumió duchas de un minuto por cadete. Por lo tanto, cada cadete consume 9 litros por día en la ducha. Sin embargo, el régimen de internado va desde domingo en la noche hasta sábado al mediodía, por lo tanto, los domingos no se utiliza la ducha

por parte de los cadetes, salvo que se encuentren haciendo guardia⁵ en la escuela o que estén castigados⁶. Según lo especificado por la escuela, entre castigados y guardias suman en promedio 20 cadetes por fin de semana. De esta manera, al consumo mensual se le agregó un extra que representa el consumo de los domingos. Asumiremos que se duchan una vez el domingo.

Para calcular el consumo general en duchas (cadetes no castigados o que no hagan guardia) se realiza el siguiente procedimiento. Suponiendo que cada mes tiene 30 días, con 4 sábados y 4 domingos. Entonces, hay 22 días generales (lunes a viernes) por mes por cadete. Además, se consideraron dos duchas por cadete de lunes a viernes, debido a que están obligado a realizar actividad física en la escuela, lo que se traduce en una ducha después de hacer ejercicio. De esta manera, mensualmente y de manera general (de lunes a viernes) se utilizan:

$$C. duchas general = 22 \text{ días} \cdot 2 \cdot 9 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{cadete}} \cdot 424 \text{ cadetes} = 167,9m^3$$

Como asumimos que un mes se compone de 22 días, **de manera diaria se consumen 7.6 m³ en duchas**. Luego, se calculó el consumo en duchas los sábados y domingos. Para estos días, se consideró una ducha por cadete. La diferencia entre el sábado y el domingo es la cantidad de cadetes.

$$C. duchas sábado = 4 \text{ días} \cdot 9 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{cadete}} \cdot 424 \text{ cadetes} = 15,26m^3$$

$$C. duchas domingos = 4 \text{ días} \cdot 9 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{cadete}} \cdot 20 \text{ cadetes} = 0,72m^3$$

De esta manera, el **consumo mensual en duchas es de 183,9 m³** en un mes normal.

Para estimar el agua consumida en un lavado de dientes se utilizó el mismo estudio anterior, donde se concluye que por lavado de dientes se emplean 4 litros por persona. También, se estima que para lavado de manos y afeitarse se emplean 4 litros por persona. Por lo tanto, considerando dos lavados de dientes y dos lavados de manos por día, se consumen 16 litros por cadete. Se asumió nuevamente 22 días generales por mes, tenemos que el consumo mensual general para esta categoría es el siguiente:

$$C. lavamanos general = 22 \text{ días} \cdot 2 \cdot 8 \cdot \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{cadete}} \cdot 424 \text{ cadetes} = 149,25m^3$$

Esto equivale a **6,78 m³ diarios empleados en lavado de manos y dientes de lunes a viernes**. Después, se hizo el cálculo para los sábados. Para esto, se consideró un lavado de dientes y un lavado de manos para todos los cadetes (en la mañana del sábado), y se consideró a los cadetes que se quedan el sábado en la noche con otro lavado de dientes y cara.

$$C. lavamanos sábado = 4 \text{ días} \cdot 8 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{cadete}} \cdot (424 \text{ cadetes} + 20 \text{ cadetes}) = 14,2m^3$$

Por lo tanto, **un sábado cualquiera se consumen 3,55 m³ en lavamanos**. Se realizó el mismo cálculo para los domingos, donde se consideraron 20 cadetes en la mañana y 424 cadetes en la noche. De esta manera, el consumo de agua en lavamanos los domingos es igual al del sábado.

$$C. lavamanos domingos = 4 \text{ días} \cdot 8 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{cadete}} \cdot (20 \text{ cadetes} + 424 \text{ cadetes}) = 14,2m^3$$

Por lo tanto, **un domingo cualquiera se consumen 3,55 m³ en lavamanos**.

⁵ Algunos cadetes son designados para hacer guardia en la escuela, esto implica quedarse vigilando la escuela el fin de semana.

⁶ Si un cadete es castigado, este debe quedarse en la escuela el fin de semana, sin posibilidad de volver a su casa.

De esta manera, el **consumo mensual en lavamanos es de 177,66 m³** en un mes normal.

En conclusión, el agua que se consume en la escuela apta para su reciclaje es de **361,6 m³ mensuales**. La siguiente tabla resume los resultados de la estimación.

Tabla 17: Estimación de consumo de agua en duchas y lavamanos por mes. Fuente: Elaboración propia.

Categoría de consumo	Consumo diario (m³)	Días por mes	Total (m³)
Duchas generales	7,6	22	167,9
Duchas sábado	3,82	4	15,26
Duchas domingos	0,18	4	0,72
Lavamanos generales	6,78	22	149,25
Lavamanos sábado	3,55	4	14,2
Lavamanos domingos	3,55	4	14,2
Total	25,52	-	361,6

Sin embargo, hay que considerar las vacaciones de los cadetes.

Verano:

- Vacaciones entre el 17 de diciembre y hasta el 15 de enero. No se consideraron cadetes entre estas fechas.
- El 15 de enero se recogen a los brigadieres. Se consideraron 30 brigadieres.
- El 22 de enero se toman los reclutas de primer año. Se consideraron 140 reclutas.
- El 15 de febrero llega el resto de la dotación.

Invierno:

- Se consideró una semana de vacaciones en julio.

Septiembre:

- Se consideraron cinco días de vacaciones en septiembre.

ANEXO 5: Estimación de aguas lluvias

[\[volver\]](#)

Además del agua consumida por los cadetes, la Escuela Naval quiere recolectar el agua lluvia para incorporarla dentro del reciclado de aguas. Para esto, se cuenta con una superficie de **2.910 metros cuadrados** para la recolección de agua lluvia. Se obtuvieron los datos de precipitaciones desde octubre de 2018 hasta octubre de este año de la estación “Aeródromo Rodelillo” (datos proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile DMC) en Viña del Mar (INIA, s.f.). El [Anexo 6](#) muestra un gráfico con las precipitaciones acumuladas por año para 2018-2022 y por mes para 2023. Podemos ver que las lluvias son muy variables entre los años 2019 y 2022. Además, la mayor concentración de precipitaciones se da en los meses de junio, julio y agosto, con precipitaciones acumuladas mensuales por sobre los 100 milímetros.

Para calcular la cantidad de agua que se puede obtener mediante agua lluvia, se promediaron las precipitaciones diarias por mes para los últimos cinco años. Es decir, se promedió el promedio de las precipitaciones diarias de enero 2019, enero 2020, ..., enero 2023 para obtener un promedio de los que precipita en un día normal en enero. El siguiente gráfico muestra el ejercicio anterior. Hay que recordar que los datos van desde el 10 de octubre de 2018 hasta el 1 de octubre de 2023.

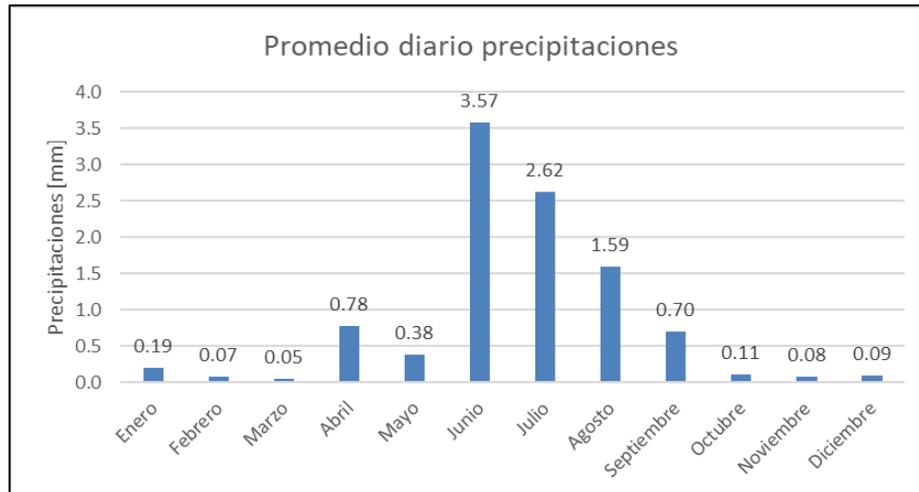


Figura 21: Promedio diario de precipitaciones. Fuente: Elaboración propia.

La información del gráfico anterior se utilizó para estimar la cantidad de agua lluvia que se puede recolectar. Podemos notar que en un día promedio en junio se recolecta la cantidad de mm de precipitaciones multiplicada por la superficie para la recolección, es decir,

$$3,57\text{mm} \cdot 2910\text{m}^2 = 10,39\text{m}^3$$

Sin embargo, para estimar la capacidad del estanque de tratamiento de aguas incluyendo la recolección de aguas lluvias, debe considerarse que el estanque no quede subdimensionado. El [Anexo 7](#) detalla opciones para calcular el tamaño del estanque y su cotización. Sin embargo, O&G recomendó no mezclar las aguas lluvias con las aguas grises, debido a la variación que tienen las aguas lluvia y los problemas que conlleva un exceso de alimentación de agua a la planta.

ANEXO 6: Precipitaciones acumuladas por año para 2018-2022 y por mes para 2023

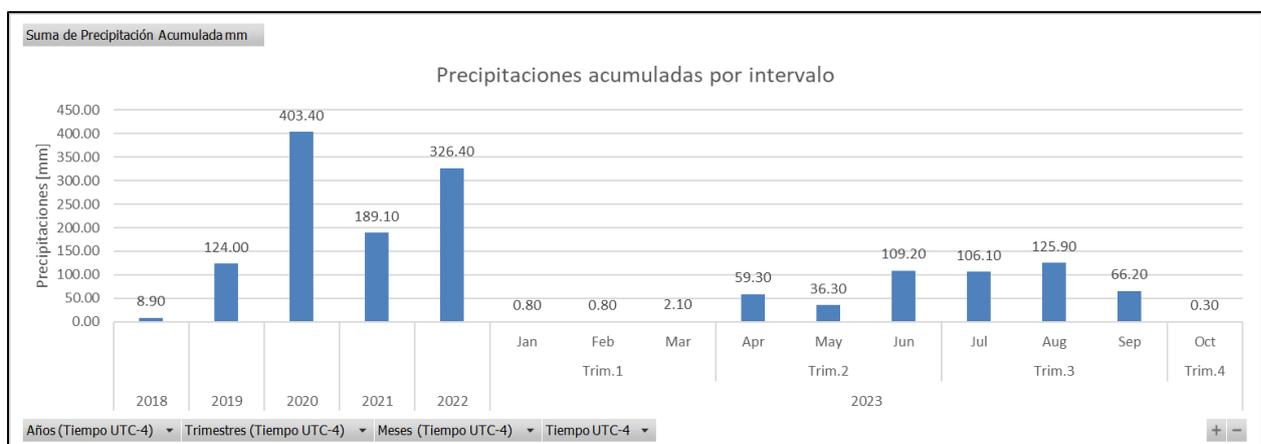


Figura 22: Precipitaciones acumuladas por año. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7: Estimación de tamaño del estanque de aguas lluvias

Para la estimación del tamaño del estanque, se estimó un óptimo técnico y un óptimo económico. El óptimo técnico se calculó en base a la cantidad de agua que se podría recolectar con la superficie que tiene la escuela y las precipitaciones históricas de la zona, mientras que el óptimo económico se calculó en base al costo del estanque.

Óptimo técnico:

- Utilizar el máximo de precipitación diaria de los últimos 5 años

El gráfico de a continuación muestra el máximo de precipitaciones por día en los últimos años.

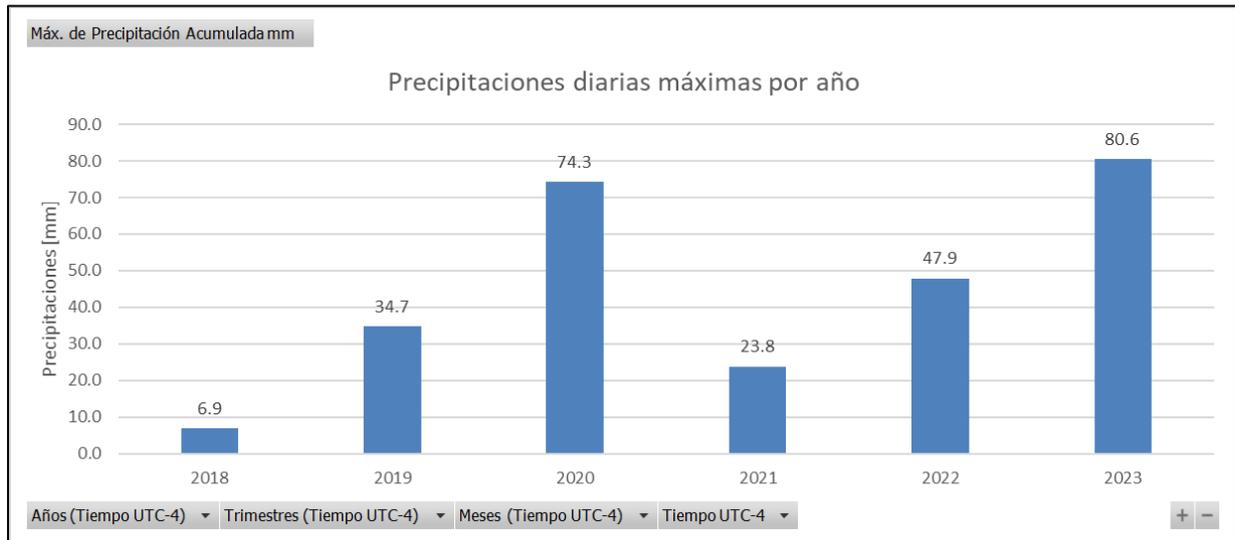


Figura 23: Máximo de precipitaciones diarias por año. Fuente: Elaboración propia.

El máximo de precipitaciones que hubo en un día fue de 80.6 mm, correspondientes al 22 de junio de 2023. Por lo tanto, la capacidad del estanque para las aguas lluvias debe ser de **234.55 m³**.

- Utilizar el mayor promedio mensual de precipitaciones por día

Observando los datos, vemos que el promedio máximo mensual de precipitaciones por día se da en junio del 2020, donde en promedio, precipitaron 7.6 mm por día. Por lo tanto, la capacidad del estanque para las aguas lluvias debe ser de **22.29 m³**.

- Utilizar el mayor promedio diario de precipitaciones por mes

Esta información se presenta en la figura 6, donde puede observarse que junio es el mes con mayores precipitaciones diarias en promedio, 3,57 mm. Por lo tanto, la capacidad del estanque sería de **10.39 m³**.

Óptimo económico:

Se cotizaron estanques de almacenamiento de aguas de capacidades 1, 5, 10 y 20 metros cúbicos con la empresa Fibra NOV. Luego, se calculó la cantidad de ciclos de llenado del estanque que son necesarios para financiar la inversión de cada estanque. Para esto, se utilizó el precio del agua que entrega Esval, de \$1945,1 por m³.

$$\text{Ciclos} = \frac{\text{Valor de agua en estanque}}{\text{Inversión}} = \frac{\text{Precio agua} \times \text{Capacidad}}{\text{Inversión}}$$

El siguiente gráfico muestra los resultados obtenidos

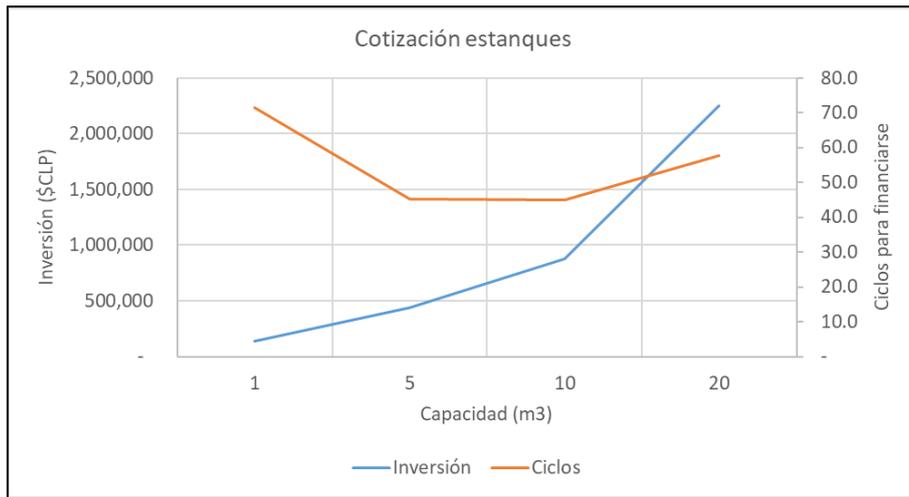


Figura 24: Óptimo económico para la capacidad del estanque. Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver que existe un óptimo económico para el estanque dado por el mínimo de ciclos. Esto se cumple en el estanque de capacidad 10 m³, que presenta una cantidad de 45 ciclos y una inversión de \$874650.

Dicho lo anterior, el tamaño de estanque que se utilizará para la recolección de aguas lluvias es de 10 m³.

ANEXO 8: Promedio de precipitaciones acumuladas por mes

[\[volver\]](#)

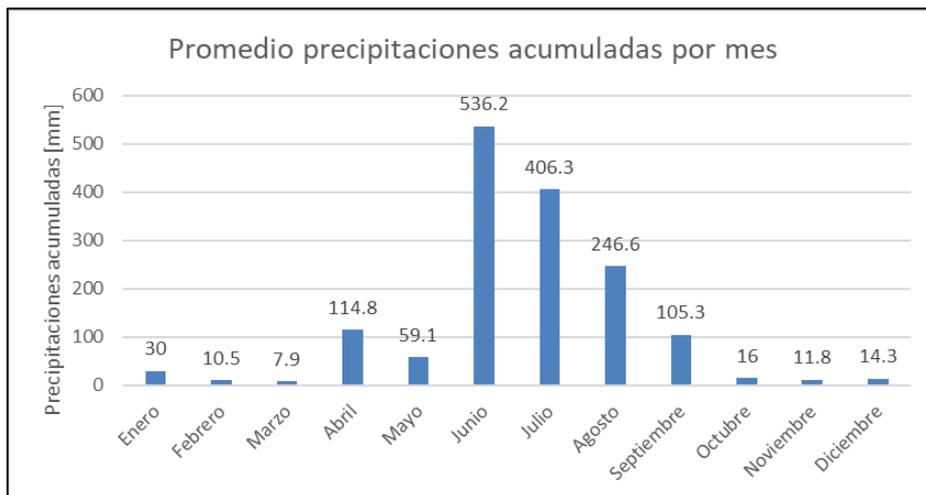


Figura 25: Promedio de precipitaciones acumuladas por mes. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 9: Desglose del monto de la planta de tratamiento de aguas grises

[\[volver\]](#)

Tabla 18: Desglose del monto de la planta de tratamiento de aguas grises.

Item	Cantidad	Descripción	Modelo	Precio UF
1	1	Planta de Tratamiento de Aguas Grises	VA4.5ci	173
Equipamiento PTAR				
2	1	Sistema de Bombeo y filtración FILTROCEL		68
3	1	Estanque Acumulación final 1 m3 PEAD		No Incluido
4	1	Eyector OG 63 1 HP		17
5	1	Tablero de control IP65		25
6	1	Conexionado y puesta en marcha*		20
Total PTAR				303

ANEXO 10: Cálculos detallados modelación proyecto calderas

[\[volver\]](#)

Primeramente, para la caldera de agua caliente, se sabe que la actual opera entre 60 y 75 grados Celsius, y que su presión de operación de 13 bar. En general el agua caliente funciona para toda la escuela, con diferencia al casino de oficiales que tienen su sistema de calefacción y agua caliente aparte. Buscando en bibliografía, se estimó que ciertos lugares con un flujo parecido de personas al de la Escuela Naval es de 8 litros por persona en cocinar comida al día, lo que consumiría aproximadamente 0,47 Kwh. Una gran parte del agua caliente se utiliza en el complejo deportivo, temperando la piscina y las duchas. Para mantener una piscina olímpica temperada se utilizan aproximadamente 13,000 kWh. Finalmente, existen algunas duchas de agua caliente en los baños, y todas las duchas del complejo deportivo son de agua caliente. Si estimamos que los cadetes se duchan por un máximo de 5 minutos, y suponiendo que todos se duchan al menos una vez al día con agua caliente, esto daría un aproximado de 50 litros por persona, lo cual requiere 1,3 kWh para calentar la ducha de una persona. Finalmente, si consideramos que tenemos 700 personas, se necesitaría una potencia de 14.239 kWh. Luego, para estimar la producción de agua caliente, se consideró el gasto promedio del complejo y el principal, restando el gasto anteriormente calculado proveniente de las aguas grises para cada mes.

Tabla 19: Promedio de producción de agua caliente. Fuente: Elaboración propia.

Año	Complejo	Principal	Aguas Grises	Total
2020	1.422 m ³	2.303,83 m ³	361,6 m ³	3.364,23 m ³
2021	1.316,58 m ³	2.444,75 m ³	361,6 m ³	3.399,73 m ³
2022	781,5 m ³	2.589,16 m ³	361,6 m ³	3.009,06 m ³
2023	776,75 m ³	2.270,88 m ³	361,6 m ³	2.686,03 m ³

Luego promediamos los valores totales para obtener el estimado:

$$\text{promedio en } \frac{m^3}{mes} = \frac{(3.364,23 + 3.399,73 + 3.009,06 + 2.686,03)}{4} = 3.114,76 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

Ahora bien, para obtener el promedio de la producción en kg/h, se realizan las conversiones necesarias, por lo que se tiene:

$$\text{promedio en } \frac{kg}{h} = 4.266,33 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Para la caldera de vapor, sabemos que se cuenta con una producción máxima de 2.273 kg/h de vapor.

Con estos valores, se buscaron calderas que cumplieran con los requisitos pedidos, es decir, una caldera de agua caliente que una potencia nominal que supla los 14.239 kWh y 4.266,33 requeridos y una a vapor que cumpla con el caudal necesario de 2.273 kg/h de vapor de agua.

ANEXO 11: Detalles modelación proyecto solar

[\[volver\]](#)

Se analizaron los posibles espacios disponibles para la instalación de los paneles. Tras conversaciones con la Escuela y tomando en consideración la restricción de no alterar la fachada de la escuela y no intervenir las áreas verdes, se definió que los paneles serán instalados en los techos. Gracias a vistas de *Google Earth*, conocimiento de los funcionarios y análisis del grupo, se definieron 4 techos como los más planos, sin sombra y con facilidad de instalar, los que corresponden a una suma de 4.251 m² y se pueden notar en el [Anexo 12](#).

Para entregas anteriores, se realizaron cálculos utilizando la plataforma “explorador solar” del ministerio, con criterios propios, y analizando en profundidad el caso donde se cubriera un 60% de la demanda energética, es decir, un total anual de 539.641 kWh. También se analizaron distintos casos de cobertura de demanda, con coberturas desde el 50% hasta el 100%. Sin embargo, en esta entrega la modelación se enfocará en las nuevas opciones presentadas, más reales y adecuadas para el propósito de la escuela de mejorar su compromiso sustentable.

Así, se analizaron distintas opciones emergentes en el mercado relacionadas a la generación de energía solar, tales como el leasing y el PPA. Para esto, se contactó a la consultora *Terralink* para efectos de cotización.

En cuanto a la evaluación técnica preliminar, se utilizaron los mismos techos disponibles que para la opción de inversión propia explicada previamente, considerando sombra, el tipo de superficie del techo y su disponibilidad. Sin embargo, la consultora de cotización, al tener mayor experiencia, entregó una instalación de 635 paneles ocupando el 100% del área total, contra los 1.025 paneles considerados que se obtuvieron mediante los cálculos realizado en la modelación propia, detallada en el [Anexo 25](#) (no se calculó espacio los 3 inversores de corriente necesarios, tránsito de personal ni estructuras). Estos 635 paneles entregarán anualmente 491.101 kWh, equivalente a un 72% del consumo total de 680.841 kWh, los cuales estarán conectados igualmente mediante el sistema de *net-billing* a la red.

ANEXO 12: Techos disponibles para instalación solar

[\[volver\]](#)

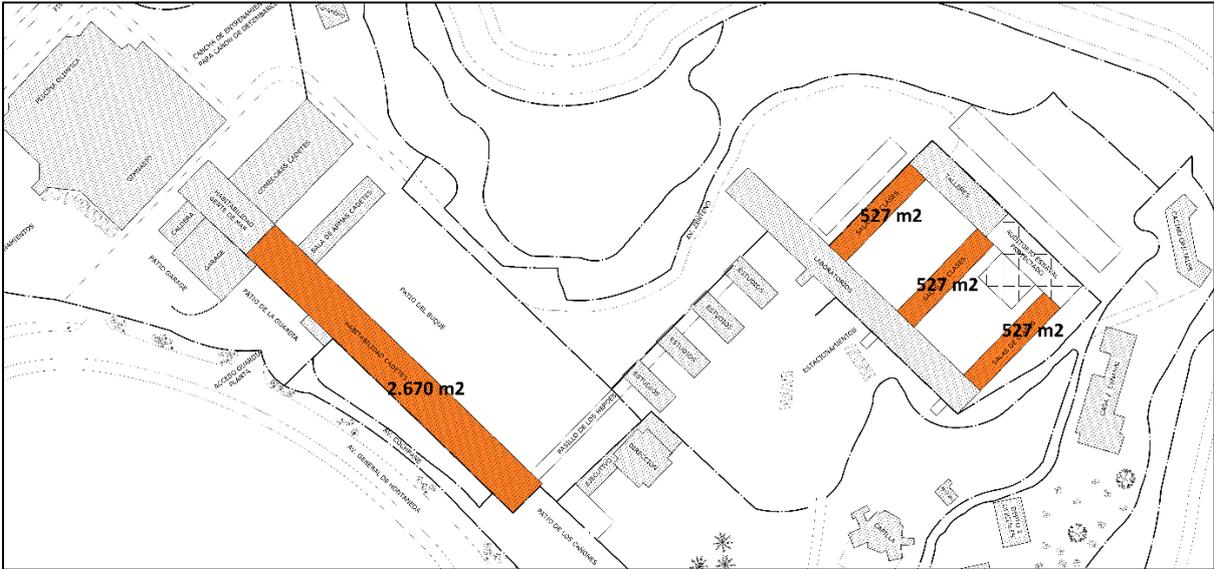


Figura 26: Techos disponibles para instalación solar. Fuente: Datos proporcionados por el cliente.

ANEXO 13: Generación fotovoltaica diaria

[\[volver\]](#)

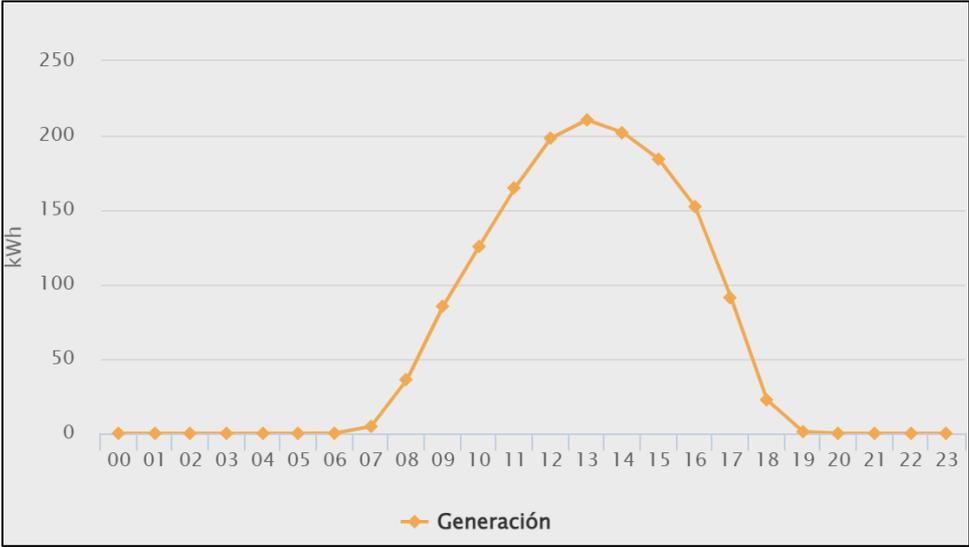


Figura 27: Generación fotovoltaica diaria. Fuente: (Ministerio De Energía, 2023)

ANEXO 14: Desglose de inversión para proyecto de tratamiento de aguas

[\[volver\]](#)

Tabla 20: Desglose de inversión para proyecto de aguas. Fuente: Elaboración propia con datos externos.

Escenario 1		Escenario 2 - Incluye aguas lluvias	
Elemento	Precio (\$CLP)	Elemento	Precio (\$CLP)
Planta de Tratamiento de Aguas Grises	6,264,050	Planta de Tratamiento de Aguas Grises	6,264,050
Sistema de Bombeo y filtración FILTROCEL	2,462,170	Sistema de Bombeo y filtración FILTROCEL	2,462,170
Eyector OG 63 1 HP	615,542	Estanque Acumulación final 10 m3	874,650
Tablero de control IP65	905,210	Eyector OG 63 1 HP	615,542
Conexionado y puesta en marcha	724,168	Tablero de control IP65	905,210
IVA-O&G	2,084,516	Conexionado y puesta en marcha	724,168
Obras civiles	300,000	IVA-O&G	2,084,516
Excavaciones y rellenos	1,440,000	Obras civiles	600,000
Retiro de escombros	100,000	Excavaciones y rellenos	1,440,000
Empalmes eléctricos e hidráulicos	200,000	Retiro de escombros	100,000
Tramitaciones y aprobaciones legales	2,353,545	Empalmes eléctricos e hidráulicos	200,000
Flete destino	150,000	Tramitaciones y aprobaciones legales	2,353,545
Grúa para descarga y posicionamiento	250,000	Flete destino	300,000
Consumo eléctrico y agua potable durante montaje y puesta en marcha	10,733	Grúa para descarga y posicionamiento	250,000
Traslado y estadía del técnico para la puesta en marcha	80,000	Consumo eléctrico y agua potable durante montaje y puesta en marcha	10,733
		Traslado y estadía del técnico para la puesta en marcha	80,000
Total	17,939,933	Total	19,264,583

ANEXO 15: Flujos de caja libre para proyecto de tratamiento de aguas

[\[volver\]](#)

Tabla 21: Flujos de caja libres para escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

	Escenario 1: Sin aguas lluvias			Escenario 2: Con aguas lluvias			
	t=0	t=1	t=2	t=0	t=1	t=2	
Año	2025	2026	2027	Año	2025	2026	2027
Ingresos	-	6,998,964	6,998,964	Ingresos	-	10,987,786	10,987,786
Costos totales	-	(1,356,101)	(1,356,101)	Costos totales	-	(1,356,101)	(1,356,101)
EBITDA	-	5,642,863	5,642,863	EBITDA	-	9,631,686	9,631,686
Depreciación (-)	-	(208,802)	(208,802)	Depreciación (-)	-	(208,802)	(208,802)
EBIT	-	5,434,062	5,434,062	EBIT	-	9,422,884	9,422,884
EBIT(1-t)	-	5,434,062	5,434,062	EBIT(1-t)	-	9,422,884	9,422,884
Depreciación (+)	-	208,802	208,802	Depreciación (+)	-	208,802	208,802
Inversiones	(19439933)			Inversiones	(22939933)		
FCL	(19439933)	5,642,863	5,642,863	FCL	(22939933)	9,631,686	9,631,686

ANEXO 16: Flujo de caja libre para el proyecto de calderas en el escenario 1

[\[volver\]](#)

Escenario 1: Inversión de 74.600.000				
año	2025	2026	2027	2028
Ingresos	-	17,951,196	17,951,196	17,951,196
Costos	-	-	-	-
EBITDA	-	17,951,196	17,951,196	17,951,196
Depreciación(-)	-	(3,730,000)	(3,730,000)	(3,730,000)
EBIT	-	14,221,196	14,221,196	14,221,196
EBIT(t-1)	-	9,898,292	9,898,292	9,898,292
Depreciación(+)	-	3,730,000	3,730,000	3,730,000
Inversiones	(74,600,000)	-	-	-
FCL	(74,600,000)	17,951,196	17,951,196	17,951,196

ANEXO 17: Flujo de caja libre para el proyecto de calderas en el escenario 2

[\[volver\]](#)

Escenario 1: Inversión de 92.600.000				
año	2025	2026	2027	2028
Ingresos	-	17,951,196	17,951,196	17,951,196
Costos	-	-	-	-
EBITDA	-	17,951,196	17,951,196	17,951,196
Depreciación(-)	-	(3,730,000)	(3,730,000)	(3,730,000)
EBIT	-	14,221,196	14,221,196	14,221,196
EBIT(t-1)	-	9,898,292	9,898,292	9,898,292
Depreciación(+)	-	3,730,000	3,730,000	3,730,000
Inversiones	(92,600,000)	-	-	-
FCL	(92,600,000)	17,951,196	17,951,196	17,951,196

ANEXO 18: Flujo de caja libre para el proyecto energético

[\[volver\]](#)

	t=0	t=1	t=2
Año	2023	2024	2025
Ingresos	-	75.320.160	70.408.463
Costos totales	-	\$7.489.852	\$7.759.487
EBITDA	-	67.830.308	62.648.976
Depreciación (-)	-	-	-
EBIT	-	67.830.308	62.648.976
EBIT(1-t)	-	67.830.308	62.648.976
Depreciación (+)	-	-	-
Inversiones	(306.038.250)		
FCL	(306.038.250)	67.830.308	62.648.976
FCL Acumulado	(306.038.250)	(238.207.942)	(175.558.965)

ANEXO 19: Gráfico araña proyecto de aguas – Escenario 2

[\[volver\]](#)

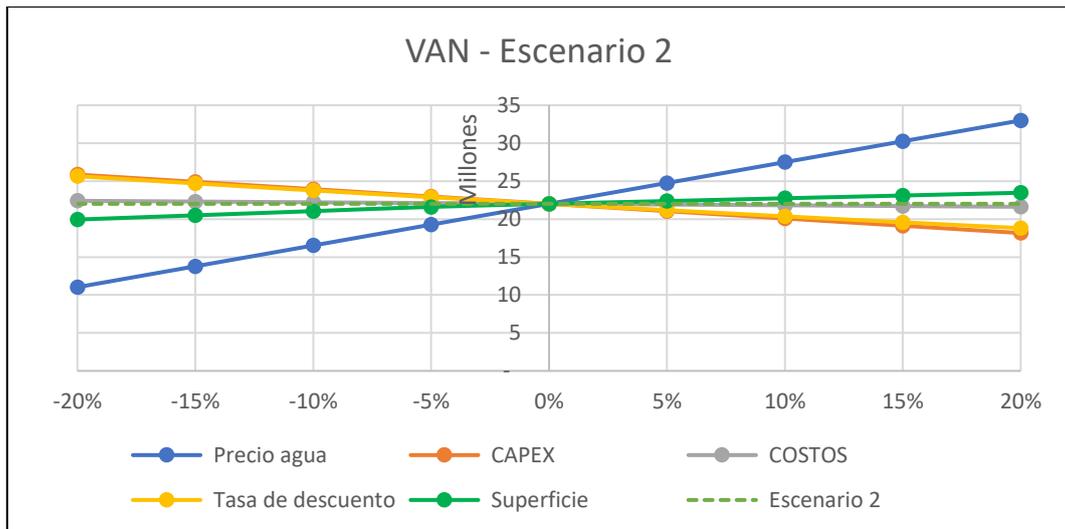


Figura 28: Gráfico araña - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 20: Tabla resumen análisis de sensibilidad de precio - Proyecto calderas

[\[volver\]](#)

Tabla 22: Resumen análisis sensibilidad de precio - proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN		MEDIDORES	
PRECIO COMBUSTIBLE	PROCENTAJE	VAN	TIR
\$ 19,600	-20%	\$ -2,430,438	9%
\$ 22,050	-10%	\$ 8,840,758	12%
\$ 24,500	0%	\$ 20,111,953	14%
\$ 26,950	10%	\$ 31,383,148	17%
\$ 29,400	20%	\$ 42,654,344	19%

ANEXO 21: Tabla resumen análisis de sensibilidad de inversión inicial - Proyecto calderas

[\[volver\]](#)

Tabla 23: Análisis de sensibilidad para inversión inicial - Proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN		MEDIDORES	
INVERSIÓN	PROCENTAJE	VAN	TIR
\$ -74,080,000	-20%	\$ 38,631,953	20%
\$ -83,340,000	-10%	\$ 29,371,953	17%
\$ -92,600,000	0%	\$ 20,111,953	14%
\$ -101,860,000	10%	\$ 10,851,953	12%
\$ -111,120,000	20%	\$ 1,591,953	10%

ANEXO 22: Tabla resumen análisis de sensibilidad de eficiencia. Proyecto calderas

[\[volver\]](#)

Tabla 24: Análisis de sensibilidad para eficiencia - Proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN		MEDIDORES	
EFICIENCIA	PROCENTAJE	VAN	TIR
9.76%	-20%	\$ -2,183,521	9%
10.98%	-10%	\$ 9,118,539	12%
12.20%	-	\$ 20,111,953	14%
13.42%	10%	\$ 31,722,658	17%
14.64%	20%	\$ 43,024,718	19%

ANEXO 23: Tabla resumen análisis de sensibilidad de tasa de descuento. Proyecto calderas

[\[volver\]](#)

Tabla 25: Análisis de sensibilidad según vida útil - Proyecto calderas. Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN		MEDIDORES	
TASA	PROCENTAJE	VAN	TIR
7,60%	-20%	\$ 30.057.826	14%
8,55%	-10%	\$ 24.922.114	14%
9,50%	-	\$ 20.111.953	14%
10,45%	10%	\$ 15.601.890	14%
11,40%	20%	\$ 11.368.762	14%

ANEXO 24: TIR y Payback para proyecto de aguas-escenario 2, variando eficiencia de planta y de recolección de aguas lluvias

[\[volver\]](#)

Tabla 26: TIR escenario 2 según eficiencia de planta de tratamiento y de recolección de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.

PTAG/Recolección	100%	95%	90%	85%
100%	38%	38%	37%	37%
95%	37%	36%	36%	35%
90%	35%	34%	34%	33%
85%	33%	32%	32%	32%

Tabla 27: Payback escenario 2 según eficiencia de planta de tratamiento y de recolección de aguas lluvias. Fuente: Elaboración propia.

PTAG/Recolección	100%	95%	90%	85%
100%	2.61	2.64	2.67	2.70
95%	2.74	2.77	2.81	2.84
90%	2.88	2.92	2.96	3.00
85%	3.04	3.08	3.13	3.17

ANEXO 25: Modelación para el pago propio del proyecto energético

[\[volver\]](#)

Para los cálculos de generación se utilizó la plataforma “explorador solar”, del ministerio de energía de Chile, donde toma en cuenta factores como el factor de planta, nubosidad, radiación, temperatura y

viento de la zona para entregar la cantidad de energía a generar. Luego, se debía seleccionar el tipo de panel. En primer lugar, se consideró el panel JKM265P-60 gracias a su desempeño con aires salinos y la cercanía del mar, pero al notar precios y eficiencia se descartó esta opción, para quedarse con el modelo HCM72X9-410W, más eficiente en términos de reducción de espacio necesario y con buena eficiencia en la zona.

Para el cálculo del espacio utilizado por cada panel se consideró el área en el plano horizontal de cada panel, con la intención de aplicarla al área de techo obtenida por *Google Earth*. Esta área se obtuvo considerando el ángulo de 33° con que están dispuestos los paneles en la latitud deseada y las dimensiones del tipo de panel deseado: 1,002 x 2,008 m (DahSolar, s.f.). Así;

$$\cos(33^\circ) = \frac{1,002}{L \text{ plano}}$$

De esta forma se obtiene el largo del panel en el plano horizontal (es decir, considerando su sombra) de 1,195 m, resultando así una separación de 0,354 m entre el extremo superior de un panel y el inferior del de atrás. Al multiplicar este largo por el largo del panel se obtiene un área de panel en el plano horizontal de 2,399 m². Cabe destacar que los techos no están dispuestos de forma perpendicular al norte por lo que los paneles estarán ubicados de forma diagonal en el techo, y debido a esto se dejó un margen conservador de área disponible para la instalación.

Para finalizar y en cuanto a la generación en sí, se obtuvieron datos de la simulación realizada por el explorador solar. Tal simulación se concentró en satisfacer un 60% de la demanda energética en el mes de mayor consumo energético de la escuela, es decir, 44.016 kWh mensuales o 1.467 kWh diarios. Es preciso notar que se eligió este porcentaje en base al elevado costo de inversión del proyecto teniendo en cuenta también las calderas y el agua, y en que en conversaciones con la escuela se informó su intención de cubrir al menos un 50% de su demanda máxima. Luego se dividió este valor por un factor de 3,5 (factor empírico obtenido en el explorador solar que considera las horas efectivas de generación diaria bajo la curva) para obtener la potencia necesaria por día, correspondiente a 420 kW. Dividiendo este valor en la capacidad nominal de generación de cada panel se notó que son necesarios 1.025 paneles, con los cuales se realizó la simulación y se obtuvieron los siguientes datos: Total diario: 1478,47 kWh, Total Anual 539.641 kWh y Factor planta de 14%. Además, el [Anexo 13](#) muestra la generación fotovoltaica diaria por hora. Como se puede notar, existe una gran variabilidad en cuanto a la generación diaria, por lo que se nota como solución el concepto de *net-billing*, mediante el cual se conecta un medidor de ida y vuelta en la conexión de los paneles al cableado público de forma en que a fin de mes se pague la diferencia entre ambas, o, si se genera más de lo que se consume, se guarde un excedente para el mes siguiente. Tal concepto es muy útil ya que disminuye el efecto de días nublados, fines de semana en los que no se consume energía u otros, aplanando la curva de demanda anual, eliminando la necesidad de baterías que se gastarían muy rápido con el viento y la sal de la zona, y maximizando así el ahorro monetario generado por la energía solar.

ANEXO 26: Detalles simulación de Montecarlo

[\[volver\]](#)

Tabla 28: Distribución de variables - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Variable	Mínimo	Esperado	Máximo
Precio agua	1750,59	1945,1	3188,02
CAPEX	16.145.939,9	17.939.933	26.909.899,9
COSTOS	1.774.478,72	1.971.643,02	2.957.464,53
Tasa de descuento	7,6%	9,5%	11,4%

Tabla 29: Distribución de variables - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

Variable	Mínimo	Esperado	Máximo
Precio agua	1750,59	1945,1	3188,02
CAPEX	17.338.124,9	19.264.583	28.896.874,9
COSTOS	1.951.926,59	2.168.807,32	3.253.210,98
Tasa de descuento	7,6%	9,5%	11,4%
Superficie de recole	2328	2910	3492

ANEXO 28: Montecarlo escenario 2 proyecto de agua y gráficos tornados generados por @RISK

[\[volver\]](#)

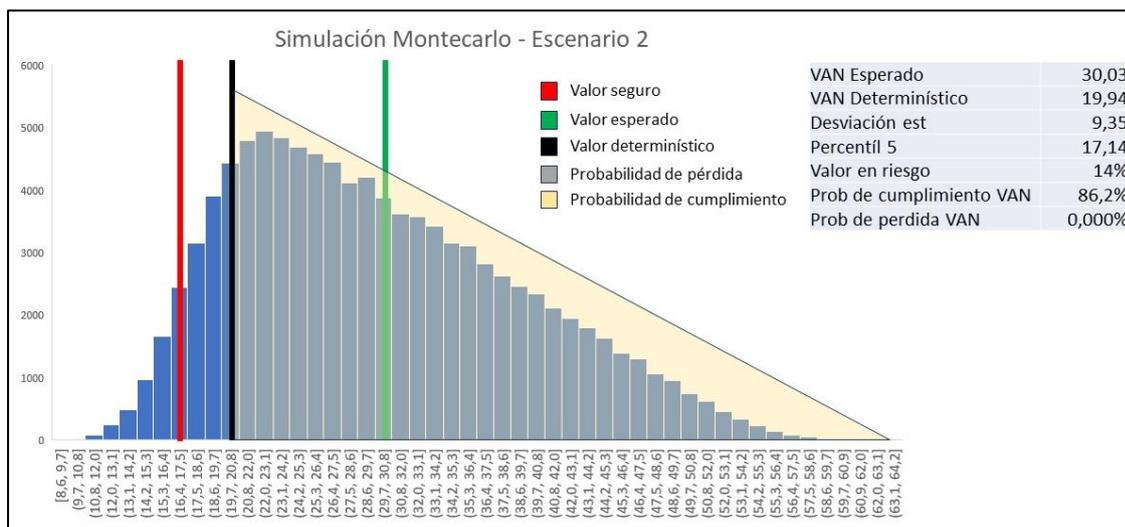


Figura 29: Simulación de Montecarlo - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

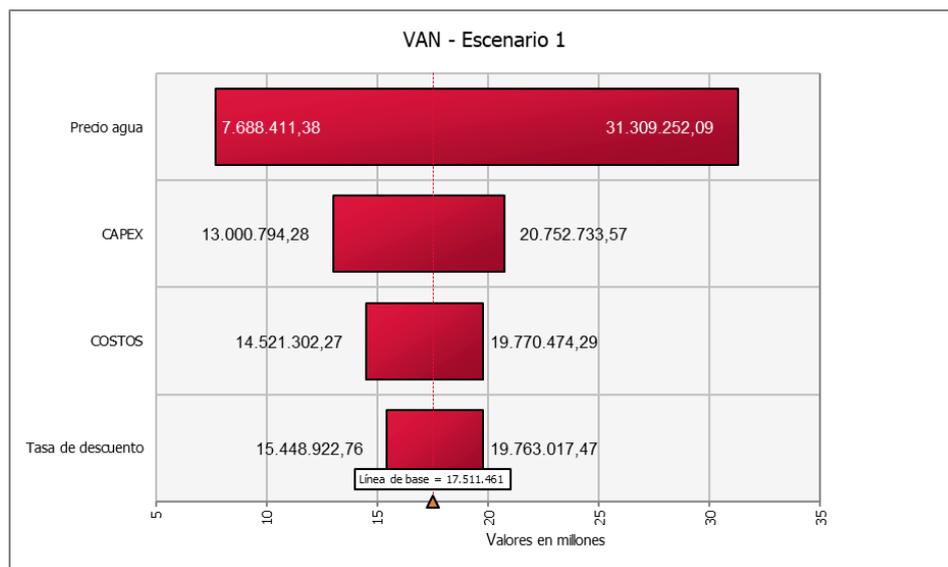


Figura 30: Gráfico Tornado - Simulación Montecarlo - Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

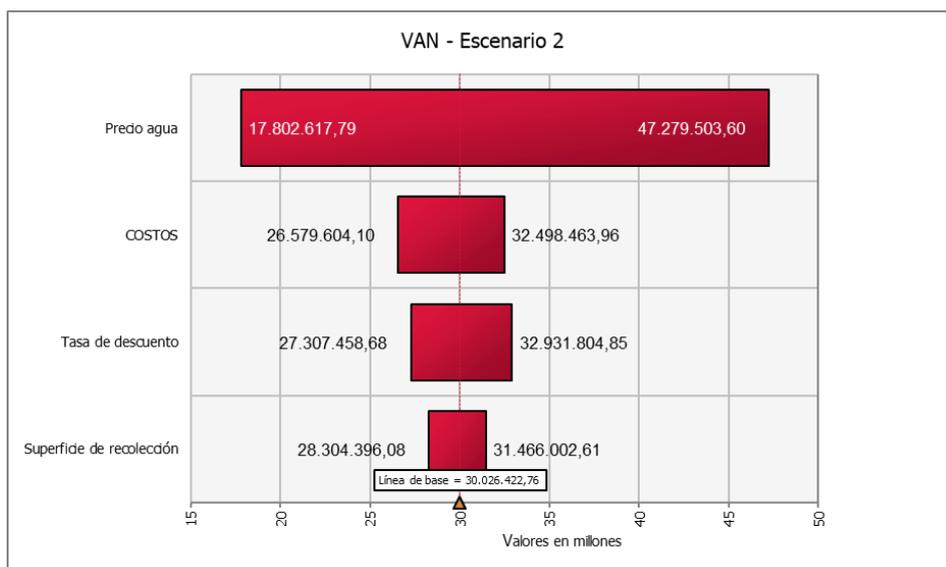


Figura 31: Gráfico Tornado - Simulación Montecarlo - Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 29: Cuenta eléctrica y ahorro por periodo proyecto energético

[\[volver\]](#)

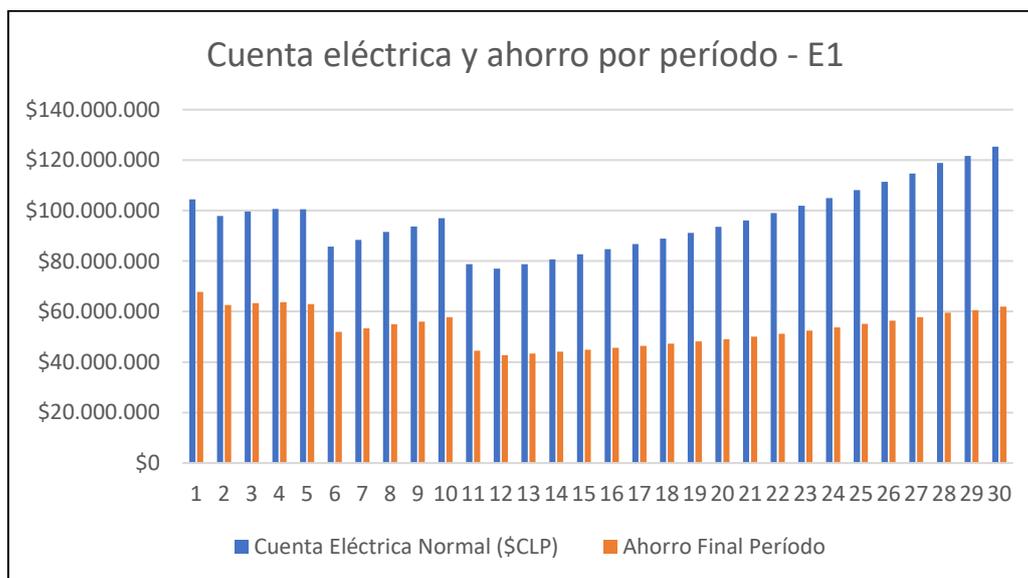


Figura 32: Cuenta eléctrica nueva y ahorro proyectado escenario 1.

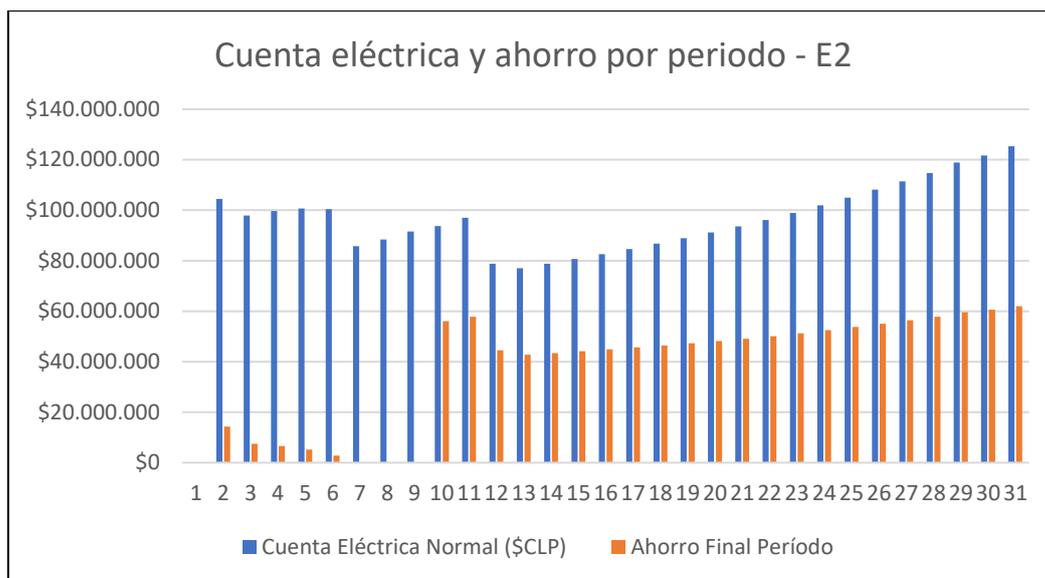


Figura 33: Cuenta eléctrica nueva y ahorro proyectado escenario 2.

ANEXO 30: Desglose inversión proyecto energético

[\[volver\]](#)

Tabla 30: Inversión para instalación de paneles solares. Fuente: Terralink.

	P/U	CANTIDAD	SUBTOTAL
Paneles Solares Longi Solar 540 Bifacial Certificado SEC	\$208.265	635	\$132.248.169
Inversor On-Grid Fronius Tauro Eco 100-3-D 100000 VA Certificado SEC.	\$6.533.641	3	\$19.600.922
Accesorios de montaje Cables, canalizaciones, señaléticas, materiales eléctricos y mecánicos.	\$6.575.641	635	\$6.575.641
Medidor Bidireccional Trifásico. Fronius Smart Meter Trifásico Certificado SEC.	\$233.018	1	\$233.018
Estructura Inclinado sobre Techo	\$51.203	635	\$32.513.838
Ingeniería Ingeniería On-Grid.	\$1.909.986	1	\$1.909.986
Tramitación Servicios de trámites ante SEC y Distribuidora, Ley de Generación Distribuida.	\$96.174	1	\$96.174
Instalación eléctrica y mecánica.	\$99.701	635	\$63.310.294
Transporte Transporte trabajadores y equipos.	\$686.958	1	\$686.958
		Total	\$257.175.000
		Total + IVA	\$306.038.250