



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MODELO DE NEGOCIO PARA UN SERVICIO DE CONSULTORÍA EN
ANALÍTICA AVANZADA APLICADA AL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
MINEROS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PAULO ANDRÉS CHACOFF LEITON

PROFESOR GUÍA:
OMAR CERDA INOSTROZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RENÉ ESQUIVEL CABRERA
RODOLFO URRUTIA URIBE

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil Industrial
POR: Paulo Andrés Chacoff Leiton
FECHA: 12/04/2021
PROFESOR GUÍA: Omar Cerda Inostroza

MODELO DE NEGOCIO PARA UN SERVICIO DE CONSULTORÍA EN ANALÍTICA AVANZADA APLICADA AL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MINEROS

El presente documento se enmarca en el proceso de titulación con que el estudiante se presenta para acceder al grado de Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de Chile, teniendo como objetivo general diseñar un modelo de negocio para la entrega de un servicio de consultoría en analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos mineros.

En la minería el área de mantenimiento presenta una relevancia significativa para la gestión de los datos dado que representa parte importante de la estructura de costos, siendo responsables del 30% al 40% de los gastos operacionales de una faena minera, teniendo un impacto directo en el desempeño de las compañías. En las últimas décadas se ha acrecentado la generación de data a lo largo de toda la cadena de extracción y procesamiento del mineral gracias a la sensorización de los equipos. De lo anterior es que la aplicación de nuevas tecnologías como la analítica avanzada vengan a facilitar la gestión de la información y la toma de decisiones en la operación de los equipos.

Para el desarrollo del trabajo se utiliza la metodología que propone Ash Maurya en la construcción de un modelo de negocio a través de la metodología Running Lean, donde se plantean hipótesis iniciales respecto a las condiciones del negocio y el mercado. En el trabajo se desarrolla una primera fase de validación donde se realizan 11 entrevistas a distintos actores del mercado a fin de validar de primera fuente los principales problemas asociados a la adopción de analítica avanzada en las faenas mineras, así como también con el propósito de identificar a los potenciales clientes del servicio. En la segunda fase de entrevistas realizada a 7 potenciales clientes y especialistas se valida una solución con las principales características del servicio y el precio que estarían dispuestos a pagar para obtener el servicio.

Con la finalidad de entender las fuerzas que determinan la competitividad del mercado se realiza un análisis de fuerzas de Porter que se complementa con un análisis de benchmarking a las organizaciones Hitachi Consulting, a la consultora Mainnovation y The Datalab que entregan un servicio de características similares al que se pretende entregar. También se desarrolla un prototipo con las características de mayor valor que fueron validadas del modelo de negocio así como del benchmarking.

Para validar la factibilidad económica del proyecto se evalúa mediante flujos de caja descontados en un período de 3 años, de donde se obtiene una tasa de descuento del 12,05%, un VAN de \$272.112.006, por lo que resulta viable su implementación.

*A mi madre
Georgina, mi
hermana
Maureen, mi
hermano
Marcos y
amigos.*

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y padre por ser los pilares fundamentales de mi familia y junto con mis hermanos Marcos y Maureen por inculcarme valores como el respeto, la empatía, el coraje y la fortaleza. Les agradezco por ser parte del caminar desde el inicio de mis días. A mi hermano Marcos por enseñarme el valor del compromiso, la dedicación y el amor por la ingeniería. A mi hermana Maureen y mi cuñado Harinson quienes me han enseñado el valor de construir un hogar junto a mis sobrinos Fausto y Octavia. A mi familia Leiton de Bucalemu y Chacoff de Doñihue por enseñarme el valor del compartir y el trabajo.

A mis primos Diego, Cristobal, Benji y Pablino. Al equipo del Centro de alumnos de Ingeniería 2018, los equipos R.I.E y FIIL del SENAME Cread Galvarino. A mis amigos de industrias Pancho, Seba, Pipe, Elías, Danisa, Jose, Marco y Lucho. A mis amigos del Dream Team Marco, Ale, Gabo, Pachin, Abdallah, Diego y Fedi. Juntos compartimos la amistad, el buen sentido del humor y momentos importantes durante mi vida universitaria.

Al profesor Omar por su compromiso, disposición y amabilidad durante todo el proceso de memoria. A los profesores René y Rodolfo por su espíritu crítico. Al profesor Vignolo por su sabiduría y apoyo. A Don Adrian por su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes generales	1
1.2 Justificación de la oportunidad	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Resultados esperados	5
1.5 Alcances	6
1.6 Marco conceptual	6
1.6.1 Running Lean	7
1.6.2 Fuerzas de Porter	11
1.6.3 Benchmarking	14
1.6.4.1 Métodos basados en el descuento de los flujos de caja	21
1.6.4.2 Indicadores de evaluación del valor económico	24
1.6.5 Modelos de mantenimiento predictivo con técnicas de analítica avanzada	25
1.6.5.1 Desarrollo de un algoritmo inteligente de detección de fallas en sistemas rotores	25
1.6.5.2 Análisis predictivo de activos mineros para obtención de intervalo de falla mediante algoritmos de machine learning	26
1.7 Metodología	27
1.7.1 Modelo de negocio	27
1.7.2 Análisis de mercado	28
1.7.3 Prototipo	28
1.7.4 Evaluación económica	28
CAPÍTULO 2. MODELO DE NEGOCIO	30
2.1 Modelo de negocio preliminar	30
2.1.1 Descripción del modelo de negocio preliminar	31
2.1.1.1 Problema/Oportunidad	31
2.1.1.2 Segmento de clientes	31
2.1.1.3 Solución	32
2.1.1.4 Canales	32
2.1.1.5 Métricas clave	32
2.1.1.6 Propuesta única de valor	33
2.1.1.7 Ventaja competitiva	33
2.1.1.8 Estructura de costes	33
2.1.1.9 Flujos de ingreso	33
2.1.2 Hipótesis más riesgosas que sustentan el modelo	34

TABLA DE CONTENIDO

2.1.3 Validación del problema	35
2.1.3.1 Hipótesis 1	35
2.1.3.2 Hipótesis 2	35
2.1.3.3 Hipótesis 3	36
2.1.4 Validación del segmento de clientes	36
2.1.4.1 Hipótesis 1	37
2.1.4.2 Hipótesis 2	37
2.1.4.3 Hipótesis 3	37
2.1.5 Conclusión de la validación inicial	38
2.2 Modelo de negocio versión 2	40
2.2.1 Validación de la solución mediante la construcción de una Demo	41
2.2.1.1 DEMO	41
2.2.1.1.1 Consultoría operacional	41
2.2.1.1.2 Análisis de la tecnología operacional	42
2.2.1.1.3 Análisis de datos	43
2.2.1.2 Estructura de precios	43
2.2.1.2.1 Plan freemium	43
2.2.1.2.2 Plan básico	44
2.2.1.2.3 Plan global	44
2.2.1.2 Resultados de la validación de la solución	44
2.2.2 Validación de los early adopters	45
2.2.2.1 Hipótesis 1	45
2.2.3 Validación de los flujos de ingresos	46
2.2.3.1 Hipótesis 1	46
2.2.4 Conclusión de la validación 2	46
2.3 Modelo de negocio final	48
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE MERCADO	49
3.1 Análisis de fuerzas de Porter	49
3.1.1 Rivalidad entre los competidores existentes	49
3.1.2 Poder de negociación de los clientes	50
3.1.3 Poder de negociación de los proveedores	50
3.1.4 Amenaza de servicios sustitutos	51
3.1.5 Amenaza de entrada de nuevos competidores	52
3.1.6 Conclusiones Fuerzas de Porter	52
3.2 Benchmarking	53
3.2.1 The Data Lab	53
3.2.2 Consultora Mainnovation	55
3.2.3 Hitachi Consulting	57

TABLA DE CONTENIDO

3.2.4 Conclusiones benchmarking	59
CAPÍTULO 4. PROTOTIPO	60
4.1 Proceso minero	60
4.2 Maquinaria involucrada en proceso de transporte	60
4.3 Tipos de técnicas para la detección de fallas y condición de motores	61
4.3.1 Análisis tribológico	61
4.3.2 Análisis termográfico	61
4.3.3 Análisis del monitoreo de vibraciones	62
4.3.4 Análisis de ultrasonido	62
4.4 Algoritmos de análisis predictivo	63
4.4.1 Machine Learning	64
4.4.2 Algoritmos para la detección de una anomalía o falla	64
4.4.2.1 One Class Support Vector Machines	64
4.4.2.2 PCA Based Anomaly Detection	64
4.4.2.3 K-means Clustering	65
4.4.2.4 Robust Covariance	65
4.4.3 Algoritmos para la clasificación de la causa de falla	65
4.4.3.1 Multiclass Neural Networks	65
4.4.3.2 Multiclass Decision Forest	66
4.4.3.3 Multiclass Decision Jungle	66
4.4.3.4 Multiclass Logistic Regression	66
4.4.4 Algoritmos para la predicción del tiempo de vida remanente (RUL)	66
4.4.4.1 Boosted Decision Trees	66
4.4.4.2 Linear Regression	67
4.5 Propuesta metodológica de aplicación	67
4.5.1 Consultoría operacional	67
4.5.2 Análisis de la tecnología operacional	67
4.5.3 Análisis de datos	68
4.5 Conclusiones del prototipo	69
CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA	70
5.1 Inversión inicial	70
5.2 Estructura de costos	71
5.3 Flujo de ingresos	74
5.3.1 Precio	74
5.3.2 Demanda	75
5.3.3 Ingresos	75
5.4 Capital de trabajo	76
5.5 Flujo de caja	77

TABLA DE CONTENIDO

5.6 Evaluación económica	78
5.7 Análisis de sensibilidad	79
5.7.1 Variaciones en la demanda	79
5.7.1.1 Inexistencia de clientes interesados	79
5.7.1.2 Sólo un cliente adquiere el servicio (punto de equilibrio)	79
5.7.1.3 Riesgo de fuga	80
5.7.2 Variaciones en los precios	80
5.7.2.1 Precio de equilibrio según costos	80
5.7.2.1 Precio según beneficio percibido	80
5.8 Conclusiones de la evaluación económica	82
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	91
Anexo A: Entrevistas de análisis del problema y segmento de clientes.	91
Anexo B: Entrevistas de análisis de la solución, early adopter y estructura de precios	103
Anexo C: Guión entrevista de fase 1	111
Anexo D: Guión entrevista de fase 2	113

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1: Ponderación y ranking de las metodologías de valoración económica.
- Tabla 2: Relación entre el método de descuento de flujos, respecto a su tasa de descuento correspondiente.
- Tabla 3: Resumen del flujo de validación de hipótesis en fase 1.
- Tabla 4: Resumen del flujo de validación de hipótesis en fase 2.
- Tabla 5: Detalle de la inversión inicial necesaria.
- Tabla 6: Costes al año 1 de evaluación.
- Tabla 7: Costos al año 2 de evaluación.
- Tabla 8: Costos al año 3 de evaluación.
- Tabla 9: Composición de los planes de precios
- Tabla 10 : Ingresos anuales percibidos.
- Tabla 11: Estimación del capital de trabajo.
- Tabla 12: Flujo de caja anual para 3 años de evaluación del proyecto.
- Tabla 13: Costos de detenciones no programadas en función del precio de venta del cobre.
- Tabla 14: Composición de los planes de precios.

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Expresión canónica para los métodos basados en el descuento de flujos.

Ecuación 2: Valor residual de los flujos futuros.

Ecuación 3: Composición flujo de caja libre.

Ecuación 4: Expresión para el coste promedio ponderado de los recursos.

Ecuación 5: Obtención flujo de caja libre descontado en valor presente.

Ecuación 6: Obtención flujo de caja para el accionista descontado a valor presente.

Ecuación 7: Composición del flujo de caja de capital.

Ecuación 8: Expresión del coste promedio ponderado de los recursos sin consideración de la ponderación del período.

Ecuación 9: Obtención flujo de caja de la deuda descontado y traído a valor presente.

Ecuación 10: Expresión del valor actual neto de acuerdo a una contabilidad de tipo anual.

Ecuación 11: Tasa de descuento obtenida del modelo CAPM.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Lienzo del modelo Lean Canvas.

Ilustración 2: Antes y después del ajuste del servicio o problema con el mercado

Ilustración 3: Metapatrón de iteración y experimentación de la metodología Running

Ilustración 4: Las cinco fuerzas de Porter que dan forma a la competencia del sector

Ilustración 5: Diagrama de flujo de los procesos del benchmarking de dominio público.

Ilustración 6: Composición de la metodología en cada una de sus cuatro etapas.

Ilustración 7: Lienzo Lean Canvas del modelo de negocio preliminar.

Ilustración 8: Lienzo Lean Canvas del modelo de negocio luego de la primera fase de validación.

Ilustración 9: Lienzo Lean Canvas del modelo de negocio luego de la segunda fase de validación.

Ilustración 10: Metodología de trabajo de The Data Lab para la implementación de mantenimiento predictivo.

Ilustración 11: Metodología de trabajo de la consultora Mainnovation para la implementación de mantenimiento predictivo.

Ilustración 12: Metodología de trabajo de Hitachi consulting para la implementación de mantenimiento predictivo.

Ilustración 13: Algoritmos de aplicación en el mantenimiento predictivo de motores.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se entrega una descripción del proyecto a desarrollar y se contextualiza el trabajo de título. Se definen los objetivos específicos y general, los alcances considerados para su desarrollo y los resultados que se espera obtener. Además se enuncian las teorías a utilizar como marco de referencia para la construcción de una metodología de trabajo. Finalmente, se justifica la oportunidad en torno al desarrollo del modelo de negocio.

1.1 Antecedentes generales

Desde hace dos décadas que en el mundo empresarial se ha ido gestando el enfoque donde sólo se puede gestionar lo que se mide. Desde entonces las áreas de operaciones han trabajado en incorporar herramientas de medición de materiales, personal y procesos con la finalidad de incrementar el valor de sus negocios. Hoy en día el enfoque se ha orientado hacia los datos como un nuevo recurso de explotación, gracias al avance de las herramientas computacionales que permiten su transformación en un elemento valioso para la toma de decisiones(Miragliotta et al., 2018)

En el caso de la industria minera se ha impulsado la generación de data a lo largo de toda la cadena de extracción y procesamiento del mineral, gracias al desarrollo de la tecnología del IIoT. El concepto de ‘Industrial Internet of Things’, viene de la idea de incorporar sensores a lo largo de los procesos asociados al funcionamiento de plantas y fabricas, conectados en tiempo real con internet permitiendo que la información pueda ser analizada al instante y se utilice en forma de instrucciones para los equipos. Los principales beneficios asociados a la utilización de la tecnología IIoT en la minería vienen dados por una reducción en los tiempos de operación de los equipos, aumentos en la seguridad de las faenas, automatización de los procesos, ahorros de energía y la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo en la maquinaria (Merry, 2017)

La generación de datos en el caso de la minería proviene de distintas maquinarias y procesos, por lo que presenta una alta variabilidad en torno a su transmisión y calidad. Por lo que se genera una brecha, dado que la información se mantiene almacenada pero no se utiliza, haciéndose necesario integrar tecnologías asociadas al concepto de Big Data, en el que se puede integrar datos que por su volumen, variabilidad y velocidad de generación dificulten su almacenamiento y análisis a través de arquitecturas de datos convencionales, en un período de tiempo que permita su utilización para la toma de decisiones (Yan et al., 2017).

En Chile la gran minería del cobre se distribuye entre las 7 divisiones pertenecientes a la empresa estatal CODELCO que para el año 2019 alcanzaron una producción de 1,7 millones de toneladas de cobre fino y otras 26 empresas privadas que para el año 2019 alcanzaron una producción de 4,1 millones de toneladas de cobre fino, teniendo una producción en Chile de 5,8 millones de toneladas de cobre fino (COCHILCO, 2020). En la minería el área de mantenimiento presenta una relevancia significativa para la gestión

de los datos dado que representa parte importante en la estructura de costos de las empresas, siendo responsables del 30% al 40% de los gastos operacionales de una faena minera. Para el caso del mantenimiento de la maquinaria se tiene un impacto directo en el retorno del capital, por lo que se considera una medida del desempeño en las compañías. Donde es posible identificar la importancia de aplicación de las nuevas tecnologías que faciliten la gestión de la información que se recibe de la operación de los equipos, permitiendo así obtener un mayor conocimiento del negocio y a su vez aumentar la ventaja competitiva respecto a otras faena en las empresas que lo incorporen dentro de sus funciones.

Victor Babarovich, director del Programa del Congreso Internacional de Mantenimiento Minero (Mapla-Mantemin 2019) señala que dentro de las áreas de una faena minera, donde se hace más necesario incorporar mejoras en las labores de mantenimiento por el impacto que tiene en la inversión de capital y sus costos operacionales, es en los procesos de concentración, en particular, para “las plantas concentradoras, en el caso de operaciones con minerales sulfatados; y equipos móviles y transporte, para el caso de operaciones en mina”.

El área de mantenimiento en una faena minera se caracteriza por la presencia de dos grandes grupos de actividades en relación al mantenimiento, las mantenciones no programadas en los equipos definida por el concepto de mantenimiento correctivo y las mantenciones programadas que vienen determinadas por labores de mantenimiento preventivo. En el último caso la labores vienen determinadas principalmente por calendarizaciones, y el mantenimiento basado en la condición, en el que se realiza un monitoreo de la condición de los equipos a través de distintas técnicas de análisis (aceites, termografía, vibraciones y ultrasonido, entre otros) con la finalidad de poder predecir el momento en que se producirá una falla en el equipo, pero presentan la limitación de poder detectar anomalías en los rangos de medición estándar para la detección de posibles fallas, no así en el caso de que se quiera determinar el momento en el que ocurra la falla en un equipo, debido a la gran cantidad de variables requeridas en las operaciones que no serían consideradas en este tipo de análisis, como lo serían por ejemplo los criterios utilizados por los analistas en faena; las condiciones del terreno, la calidad de las mantenciones previamente realizadas, la antigüedad del equipo, entre otros (Fernández, 2019).

Sin embargo, dada la inclusión de tecnologías IIoT y Big Data que permiten generar y disponer de una mayor cantidad de data asociada a la operación de los equipos, es posible la elaboración de modelos de análisis predictivo que permitan incorporar un número mayor de variables de acuerdo al monitoreo de su condición a través del uso de herramientas de Inteligencia Artificial, generando un mayor conocimiento del comportamiento actual y futuro de los equipos, así como la posibilidad de identificar fallas futuras y teniendo así una aproximación del tiempo en que podría ocurrir, que es parte del desafío que presentan los métodos de mantenimiento actual. De lo anterior y mediante el análisis de los modelos de mantenimiento predictivo, es posible apreciar el potencial que tienen las técnicas de mantenimiento predictivo para incrementar la confiabilidad y gestión de las decisiones de mantenimiento.

Como se puede observar en el caso del sector minero se presenta una oportunidad para la adopción de nuevas herramientas tecnológicas como el Big Data, IIoT y el mantenimiento predictivo basado en análisis de datos, dado que en la operación de los equipos se presenta una alta cantidad de variables que no pueden ser modeladas a través de los métodos actuales de mantenimiento basado en la condición, sumado al rol que hoy en día tienen los datos en la toma de decisiones, y la relevancia de su aplicación viene dada por la alta inversión tanto en la mantención como en la compra de los equipos destinados a la producción, donde la innovación e inclusión de nuevas tecnologías permitiría disminuir los costos de operación y aumentar la productividad a fin de generar competitividad y aumentar el valor económico del negocio.

El mantenimiento predictivo va de la mano con el concepto de analítica avanzada que engloba el conjunto de técnicas usadas para modelar datos y extraer hallazgos que puedan conducir a una mejora en la toma de decisiones (Smartbridge, 2020). En la industria de la minería se tiene un uso intensivo de capital por lo que las mejoras en la productividad pueden conducir a mejores resultados económicos, por esta razón la analítica avanzada puede generar valor ayudando a optimizar los procesos, reducir los tiempos improductivos e informar la toma de decisiones en la mina.

1.2 Justificación de la oportunidad

De las características que se han descrito en este capítulo y que estructuran el desarrollo del trabajo de memoria, viene asociada implícitamente la pregunta de ¿cuál es la oportunidad que se observa en el mercado de la gran minería del cobre a nivel nacional para poder implementar un modelo de negocio?. Es posible identificar que existe un potencial de aplicación, mediante el uso de técnicas de analítica avanzada para el mantenimiento de máquinas en la gran industria minera del cobre en Chile, tal como se desarrolla en los párrafos posteriores.

1.2.1 Argumento 1

Un estudio realizado por la consultora Accenture, muestra que un 82% de los ejecutivos de la industria minera global, esperan aumentar la inversión en tecnología digital. Teniendo tres áreas principales; robótica y automatización (54%), drones (41%), operaciones remotas (40%) y analítica y visualización de datos en tiempo real (31%).

1.2.2 Argumento 2

El 16 de septiembre del 2020 la División Chuquicamata de CODELCO logró un record histórico en el procesamiento de sus molinos SAG llegando a las 91 mil toneladas diarias, mejora que fue posible gracias a la utilización de técnicas de analítica avanzada, para lo cual se buscó determinar las variables que mejor se comporten a fin de optimizar el funcionamiento del equipo. Un caso parecido se da en la División El Teniente de CODELCO, donde mediante inteligencia artificial y analítica avanzada, se logró que cada uno de los 12 molinos que componen el proceso de molienda pudiera incrementar su rendimiento en cuatro toneladas por hora, maximizando el rendimiento del proceso y con el potencial de mejorar en torno a un 2% del procesamiento.

1.2.3 Argumento 3

Entre las causas que limitan la inclusión de estas tecnologías, cabe mencionar de la revista de minería Chilena, el que la industria es muy compleja y una operación minera funciona como una ciudad en sí misma. Estas complejidades han retrasado la adopción de las técnicas de analítica avanzada, dada su limitación de poder involucrar la gran cantidad de variables y unidades que se encuentran en las faenas mineras. Sumado a que personas con mayor experticia no se involucran porque consideran complejo que se pueda codificar su experiencia y conocimiento, o finalmente, se corre el riesgo de que las iniciativas lideradas por personas con poca experiencia conduzcan estos proyectos por su falta de conocimiento de las operaciones mineras.

1.2.4 Argumento 4

En un estudio realizado por Bain & Company a 334 ejecutivos que se encontraban desarrollando arquitecturas de Big Data para aplicar técnicas de analítica avanzada, se obtuvo que en ella el 40% esperaba obtener un impacto significativamente positivo en los retornos, con un 8% esperando obtener resultados transformacionales. Del estudio aun así 30% de los ejecutivos declararon presentar una deficiente estrategia para convertir una inversión en analítica avanzada a fin de que sea posible obtener resultados favorables, esto se tiene dado que mayor data no significa mejores resultados, debido a que el valor viene de la acción y no del input de datos, encontrando así el camino más corto desde los hallazgos a la acción.

1.2.5 Argumento 5

Finalmente cabe destacar que entre las consecuencias más importantes que se pueden observar al no aplicar las tecnologías de analítica avanzada en equipos mineros, se destaca en primer lugar el costo de oportunidad en la reducción del tiempo de inactividad y los costos de operación y mantenimiento de los equipos. Como evidencia en un estudio realizado por la consultora Capgemini al implementar tecnologías de analítica avanzada se obtuvieron beneficios operacionales como la reducción estimada de los costos de mantenimiento de un 25%, una reducción de los tiempos de inactividad de un 50% y una reducción de las programaciones de reparación del 12%, por lo que el no invertir significaría un costo de oportunidad alto y en contra para la organización que se encuentre realizando la evaluación.

1.3 Objetivos

A continuación, se enuncia el objetivo general del trabajo de título y se distinguen los objetivos específicos que contribuyen a su cumplimiento.

1.3.1 Objetivo general

Diseñar experimentalmente un modelo de negocio para un servicio de consultoría en analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos mineros.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Definir la oportunidad en torno a la aplicación de técnicas de analítica avanzada en el mantenimiento de equipos mineros.
2. Diseñar un modelo de negocios inicial, que permita validar las hipótesis del cliente que adoptaría el servicio, los elementos de interés en la propuesta de una solución y su disposición a pagar.
3. Analizar las principales fuerzas que dan forma al mercado de la consultoría en el mantenimiento de máquinas para la industria minera de Chile, en torno al área de aplicación de tecnologías e ingeniería.
4. Examinar que los elementos de mayor relevancia propuestos en el modelo de negocio logren atender las necesidades del mercado identificadas, mediante el desarrollo de un prototipo.
5. Realizar una evaluación financiera del modelo de negocio que permita determinar la factibilidad económica de su implementación.

1.4 Resultados esperados

En el trabajo de título se pretende realizar una exploración de la oportunidad de negocio en torno al proceso de consultoría en analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos mineros. Para cumplir con los objetivos del estudio se espera realizar un análisis de la industria de la minería en Chile a través del estudio de las principales fuerzas que condicionan el mercado. Mediante el uso del modelo Lean Canvas se espera testear las hipótesis más riesgosas del modelo de negocios con la realización de entrevistas a los actores más relevantes de la industria, en las áreas de mantenimiento, operaciones, gestión contratos y empresas prestadoras de servicios de mantenimiento.

En coherencia con los objetivos planteados para el desarrollo del trabajo de título, se presentan a continuación los resultados esperados de su realización:

1. Determinar la oportunidad de la oferta de servicios de consultoría en analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos mineros en Chile, a través de la realización de entrevistas a distintos actores del mercado e investigación de fuentes secundarias.

2. La validación de las hipótesis más riesgosas del modelo de negocio en torno al cliente objetivo, las principales características de la solución y la estructura de precios del servicio.
3. Identificar las principales fuerzas que interactúan en el mercado y modelos de negocio que actualmente operan en el mercado ofreciendo una solución a las necesidades identificadas.
4. Realizar una evaluación económica del negocio a 3 años, con la aplicación de análisis de sensibilidad y el uso de la métrica VAN.

1.5 Alcances

Se consideran los siguientes alcances con la finalidad de delimitar las acciones a realizar en el trabajo de memoria.

1. En el trabajo no se incluye la implementación del modelo de negocio.
2. El diseño del modelo de negocio se basa en la identificación y evaluación de hipótesis del modelo Lean Canvas.
3. La realización de entrevistas exploratorias solo involucra actores relevantes para el modelo de negocio, dígame empresas de la gran minería del cobre en Chile y sus respectivos prestadores de servicios de mantenimiento y consultoría en mantenimiento.
4. La recopilación de información para la validación del modelo de negocio se realizará de forma remota.
5. En vista de la magnitud y complejidad de las operaciones existentes en una empresa minera, se circunscribe el análisis del trabajo al macroproceso de extracción del mineral en una faena minera a cielo abierto.
6. Los equipos mineros considerados para el análisis son los camiones mineros que participan de los subprocesos de carguío y transporte en una faena minera.
7. La evaluación financiera se realiza bajo la óptica de un análisis de flujos de caja e indicadores económicos tales como el VAN y análisis de sensibilidad.

1.6 Marco conceptual

Este capítulo tiene como objetivo presentar las características de un conjunto de teorías, definiciones y conceptos sobre los cuales se estructurará la investigación. Junto a lo anterior, se presenta la justificación de la elección de cada uno de estos conceptos, indicando la relación y pertinencia que tienen con el desarrollo del trabajo de memoria.

1.6.1 Running Lean

El concepto y la metodología Running Lean fueron acuñados por Ash Maurya en su libro Running Lean: Como iterar de una plan A a un plan que funcione, en el su autor tiene por objetivo el “*crear una guía práctica para otros emprendedores que quisieran desarrollar productos basados en la web*” y también tenía por finalidad ir dirigido a un público de fundadores de empresas con perfil técnico de modo que logren crear productos basados en la web. En su segunda edición de Running Lean el autor busca ampliar el marco conceptual y la metodología que propone tenga un espectro más amplio del público. Considerando que las ideas que propone partieron desde el mundo de los emprendimientos de alta tecnología, se propone en la segunda edición el poner a disposición de cualquier tipo de emprendimiento los principios que plantea para desarrollar un modelo de negocios que tenga la posibilidad de realizar iteraciones a medida que se obtiene mayor experiencia y se avanza en la inserción en el mercado objetivo. El enfoque de la metodología encierra una crítica hacia el modelo de creación de servicios en el que se trabaja una idea a puertas cerradas sin contar con la interacción en ese período con el segmento de clientes al que se le pretende solucionar algún problema, por lo que en el modelo de Ash Maurya se pretende tomar una serie de pasos en los que se interactúe y encuentre la forma de llegar a entender los problemas del cliente a fin de entregar una solución que se encuentre validada por los mismos incluso antes de lanzar el servicio al mercado, de modo así que se pueda reducir el riesgo de no satisfacer las necesidades del cliente (Ash Maurya, 2012).

La metodología que propone Ash Maurya consta de tres partes o pasos como lo define en su libro; 1) Documentar un plan A, 2) Identificar los elementos de riesgo del plan, 3) Poner a prueba el plan de manera sistemática. A continuación se realiza una descripción general de cada una de las tres fases:

1) Documentar un plan A

La idea detrás de documentar un plan especial viene de proponer llevar a cabo las motivaciones y aspiraciones del emprendedor que busca desarrollar un modelo de negocio, a fin de realizar una transcripción de las ideas en el papel teniendo presente el hecho de que puedan ser puestas a prueba posteriormente. El autor conceptualiza las ideas y motivaciones iniciales de los emprendedores bajo el concepto de hipótesis, y para sistematizarlas propone un esquema llamado “*Lean Canvas*”, la siguiente imagen ilustra la estructura que sugiere Ash Maurya. Cabe destacar que el lienzo Lean Canvas es una adaptación realizada por Ash Maurya del lienzo “*Business Model Canvas*” (lienzo de modelo de negocio) diseñada por Alex Osterwalder en su libro Generación de modelos de negocio.

Ilustración 1: Lienzo del modelo Lean Canvas.

Problema 3 principales problemas	Solución 3 principales funciones o características	Propuesta única de valor Mensaje claro, sencillo y atractivo que resume porque nuestro servicio es diferente y por qué merece la pena comprarlo	Ventaja competitiva injusta No se puede copiar o comprar fácilmente.	Segmentos de clientes Cliente objetivo. Early Adopters
	Métricas clave Actividades clave que medimos		Canales El camino al cliente.	
Estructura de costes Costo de adquisición del cliente.		Flujos de ingreso Modelo de ingresos.		
PRODUCTO		MERCADO		

El autor entrega sugerencias para poder plasmar de la forma más fidedigna las ideas del emprendedor; para esto plantea que es necesario que la redacción del plan de negocio inicial tome el menor tiempo posible a diferencia de un plan de negocio donde su redacción puede tomar semanas o meses. También sugiere redactar las ideas en el esquema propuesto de la forma más concisa posible a fin de incorporar sólo lo que el emprendedor considere realmente útil; es por esto que el esquema sólo tiene la extensión de una página. Se describe en el siguiente párrafo, cada uno de los bloques que constituyen el lienzo de modelo de negocio propuesto por Ash Maurya;

Problema: En esta sección se busca establecer cuál es el grupo demográfico que podría presentar una necesidad que calce con el problema identificado por el emprendedor.

Segmentos de clientes: Describe una caracterización del tipo de personas que se identifiquen con el problema o necesidad detectada por el emprendedor.

Solución: Se entrega una descripción de las principales funcionalidades que entregará el servicio propuesto por el emprendedor.

Propuesta única de valor: Busca captar la atención del o los segmentos de clientes, a través de un mensaje conciso acerca del servicio.

Métricas clave: En esta sección el emprendedor define cuáles son las medidas bajo las que pretende tomar acción y medición del avance del negocio, una vez que sea puesto en marcha.

Ventaja competitiva injusta: Aquí el autor y emprendedor realiza un esfuerzo por autoreconocer las capacidades que diferencian al equipo respecto de la competencia en el mercado escogido.

Canales: Son los medios físicos o digitales por los que el negocio puede llegar a solucionar la necesidad detectada en el segmento o los segmentos de clientes.

Flujos de ingresos: Constituye la decisión del emprendedor, acerca de la remuneración y la forma en que será pagado el servicio a ofrecer.

Estructura de costes: Se debe considerar incluir en esta sección todos los requerimientos monetarios en que debe incurrir el emprendedor.

Bajo las descripciones antes hechas del modelo de negocio propuesto por Ash Maurya queda la duda acerca de como se puede experimentar y validar cada una de las hipótesis realizadas por el emprendedor.

2) Identificar los elementos de riesgo del plan

Para que un modelo de negocio crezca de forma sostenible en el tiempo es necesario generar confianza con el posible cliente desde el momento en el que el emprendedor plasma sus ideas de negocio en el lienzo Lean Canvas, por lo que es fundamental establecer cuáles son los mayores riesgos que conlleva la implementación del modelo de negocio en la identificación previa de los mayores riesgos asociados al modelo de negocio. Para esto Ash Maurya propone iniciar la experimentación del modelo inicial, poniendo a prueba las hipótesis más riesgosas, partiendo por el problema que se busca solucionar con el modelo de negocio, para luego ajustar la solución que logré satisfacer las necesidades percibidas por el mismo cliente. De esta forma se puede establecer quién es el segmento de clientes que primero responda ante las hipótesis acerca del problema que han sido planteadas por el emprendedor, este segmento de cliente que primero responda se le denomina “Early Adopter”. En un principio el mayor riesgo para la mayoría de las startups es generar un producto o servicio que nadie desee comprar, si bien existen distintos riesgos, Ash Maurya plantea que dependiendo de la fase es posible identificar las hipótesis de mayor riesgo en ese momento. Para esto en su metodología identifica y define tres etapas de desarrollo;

- 1) **Ajuste problema/ solución:** Se busca encontrar un problema que sea de interés para un grupo de personas o posibles clientes, respondiendo las siguientes preguntas ¿es algo que el cliente quiere? ¿pagaría por ello? de lo contrario ¿quién lo haría? ¿puede solucionarse?, mediante una serie de entrevistas se procede a explorar a través de la visión del cliente, las respuestas a cada una de estas preguntas. Al terminar se definen las principales funciones y características necesarias para solucionar el problema encontrado.
- 2) **Ajuste producto o servicio/ mercado:** Una vez encontrado un problema que merezca una resolución, se procede a construir una demostración en adelante llamada DEMO que según el autor representa cualquier cosa que represente al producto a entregar, pudiendo tomar la forma de bocetos o videos y tiene como finalidad principal el que el cliente pueda evaluar el producto o servicio a entregar por lo que contiene las características básicas del producto o servicio. Luego de validado con el cliente la DEMO se procede a construir en base a las características nuevas requeridas por el cliente y las características que deben ser cambiadas o eliminadas un Prototipo que contiene las características básicas del

producto o servicio a ofrecer pero esta vez a diferencia de la DEMO cuenta con una validación inicial de parte de los posibles clientes.

- 3) **Escala:** En esta fase se comienzan a generar contratos para el servicio diseñado y se evalúan las métricas necesarias para estudiar el comportamiento y crecimiento del negocio, de aquí se colige el lema *“pivota antes del ajuste (producto o servicio/ mercado), optimiza después”*, dado que antes del ajuste (producto o servicio/ mercado), el objetivo del emprendimiento es aprender mediante la evaluación de las hipótesis, luego del ajuste (producto o servicio/ mercado) los objetivos del emprendimiento pasan a ser el crecimiento y la optimización. Es importante hacer la distinción entre pivotar, en donde se busca un plan que funcione sistemáticamente, a diferencia de la optimización que tiene por objetivo mejorar la eficiencia para escalar o acelerar el crecimiento.

El autor afirma que la financiación semilla para la implementación del servicio se debe realizar justo después de concretar el ajuste del servicio o producto/mercado, dado que en ese instante los objetivos personales y de los inversores se encuentran alineados en torno al crecimiento del negocio. En las etapas de ajuste (problema/solución) y ajuste (producto/ mercado el objetivo) del emprendedor debe orbitar en torno a la búsqueda de aprendizaje.

Ilustración 2: Antes y después del ajuste del servicio o problema con el mercado

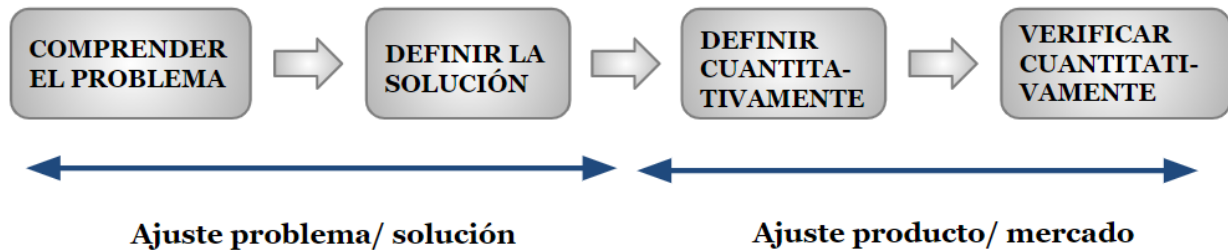


Fuente: Elaboración propia, en base a Ash Maurya.

3) Poner a prueba el plan de manera sistemática

Una vez que en el modelo de negocio se cuenta con un plan inicial es posible testar mediante experimentos sistemáticamente el plan a fin de conseguir aprendizaje respecto al modelo de negocio. Ash Maurya define un experimento como la ejecución de un ciclo de aprendizaje en el que mediante la creación inicial de un producto o servicio se procede a medir y recopilar datos respecto a los clientes a los que se propone solucionar un problema en particular a fin de generar aprendizaje que pueda ser de utilidad para mejorar el servicio inicial. La primera creación puede ser mock-ups, código, un landing page o una presentación que tenga la finalidad de concentrar las características básicas del servicio. Los experimentos se suceden a través de la fase de ajuste problema/solución y posteriormente para el ajuste del producto/mercado. La validación de todo el proceso de aprendizaje se sucede como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 3: Metapatrón de iteración y experimentación de la metodología Running Lean.



Fuente: Elaboración propia, en base a Ash Maurya.

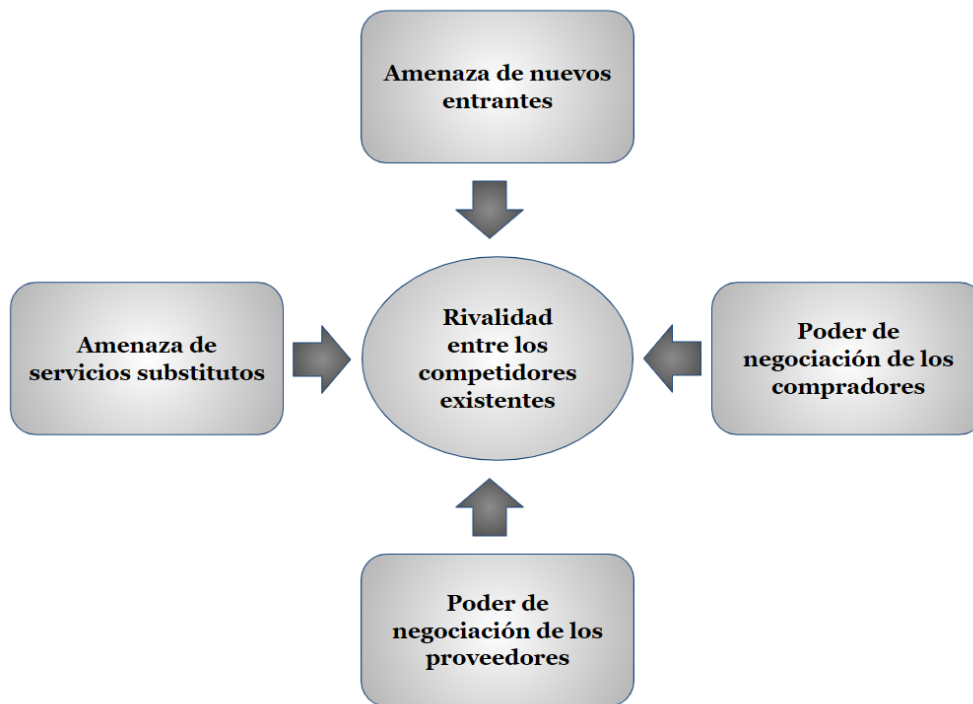
La metodología diseñada por Ash Maurya otorga flexibilidad para el desarrollo del modelo de negocio, dado que en primer lugar entrega la herramienta de un lienzo en el que plasmar las ideas iniciales respecto al modelo de negocio que se espera implementar y a su vez la metodología de desarrollo permite reducir de forma sistemática y a través de la interacción con el cliente la necesidad que afecta al segmento de personas que se identifican con el problema detectado por el emprendedor, así como posteriormente escoger las características principales del servicio que entreguen mayor valor en la solución del problema. Es importante destacar que a pesar de que en la segunda versión se extiende la aplicación de esta metodología a una amplia variedad de emprendimientos, en sus inicios parte como un modelo a seguir por empresas del sector tecnológico como en el caso del modelo de negocio que se propone en el presente trabajo.

La finalidad del modelo de Ash Maurya es definir los pilares sobre los que se construye un modelo de negocio, en este caso para un servicio de consultoría, pero aun así no logra establecer una mirada integral del mercado y las fuerzas que lo rigen, a fin de entender cuales son las estrategias que le permitan al modelo de negocio adaptarse e integrarse de una mejor forma al mercado. A continuación se realiza un análisis del mercado mediante el marco de referencia que propone Michael Porter.

1.6.2 Fuerzas de Porter

La herramienta de análisis que entrega Michael E. Porter en su modelo tiene por objetivo expandir el concepto usual de competencia, en el que los ejecutivos consideran solamente una dimensión del análisis a través de la competencia directa por utilidades, la que se tiene con los rivales de un mismo sector, incorporando a su vez la fuerza competitiva que ejerce el poder de negociación de los proveedores y compradores, así como la amenaza de nuevos entrantes y servicios o productos sustitutos. (Porter E, 2008).

Ilustración 4: Las cinco fuerzas de Porter que dan forma a la competencia del sector.



Fuente: Elaboración propia, en base a Michael E. Porter.

A través de las cinco fuerzas de Porter es posible entender la dinámica del mercado o mercados en los que se compete a fin de diseñar estrategias que otorguen un mayor desempeño a la organización con la oportunidad de anticiparse e influir en la competencia. Es importante destacar que al realizar un análisis externo en una organización se tienen ciertas características visibles como la tasa de crecimiento del sector, la relación con el gobierno y los productos o servicios complementarios, los que pueden tener un carácter transitorio al definir el potencial de utilidades, a diferencia de las fuerzas competitivas que define el modelo de Porter, las que se centran en las condiciones estructurales que constituyen el sector.

A continuación se entrega una descripción de las cinco fuerzas que plantea el modelo de Porter:

1. **Amenaza de nuevos entrantes:** Su importancia se relaciona directamente con las barreras de entrada que presenta el sector y la capacidad de reacción que se pueda esperar de los actores ya establecidos respecto a las nuevas capacidades, precios, costos e inversión que introduzcan los nuevos entrantes.

Las principales ventajas que se pueden considerar para los actores ya establecidos en el mercado son; economías de escala en la producción de mayores volúmenes a un menor costo, los beneficios de escala por el lado de la demanda para empresas que cuentan con un mayor prestigio o red de apoyo, los costos asociados por el cliente al cambiar de proveedor, los recursos de capital necesarios para operar e ingresar, las

ventajas de los actores establecidos independientes del tamaño, el acceso a los canales de distribución y venta del servicio y las políticas gubernamentales existentes.

2. **Poder de negociación de los proveedores:** Esta fuerza se relaciona directamente con la habilidad que tienen los proveedores de capturar valor respecto a la organización, reduciendo así la calidad de los servicios que ofrecen o a través de incrementar los precios a cobrar.

En general las organizaciones mantienen una relación con distintos proveedores para conseguir insumos, algunos de los factores que determinan un mayor poder de parte de los proveedores viene dado por una mayor concentración en el sector que opera el proveedor como lo sería el caso de un monopolio, en el caso de que los proveedores no dependan exclusivamente de un sector y logren abastecer distintos tipos de clientes, extrayendo mayores utilidades, en el caso de que los participantes deban asumir altos costos por cambiar de proveedor, al ofrecer productos diferenciados respecto a la competencia o que no exista otra alternativa en el sector para el servicio que se ofrece.

3. **Poder de negociación de los compradores:** En esta fuerza se evalúa la capacidad que tienen los clientes de una organización para capturar valor según su influencia al reducir los precios, exigir mayor calidad o mejoras del servicio entregado.

Se describe la existencia de distintos grupos de clientes según el nivel de negociación. Los grupos que cuentan con un amplio poder negociación presentan algunas de las siguientes características; ser un número reducido que compra en un volumen considerable según el tamaño del proveedor, los productos del mercado no presentan diferencias entre sí, los compradores amenazan con integrarse hacia atrás e incorporar el servicio que se les ofrece, los clientes deben asumir bajos costos para cambiar de proveedor o en caso de que el servicio les reporte bajas utilidades en su organización.

4. **Amenaza de los productos o servicios sustitutos:** Presentan la característica de no ser directamente asociados al servicio que se ofrece y por ello a menudo representan una amenaza al no ser fácilmente identificados en el mismo sector que la organización ofrece el servicio. En el caso de que los sustitutos presenten una alta amenaza es posible observar una variación en la rentabilidad percibida al imponer barreras sobre los precios.

Una alta amenaza en el sector asociada a la presencia de un servicio sustituto puede venir dada por alguna de las siguientes razones; en el caso de que el sustituto presente una mayor conveniencia en términos de calidad o precio o cuando el costo de cambiar el servicio por el bien sustituto sea bajo para los compradores.

5. **Rivalidad entre los competidores existentes:** Esta fuerza puede provenir de distintas fuentes como es el caso de cada una de las otras fuerzas, o estrategias llevadas a cabo por la competencia respecto a los precios, la incorporación de nuevos productos, mejoras en la calidad de los servicios o estrategias de

marketing. El mayor impacto percibido de la rivalidad proviene de un enfoque en la disminución de precios.

Una alta rivalidad en el sector puede venir dada por alguna de las siguientes condiciones; en el caso de existan varios competidores o que cuenten con el mismo tamaño o potencia, cuando el desarrollo del sector pase por un período de bajo crecimiento, si el mercado presenta altas barreras de salida para sus actores, si alguno de los rivales presenta un alto compromiso con su negocio o aspira a ser líder del sector, en el contexto en que las empresas pertenecientes al sector no compartan las mismas metas o presenten enfoques competitivos distintos.

Se decide utilizar el modelo planteado por Michael E. Porter con la finalidad de entender la competitividad existente en el sector donde se sitúa el servicio a ofrecer, dado que presenta la ventaja de establecer cinco fuerzas que se pueden extrapolar en distintos mercados y de esta forma ofrecer una herramienta de análisis práctica para identificar a los principales actores presentes y así lograr establecer estrategias de entrada para el servicio a ofrecer.

Es importante considerar que el modelo presenta ciertas limitaciones respecto al alcance del estudio que pueda desarrollarse, dado que no considera la influencia de los gobiernos en el negocio, la estaticidad de la competitividad, la concentración global del negocio o el impacto de los avances tecnológicos y de innovación que se puedan presentar, como es el caso del servicio que se desarrolla en el presente trabajo, el que se ve influenciado directamente por el desarrollo de innovación y tecnología. A continuación se incorpora un análisis de benchmarking que pretende otorgar una mirada global del estado del arte de las soluciones que se ofrecen en el sector de interés, con un análisis profundo en torno a las funcionalidades incorporadas en cada servicio.

1.6.3 Benchmarking

La definición del benchmarking puede ser aplicada a una amplia variedad de actividades y organizaciones, teniendo como primera finalidad comparar los niveles de desempeño en una organización respecto de otros actores del mercado a fin de identificar, medir, adaptar y adoptar prácticas que ellos crean puedan mejorar su desempeño. De una forma más concisa Stapenhurst define el benchmarking como un método de medición y mejora en una organización a través de la comparación con el mejor. (Stapenhurst, 2009)

El desarrollo de un proceso de benchmark puede ser motivado por alguna de las siguientes razones; integrarlo como parte de una práctica que fomente una cultura de mejoramiento continuo al interior de un área o compañía, en otros casos se utiliza como una posibilidad de encontrar una vía más rápida de mejora y que a su vez entregue un mayor nivel confiabilidad debido a su aplicación previa, también es posible observar el nivel de desempeño económico que poseen otras empresas a fin de identificar metas de desempeño basadas en una visión más extensa de lo que sería incluir solo una mirada interna como medida de competitividad permitiendo conocer las áreas donde existe un nivel de desempeño inferior a la competencia a fin de no perder terreno en el sector

donde se ofrece un servicio. el análisis cuenta con la ventaja de poder resolver problemas internos observando si existen sucesos similares que hayan sido resueltos por otras organizaciones o finalmente, para identificar cuáles son los puntos más débiles de la competencia según la opinión de sus clientes.

Al evaluar la realización de un estudio de benchmarking es posible encontrar una variedad extensa de métodos que pueden incluir variaciones o que considere una mezcla de metodologías. En el libro de Stapenhurst “The Benchmarking Book ”se discute el diseño y aplicación de los siguientes métodos:

1. **Dominio público (“Public domain”)**: Este tipo de benchmarking se utiliza en la publicación de revistas o diarios y se caracteriza por recopilar información desde fuentes de acceso público y análisis previamente realizados a fin de proveer un reporte. Se caracteriza por incorporar en el reporte métricas de salida como la medición del servicio de acuerdo a la experiencia de sus clientes en torno a precios y resultados obtenidos. Es importante destacar que no se consideran métricas internas del negocio como satisfacción del cliente, manufactura, marketing o distribución.
2. **Uno a uno (“One-to-one”)**: Para su aplicación uno de los participantes visita a otras organizaciones a fines con el sector a evaluar. Esta metodología es la más común de los distintos métodos discutidos en la literatura.
3. **Revisión (“Review”)**: Esta metodología es generalmente llevada a cabo por un equipo que se encarga de visitar a cada participante u organización de interés, con la finalidad de identificar sus fortalezas y debilidades, mejores prácticas e incorporando recomendaciones acerca de las actividades de mejora que realizan.
4. **Base informativa (“Database”)**: Benchmarking en el que cada participante entrega información o data que se compara a su vez con una base de datos a fin de obtener un estudio de los niveles de desempeño de sus participantes y el sector en que se desempeñan.
5. **Ensayo (“Trial”)**: Se realiza a través de la prueba o evaluación de los productos y servicios desde un conjunto de organizaciones de interés a fin de establecer un marco de comparación entre los productos y servicios que se ofrecen.
6. **Encuesta (“Survey”)**: Esta metodología es llevada a cabo generalmente por una organización que se encarga de realizar encuestas de medición de la percepción de los clientes considerando las fortalezas y debilidades que posee una organización respecto a sus competidores.
7. **Modelos de excelencia de negocios (“Business excellence Models”)**: El estudio es realizado de forma independiente por un asesor que evalúa a la organización que lo solicita de acuerdo a modelos de excelencia de negocio establecidos como el “Baldrige Award” o la “European Foundation for Quality Management (EFQM)”.

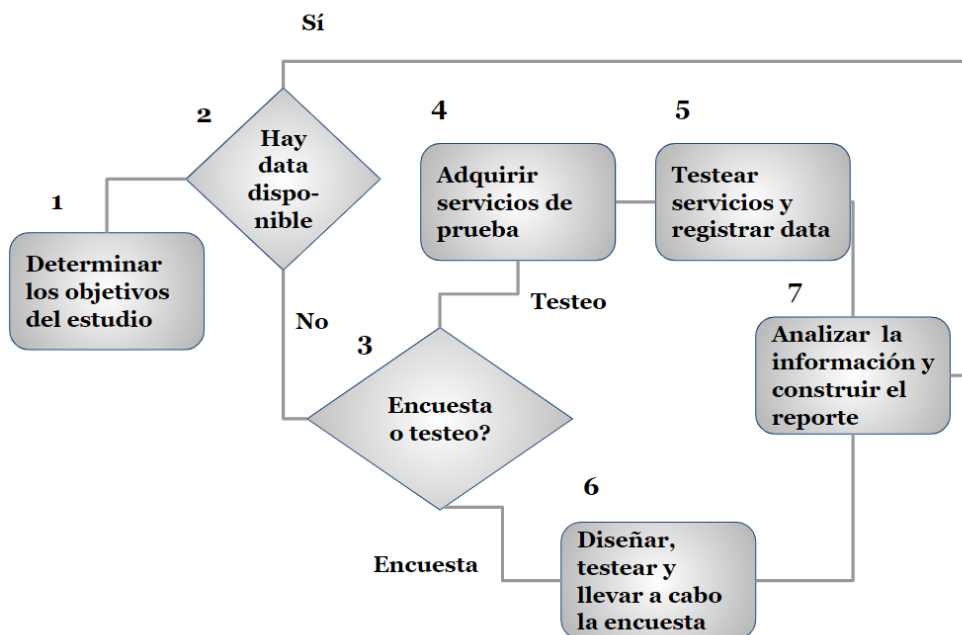
De los siete métodos mencionados anteriormente se considera necesario descartar las opciones uno a uno, partiendo por prescindir de los métodos de revisión y base informativa dado que no se cuenta con el respaldo de un equipo u organización que tenga experiencia en su realización y permita asegurar la confidencialidad o prestigio en el acceso a los distintos actores del sector de interés. Las metodologías encuesta, ensayo y modelos de excelencia de negocios no se consideran para realizar un análisis de benchmarking debido a que no se cuenta con el capital financiero para respaldar su implementación, contratación de servicios y personal asociados. Por último se selecciona la metodología de dominio público debido a que se cuenta con el acceso a información contenida en internet para su implementación y no requiere de costos asociados. A continuación se describen las principales características que debe incorporar un estudio de acuerdo a la metodología de dominio público seleccionada:

1. **Ejemplos relacionados:** Los ejemplos más visibles de este tipo de benchmarking pueden observarse en entrevistas de consumo. En los que se observan preferentemente gráficas asociadas a métricas de percepción del cliente.
2. **Participantes y control del estudio:** La selección de la cantidad de personas que se encarguen de desarrollar el estudio depende del alcance que se le quiere dar y no existe necesidad de que los actores a evaluar sean concientes del estudio dado que se puede obtener o complementar con la información disponible al público. Es importante considerar que en el caso en que se requiera incorporar información desde una organización que no se encuentre en público esta debe ser limitada bajo el otorgamiento de permisos legales para controlar los aspectos que son posibles de compartir.
3. **Riesgos:** Se pueden diferenciar tres principales riesgos asociados a la elaboración y publicación de un estudio de benchmarking partiendo por el riesgo que asume el realizador del benchmarking en publicar información o hallazgos que puedan resultar en un conflicto de interés de parte de las organizaciones evaluadas. Es importante considerar que este tipo de riesgo es bajo en la mayoría de los casos. Se considera de igual forma el riesgo hacia los clientes, en donde puede ocurrir que la información considerada esté incompleta o las conclusiones del estudio reflejen una realidad distinta a lo que ocurre en la realidad con la finalidad de obtener un beneficio asociado, así como la omisión de actores de relevancia para completar el estudio o en el caso en que los realizadores del estudio sean un número reducido y la elección de los actores sea de acuerdo a sus preferencias personales. Finalmente, se encuentra el riesgo asociado a generar una imagen negativa acerca de los participantes o actores evaluados en el estudio.
4. **Potencial de aprendizaje:** El potencial de aprendizaje asociado a este estudio es menor en relación a las otras metodologías existentes debido a que no se asume necesariamente un contacto directo con los participantes. De todas formas constituye una fuente de información valiosa acerca de los servicios que ofrecen otras organizaciones y permite establecer un punto de partida para realiza mejoras.

5. **Duración:** La duración del estudio de benchmarking puede variar de días a meses, dependiendo de la información que se encuentre disponible en el dominio público, considerando a su vez la cantidad de pruebas que se quieran realizar.
6. **Equipo del benchmarking:** El equipo puede partir desde la inclusión de solo un integrante que cuente con la capacidad recopilar, analizar y escribir el reporte final. En el caso de que se necesite un informe más complejo a través de pruebas del servicio de los distintos participantes a evaluar se podría considerar la conformación de un equipo mayor en número.
7. **Usos:** La función principal de un estudio de benchmarking es proveer al público o alguna organización en particular contenido que les permita tomar decisiones informadas acerca de algún servicio o producto de interés. También permite establecer un punto de comparación entre distintos servicios respecto a un servicio propio o de interés a evaluar.
8. **Procesos del benchmarking:** Cada estudio puede contar con sus propios procesos de adquisición, análisis y reporte de la información, estos procesos pueden presentar amplias variaciones.

En este caso se a continuación se caracterizan los principales pasos que se deben seguir para la realización de un benchmarking de dominio público:

Ilustración 5: Diagrama de flujo de los procesos del benchmarking de dominio público.



Fuente: Elaboración propia, en base a Stapenhurst.

1. **Determinar los objetivos y el alcance del estudio:** Para las revistas de publicación es común que el objetivo sea escoger el mejor servicio y determinar cuáles son las razones que respaldan esa decisión. Para el propósito de investigación el objetivo principal suele ser encontrar las diferencias existentes entre los mejores y peores desempeños.
2. **Determinar si existe data disponible:** Se evalúa si existe información disponible acerca del tema de estudio. Las fuentes pueden provenir de internet, el gobierno u otras publicaciones. En el caso de que se disponga de contenido se debe avanzar directamente al paso de análisis.
3. **Decidir como obtener la información:** si no existe información disponible que se pueda obtener desde el acceso a la prueba del servicio o través de la realización de encuestas a los actuales o antiguos clientes del servicio de interés.
4. **Adquisición del servicio:** En este caso el realizador se encarga de probar el servicio sin mostrar el objetivo de realización del benchmarking a la organización o alternativamente se puede solicitar pruebas de testeo del servicio a evaluar con la finalidad de reducir costos.
5. **Testeo:** Una vez adquiridos los servicios, es necesario realizar pruebas y experimentos con la finalidad de establecer medidas de interés, así como incorporar potenciales clientes para que prueben el servicio y entreguen su visión del servicio.
6. **Encuesta:** Si se considera llevar a cabo una encuesta es recomendable realizar una revisión de parte de un especialista a fin de que la entrevista logre medir y cumplir con los objetivos propuestos para la realización del estudio.
7. **Análisis:** Una vez que se dispone de la información necesaria para realizar el análisis, en donde la complejidad del estudio depende de los objetivos planteados inicialmente. Finalmente se consideran los niveles de desempeño de los participantes o solamente la inclusión del resultado de la investigación de acuerdo a las diferencias percibidas en el desempeño de los participantes.

Para la realización del benchmarking se considera tal como se mencionó antes, la metodología de dominio público siguiendo los pasos que se mencionan anteriormente. Cabe destacar la existencia de información disponible en la web y literatura en torno a los servicios de analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos por lo que es posible considerar que en primera instancia, las etapas de realización del estudio del benchmarking incluyendo la determinación de los objetivos y alcances del estudio, finalmente, hacia la etapa de análisis y realización del reporte serán revisados en mayor detalle en el capítulo de análisis de mercado.

Hasta el momento se considera la realización de un análisis de Fuerzas de Porter que estudia la competitividad de los actores que se relacionan competitivamente con la organización y se complementa con un benchmarking que permite evaluar el desempeño

de otros actores que mantengan una presencia internacional en la entrega del servicio. De lo anterior se observa que el foco de la evaluación propuesta se centra en las condiciones externas del servicio a diseñar, por lo que a continuación se desarrollan las bases de la evaluación económica que permitan entregar cifras acerca de la factibilidad de llevar a cabo una implementación del proyecto.

En un estudio realizado por la “Brazilian Journal of Operations & Production Manage” se desarrolla el tema de la determinación y evaluación de las distintas metodologías de valoración de negocios startup o emprendimientos existentes con la finalidad de entregar una guía para los **emprendimientos que se encuentren en fase temprana** y necesiten realizar una valoración de su negocio. En particular el estudio presenta una gran ventaja para emprendimientos pertenecientes a Sudamérica y Centro América debido a la escasez de estudios relacionados con respecto al tema. Para su desarrollo se realiza una búsqueda bibliográfica de artículos de investigación y la entrevista a diversos expertos profesionales en la valoración de compañías (Oliveira & Perez, 2018).

Para la evaluación se consideran seis metodologías de valoración de un emprendimiento, tal como se presenta a continuación.

1. **Técnicas comparativas de mercado o resultado de mercado:** En ella se comparan los índices relacionados a la transacción en compañías que operan en el mismo segmento a modo de evaluar su desempeño de acuerdo a sus ventas, índice de rentabilidad, porcentaje de creación, entre otros.
2. **Técnicas basadas en los bienes y pasivos financieros:** Se le conoce también como el método de evaluación de los libros financieros o evaluación de activos, según la información contable que exista. Donde el valor de la compañía se estima de acuerdo al valor de sus activos, como una diferencia entre los bienes y los pasivos existentes.
3. **Técnicas basadas en el descuento de los flujos de caja:** Tiene su base en la evolución del valor del dinero a lo largo del tiempo, y constituye la técnica de evaluación financiera de proyectos más utilizada, dado que se considera cercana a la teoría financiera, evaluando la capacidad de una organización de generar valor en un período de tiempo.
4. **Técnicas basadas en la creación de valor:** La creación de valor busca conocer si la compañía se encuentra generando valor y para esto, se hace necesario conocer el costo del capital empleado y el retorno de capital empleado por la compañía.
5. **Técnicas basadas en modelos de opciones financieras:** Esta técnica aplica el modelo de opciones financieras al momento de tomar decisiones corporativas.
6. **Técnicas de modelos mixtos:** Se considera como la diferencia entre el valor económico de una compañía y su valor de mercado. Considerando activos

intangibles que podrían representar un beneficio para la compañía en una situación futura, generando un mayor valor.

La investigación que describe las 6 metodologías antes mencionadas fue desarrollada sobre el análisis de bases de datos descriptivas y una sección cualitativa derivada de la realización de 40 entrevistas a expertos en valoración económica, considerándose como limitación geográfica la realización del análisis en Brasil.

En el estudio se analizan distintas variables que tienen por función describir las principales componentes intrínsecas que posee un emprendimiento o startup, con la finalidad de establecer un punto de comparación entre los emprendimientos analizados a través del tiempo, para esto se consideran 5 variables, que permitirán luego establecer bajo que variables descriptivas tiene un mayor poder de predicción los distintos métodos de valoración utilizados.

1. **Modelo de negocio:** Es la forma en que una startup o emprendimiento busca entregar valor a sus clientes, transformando ese valor en ingresos para la organización.
2. **Repetibilidad en el modelo:** Es la habilidad de que aún sin contar con un inventario, el servicio se encuentre disponible para el cliente.
3. **Escalabilidad en el modelo:** Es la habilidad de que a gran escala se encuentre un gran número de clientes, de manera que los costos de operación bajen a medida que la escala del negocio crezca.
4. **Condiciones de extrema incertidumbre:** Se relacionan directamente con el análisis del mercado, las operaciones de factibilidad y finanzas en torno a la creación de un emprendimiento o start up, que determinan su éxito a futuro.
5. **Lean, agilidad y flexibilidad en los procesos:** Significa moverse con rapidez dentro de un ciclo virtuoso (construir-medir-aprender), con el mayor beneficio de mejorar la eficiencia operacional de la compañía.

De acuerdo a los resultados obtenidos por el autor al evaluar las distintas metodologías se obtiene que las técnicas basadas en el descuento por flujo de caja son las que mejor se adaptan a las necesidades de una startup o emprendimiento, luego las técnicas comparativas de mercado o resultado de mercado, seguida por las técnicas basadas en los bienes y pasivos financieros, dentro de los tres primeros puestos. Luego considera las técnicas basadas en la creación de valor y finalmente se consideran las técnicas basadas en modelos de opciones financieras y las técnicas de modelos mixtos.

Para la implementación del proyecto que se desarrolla en la memoria, se pretende considerar como método principal a la **técnicas basadas en el descuento de flujos de caja** dado que es la que mejor puntuación obtuvo en el análisis realizado por el estudio en casi la mayoría de las opciones consideradas.

A continuación se muestra una tabla resumen con la ponderación de todas las variables consideradas en el estudio, estableciendo una sola métrica de comparación entre las distintas metodologías de valoración.

Tabla 1: Ponderación y ranking de las metodologías de valoración económica.

Posición	Promedio de las respuestas dadas por expertos	Grupo de valoración de técnicas usadas por expertos
Primera	21	Técnicas basadas en el descuento de flujos de caja
Segunda	16.8	Técnicas de comparación de mercado o resultado económico
Tercera	16	Técnicas basadas en los bienes y pasivos financieros
Cuarta	10.8	Técnicas basadas en la creación de valor
Quinta	8	Técnicas basadas en modelos de opciones

Como limitaciones del estudio cabe destacar, que no se consideran variables como el factor innovador, o la competitividad en el sector que pueden influir en el crecimiento de la organización a futuro y en el caso de estudio del modelo de negocio del presente trabajo de memoria se considera como parte fundamental del análisis, por lo que se observa que las **técnicas basadas en la creación de valor**, permiten incorporar esas dos variables, a fin de complementar la valoración económica del negocio. No se consideran las opciones basadas en bienes y pasivos financieros o técnicas comparativas dado que es un mercado que se está abriendo y no se cuenta con estados de resultado o flujos por transacciones anteriores que entreguen información fidedigna del negocio.

A continuación se entrega una descripción más detallada de la aplicación del método de descuento de los flujos de caja a utilizar y el método complementario basado en la creación de valor. Finalmente, se incluyen variables que entreguen métricas para la decisión y evaluación de la factibilidad económica y financiera del proyecto.

1.6.4.1 Métodos basados en el descuento de los flujos de caja

Fernández en su libro “*Valoración de empresas*” define los métodos a través del intento por determinar la estimación de los flujos futuros, para que luego sean descontados a

una tasa adecuada de acuerdo al riesgo respectivo asociado a cada flujo. Para esto es importante ser cuidadosos de la estimación en cada período. La determinación de la tasa de descuento se realiza tomando en cuenta el riesgo, las volatilidades históricas y en muchos casos los interesados en la valoración (Fernández, 2005). Para los distintos métodos basados en el descuento de flujos de fondos, se tiene que en común parten de la siguiente expresión.

Ecuación 1: Expresión canónica para los métodos basados en el descuento de flujos.

$$V = CF1/(1 + k) + CF2/(1 + K)^2 + \dots + (CFn + VRn)/(1 + K)^n$$

Con, CFi = Flujo de fondos generados por la empresa en el período i .

VRn = Valor residual de la empresa en el año n .

K = Tasa de descuento apropiada para el riesgo de los flujos de fondos.

A partir del año n se supone una tasa de crecimiento constante de los flujos, de aquí se obtiene una expresión para el valor residual de esos flujos futuros.

Ecuación 2: Valor residual de los flujos futuros.

$$VRn = CFn(1 + g)/(k - g)$$

Se pueden considerar distintos tipos de “cash flow” o flujos de caja como representación de los fondos que genera una empresa y sus correspondientes tasas de descuento, en la tabla a continuación se presentan la relación correspondiente entre el tipo de flujo de caja y su tasa de descuento respectiva:

Tabla 2: Relación entre el método de descuento de flujos, respecto a su tasa de descuento correspondiente.

Flujo de fondos	Tasa de descuento apropiada
CFac: Flujo de fondos para los accionistas	Ke: Rentabilidad exigida a las acciones
CFd: Flujo de fondos para la deuda	Kd: Rentabilidad exigida a la deuda
FCF: Flujo de fondos libre	WACC: Coste ponderado de los recursos (deuda y acciones)
CCF: Capital cash flow	WACC antes de impuestos

Fuente: Elaboración propia, en base a Ash Maurya

De los distintos tipos de flujo y tasa de descuento que se tienen, se pueden realizar distintas valoraciones de la organización, las que se proceden a describir:

1. **Flujo de caja libre (Free cash flow):** Es un flujo generado de las operaciones, sin considerar la deuda financiera, después de impuestos, por lo tanto se considera el valor de la empresa como la suma del capital y la deuda. El flujo de fondos libres obtiene el valor de la empresa directamente (Fernández, 2005):

Ecuación 3: Composición flujo de caja libre.

$$FCF = D + E$$

Con D = Valor de mercado de la deuda, E = valor de mercado de las acciones.

Corresponde al dinero que quedaría disponible después de haber cubierto las necesidades de reinversión en activos físicos y necesidades operativas de fondo, suponiendo que no existe deuda y por lo tanto carga financiera. Para descontar se utiliza el coste promedio ponderado de los recursos ($WACC$). Donde la expresión de la tasa ponderada viene dada a continuación:

Ecuación 4: Expresión para el coste promedio ponderado de los recursos.

$$WACC = [E * Ke + D * Kd * (1 - T)] / (E + D)$$

Con Kd = coste de la deuda antes de impuestos, T = tasa impositiva y Ke = Rentabilidad exigida a las acciones. Quedando la siguiente expresión que al descontarse sucesivamente por períodos se iguala al valor total de la empresa $D + E$:

Ecuación 5: Obtención flujo de caja libre descontado en valor presente

$$FCL = (D + E) / WACC$$

2. **Flujo de caja para el accionista (Equity cash flow):** Se obtiene restando al flujo de fondos libre los pagos de principal e intereses (después de impuestos) que se realizan en cada período a los poseedores de la deuda, y sumando las aportaciones de nueva deuda. Se tiene que su flujo de fondos es el equivalente luego de haber cubierto las necesidades de reinversión de activos fijos y de haber abonado cargas financieras, devolviendo la deuda. Teniendo para el flujo, $CFac = FCF - [intereses\ pagados * (1 - t)] - pago\ principal + nueva\ deuda$

Al actualizar el flujo de fondos para los accionistas estamos valorando las acciones de la empresa por lo que la tasa de descuento apropiada es la rentabilidad exigida por los accionistas (Ke). Resultando finalmente en la siguiente expresión que al descontarse periódicamente obtiene como valorización final el valor para los accionistas E (Fernández, 2005):

Ecuación 6: Obtención flujo de caja para el accionista descontado a valor presente

$$FCA / Ke$$

3. **Flujo de caja de capital (Capital cash flow):** Corresponde a la suma del flujo de caja de los poseedores más el el flujo para las acciones, el flujo de caja de los poseedores de deuda se compone de las suma de los intereses más la devolución del principal. Quedando:

Ecuación 7: Composición del flujo de caja de capital.

$$FCC = CFac + D * Kd - \Delta D$$

Finalmente se descuenta a través del *WACC* antes de impuestos, por lo que el cálculo queda como:

Ecuación 8: Expresión del coste promedio ponderado de los recursos sin consideración de la ponderación del período.

$$WACC = (E * Ke + D * Kd) / (E + D)$$

Finalmente, tenemos la expresión *FCC/WACC* para los flujos del capital que al descontarse por períodos se obtiene el valor total de la empresa *E + D*.

4. **Flujo de caja de la deuda:** Corresponde a la suma del flujo de los intereses a pagar por la deuda más las devoluciones del interés. Este flujo se descuenta a la tasa de rentabilidad o coste de oportunidad exigida de la deuda (*Kd*). Teniendo, la siguiente expresión que es igual en valor a la deuda(*D*) de la empresa cuando se descuenta sucesivamente (Fernández, 2005):

Ecuación 9: Obtención flujo de caja de la deuda descontado y traído a valor presente.

$$FCD/Kd$$

De los cuatro métodos de cálculo mostrados para la valoración de una empresa se considera interesante analizar el caso del **flujo de caja libre** dado que no considera la deuda financiera y después de intereses obteniendo así una valoración que considera tanto la deuda como el patrimonio *E + D*, es por esto que para tener una visión complementaria que responda a la deuda y no la incluya como parte de la valoración, tal es el caso del **flujo de caja para el accionista** donde solo se considera al final de la valoración el patrimonio de los accionistas *E* sin incorporar *D* como se menciona anteriormente, esto con la finalidad de establecer un punto de comparación entre ambos valores y evaluar el impacto de la deuda en la valorización de la empresa.

1.6.4.2 Indicadores de evaluación del valor económico

El dinero tiene asociado directamente un valor hoy y un valor a futuro, del que se puede deducir que tener una cantidad de dinero hoy otorga un mayor valor, respecto que esperar a gastarlo en el futuro en la suposición de un agente racional. Una de las utilidades de valorizar un proyecto es saber si el uso de la misma cantidad de dinero

aportada al proyecto se podría invertir con mayores retornos en otra actividad. Para evaluar la factibilidad económica del proyecto se utiliza el Valor Actual Neto (*VAN*), del que analizaremos sus implicancias para el proyecto que se evalúa en el tema de memoria.

1. **Valor actual neto (VAN):** El criterio establece si los flujos incorporados en el *VAN* al proyectarlos en el tiempo y traídos a valor presente, descontando la inversión realizada por el proyecto se obtiene una aproximación al valor del *VAN*, como se muestra en la expresión a continuación.

Ecuación 10 Expresión del valor actual neto de acuerdo a una contabilidad de tipo anual.

$$\sum_{t=1}^n (FN(t)/(1 + i)^t) - I_0 = VAN$$

Cuando el valor obtenido por el *VAN* del proyecto es menor que cero los inversionistas proyectan un valor menor al exigido, pudiendo de esta forma prematura optar por no invertir en el proyecto y encontrar otro con una mayor rentabilidad. En caso de que el valor del *VAN* sea exactamente cero, significa que el proyecto entrega las mismas tasas exigidas por los inversionistas que ahora tienen mayor probabilidad de querer invertir en el negocio. Finalmente si el valor es mayor a cero se considera que el inversionista obtiene un mayor beneficio de la implementación del proyecto analizado que al ocuparlo en otros negocios, por lo que es altamente probable que invierta en el proyecto (Sapag & Sapag, 2004).

1.6.5 Modelos de mantenimiento predictivo con técnicas de analítica avanzada

El objetivo de la sección es presentar una revisión bibliográfica de dos memorias en las que se desarrollan técnicas de analítica avanzada con una aplicación en el mantenimiento de equipos y sus componentes. La revisión sirve de base para el trabajo desarrollado en el capítulo 4.

1.6.5.1 Desarrollo de un algoritmo inteligente de detección de fallas en sistemas rotores

El objetivo del trabajo es “*desarrollar un algoritmo de aprendizaje supervisado que permita identificar las potenciales fallas presentes en un sistema rotatorio, a través de la comparación con patrones característicos de falla conocidos*”. El trabajo considera la utilización de un montaje ya fabricado, el que simula el comportamiento de un sistema rotativo y también a través del análisis de vibraciones se contempla la validación de los modos de falla más comunes en sistemas rotores. Los modos más comunes para el análisis son desbalance en que se produce una vibración como principal causa de falla de tipo mecánico en máquinas rotatorias, por rodamiento viene dado del deterioro de los elementos constitutivos que generan frecuencias características de los espectros de

vibraciones del sistema rotor, por roce cuando existe contacto entre dos o más componentes rotatorios y por falla del motor.

Para el desarrollo metodológico se siguen los pasos de adquisición de datos, selección de parámetros relevante, creación de patrones característicos, definición de base de datos para el problema y construcción y validación de algoritmo inteligente. Para la adquisición de los datos se realiza la parte experimental del trabajo donde se toman datos correspondientes al sistema sano y a su vez con los modos de falla descritos anteriormente, de modo que se procede a graficar el espectro temporal y el espectro de fourier con 20 mediciones para cada modo de falla considerado. Para la selección de parámetros relevantes se toma como base los espectros obtenidos para la creación de patrones. Para la creación de patrones característicos se crean patrones que tienen por fin caracterizar cada modo de falla. Para la definición de la base de datos se consolida la base de datos a utilizar por el algoritmo. En la construcción del algoritmo inteligente se toma en consideración un algoritmo de aprendizaje supervisado que a través de la comparación con la base de datos logre identificar los modos de falla en un sistema en funcionamiento. Para la validación del algoritmo se realizan pruebas sobre la base de datos utilizada, en ello se puede redefinir la base de datos con distintos parámetros relevantes.

De los resultados se puede observar que el reconocimiento de fallas individuales funciona independiente de la base de datos escogida, de modo que el algoritmo es capaz de identificar exitosamente cada modo de falla. Para el caso de desbalance simple el algoritmo lo confunde con un sistema sano debido a que todo sistema posee un grado de desbalance permanente, esto no ocurre para el algoritmo al detectar un desbalance mayor. Para el caso de fallas combinadas el algoritmo presenta una menor precisión, sólo reconociendo cuando existe roce y desbalance combinado, para cualquier otra combinación el método presenta resultados no esperables (Castro, 2015).

1.6.5.2 Análisis predictivo de activos mineros para obtención de intervalo de falla mediante algoritmos de machine learning

El objetivo del trabajo es obtener modelos predictivos mediante algoritmos de machine learning para determinar el intervalo de falla de componentes principales de la gran minería y para el caso de estudio en particular de motores diesel en camiones de transporte en minas de rajo abierto. De modo que se busca a través de los modelos predictivos aumentar el período de operación y reducir el impacto en la disponibilidad del equipo, teniéndose una mantención temprana que reduzca los costos asociados. Para la obtención de la data se utilizan muestras de aceites de motores diesel de la flota de camiones Komatsu 930E.

Los modelos de análisis predictivo contemplan tres tipos, los de detección de anomalía, clasificación de falla y predicción del tiempo de vida remanente. Los modelos de detección de anomalía tienen la capacidad de detectar si los datos de entrada corresponde a una anomalía y se utilizan los algoritmos de machine learning One-Class Support Vector Machines, PCA-Based Anomaly Detection, Robust Covariance y K-means Clustering. Los modelos de clasificación de la causa de falla logran identificar la causa

más probable de falla de un componente y se utilizan los algoritmos Multiclass Neural Network, Multiclass Decision Forest, Multiclass Decision Jungle y Multiclass Logistic Regression. Los modelos de predicción de tiempo de vida remanente se encargan de obtener el tiempo que le queda a una componente antes de que falle y utiliza los algoritmos de Boosted Decision Tree, Decision Forest Regression, Linear Regression y Neural Network Regression.

Como resultado del estudio se obtiene que para la detección de anomalías el algoritmo que logra una mejor solución de etiquetado es el algoritmo de Robust Covariance por sobre los otros algoritmos, a pesar de esto se indica que el análisis de aceites no genera un 100% del entendimiento de la degradación del motor. Para la clasificación de la falla los algoritmos que presentan mejores métricas son los de ensamble de modelos (Random Forest y Decision Jungle). Para la predicción del tiempo de vida remanente el algoritmo que genera mejor desempeño es Decision Forest Regression y que a su vez presenta una sensibilidad a la lejanía temporal de la predicción, por lo que se recomienda realizar actualizaciones recurrentes de las predicciones a fin de acercarse al valor real (Reveco, 2019).

1.7 Metodología

En esta sección se detalla la forma en que se aplicará el marco conceptual presentado en la sección anterior, en el desarrollo de la memoria con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos, el objetivo general y los alcances planteados. La metodología del proyecto se encuentra estructurada para desarrollarse en cuatro fases distintas, ellas son; análisis de mercado, modelo de negocio, prototipo y evaluación económica, a continuación se proceden a desarrollar con mayor detalle.

1.7.1 Modelo de negocio

El modelo de negocio basado en la metodología running lean busca que en principio se complete un lienzo donde se incorporen las partes esenciales del modelo de negocio inicial, de modo tal que se reconozcan como hipótesis cada una de las secciones que contiene a fin de que puedan ser testeadas. Del modelo preliminar se deben escoger 3 problemas que se encuentren en el marco de la gran minería asociada a las técnicas de analítica avanzada en el mantenimiento de equipos. Para llevarse a cabo se deben realizar entrevistas a distintos actores de modo que se logre contar con el mayor número de tomadores de decisiones y a su vez con la intención de determinar el segmento de clientes que se identifica mejor con los problemas planteados. De esta primera fase se decantan los principales problemas y el segmento de clientes al que le interesaría conocer una solución del problema a través de la postulación de hipótesis. Como segunda fase se plantea poner a prueba las hipótesis relacionadas a las funcionalidades de la solución, la identificación de los 'early adopters' o compradores tempranos y el precio o los flujos de ingreso del modelo de negocio. Con la finalidad de testar las hipótesis de segunda fase se construye una DEMO que contiene las funcionalidades básicas y plantea una estructura de cobro para el posible cliente. Las entrevistas de segunda fase a diferencia de las anteriores se le realizan principalmente a los actores identificados como segmento de clientes en la primera fase de entrevistas. La validación

de las hipótesis se establece de forma uniforme como aceptación en caso de que el 51% del universo que participa de la validación la aprueba o en caso contrario se rechaza cuando un 50% o menos del universo considerado esté a favor de la hipótesis. Finalmente solo queda validar las hipótesis restantes sin la realización de entrevistas, labor que es llevada a cabo mediante la búsqueda de fuentes secundarias.

1.7.2 Análisis de mercado

En esta etapa, se realizará un estudio de la competitividad y las dinámicas existentes en el mercado a través de un análisis de Fuerzas de Porter: estudiando la amenaza de nuevos entrantes, el poder de negociación de los proveedores, el poder de negociación de los compradores, la amenaza de los productos sustitutos y finalmente la rivalidad entre los competidores existentes. Para complementar el análisis del mercado se realizará un proceso de benchmarking, con la finalidad de tener una referencia de los servicios existentes en el mismo mercado pero con una mirada internacional, en lugares geográficos donde el modelo de negocio que se propone ya se encuentra desarrollado. El benchmarking se realiza mediante la metodología de dominio público, dado que permite incluir fuentes de información secundarias y no requiere hacer uso de costos asociados, lo que resulta crucial en un emprendimiento, así como la cantidad de participantes que considera exclusivamente al realizador de esta memoria y para la duración del estudio se establece un período de 7 días.

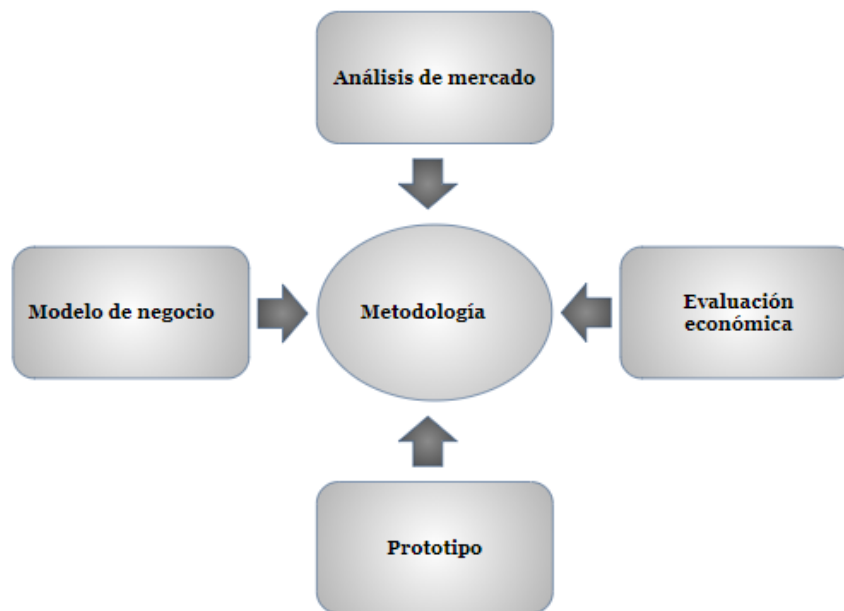
1.7.3 Prototipo

El proceso de prototipado comienza con la fase de evaluación de la DEMO en el modelo de negocio. Es en la fase de evaluación donde se deben incluir las características esenciales que debe tener una solución para dar salida a los problemas que se identifican en la parte inicial del modelo de negocio, con la finalidad de validar desde el segmento de cliente de interés la utilidad de cada funcionalidad. Esto se procede a complementar con el benchmarking a realizarse sobre empresas internacionales que entregan un servicio similar, pero ya lanzado al mercado y por consiguiente puesto a prueba. La relevancia de la DEMO radica en que las áreas de mayor impacto del servicio vienen de una retroalimentación y/o conversación con el usuario y cliente, por lo que es importante la vinculación que se genere entre ambos.

1.7.4 Evaluación económica

La evaluación de factibilidad económica parte de la base de la metodología de descuento de flujos de caja. Luego se complementa con un análisis del indicador de desempeño financiero VAN, con el propósito de evaluar la factibilidad de implementación tanto para los inversionistas como los socios fundadores, así como un análisis de sensibilidad para evaluar los parámetros bajo los que se cumplen las conclusiones obtenidas. A continuación se presenta un esquema resumen.

Ilustración 6: Composición de la metodología en cada una de sus cuatro etapas.



Fuente: Elaboración propia.

La composición de la metodología se inicia con el modelo de negocio gracias al desarrollo de las entrevistas de validación donde se va iterando el modelo en el lienzo Lean Canvas propuesto por Ash Maurya para el modelo de negocio y la construcción de una DEMO, en base a las características principales de la solución que se le entregará al cliente. Luego se realiza un análisis de la competitividad del mercado mediante la evaluación de las Fuerzas de Porter y un análisis de casos mediante un estudio de benchmarking. Para el Prototipo se toman como casos de uso las organizaciones consideradas en el benchmarking, la DEMO luego de ser validada por el segmento de clientes y finalmente se consideran las directrices del diseño de servicios centrados en la experiencia del cliente. Finalmente, en la evaluación económica se parte por realizar un estudio de la valoración del negocio mediante la técnica de flujos descontados, para realiza un análisis de sensibilidad a través de la métrica VAN.

CAPÍTULO 2. MODELO DE NEGOCIO

A continuación se procede a desarrollar la idea de modelo de negocio inicial en base a la metodología propuesta en el marco conceptual “Running Lean” de Ash Maurya, haciendo uso del lienzo “Lean Canvas” a fin de describir los distintos componentes de interés a evaluar en la propuesta de negocio. Posteriormente se procede a evaluar empíricamente desde la realización de entrevistas a distintos actores de la industria minera (**Anexo A**) las hipótesis asociadas al problema, el segmento de clientes, los “early adopters”, la solución, la estructura de precios y la propuesta de valor.

2.1 Modelo de negocio preliminar

A continuación se presenta el primer modelo de negocios del proyecto, obtenido desde la investigación de fuentes secundarias y el análisis de mercado que se detalla en el **capítulo 3**.

Ilustración 7: Lienzo Lean Canvas del modelo de negocio preliminar.

Problema Incorporación de personal capacitado en el análisis de datos. Baja calidad y falta de estructuración de la información generada por la operación de los equipos. Barreras económicas y de experiencia en el rubro.	Solución Proceso de diseño de un prototipo experimental.	Propuesta única de valor Aumento en la confiabilidad de las decisiones de mantenimiento mediante la aplicación de modelos de aprendizaje de máquinas.	Ventaja competitiva injusta Conocimiento técnico en la generación de modelos predictivos.	Segmentos de clientes Empresas de venta y mantención de equipos móviles. Centros de investigación universitarios. Áreas de mantenimiento en empresas de la gran minería Early Adopters Áreas de mantenimiento en empresas de la gran minería
	Métricas clave Conversión. Costo de adquisición del cliente.		Canales Mailing. Marketing digital. Congresos, seminarios, conferencias y ferias de la gran minería. Artículos de revistas especializadas.	
Estructura de costes Recursos humanos. Cloud Computing Services. Marketing.		Flujos de ingreso Plan Freemium. Plan básico: Evaluación económica.		

Fuente: Elaboración propia, en base a Ash Maurya.

El modelo de negocio preliminar supone un comienzo para la evaluación del negocio, una base desde donde se procede a testear inicialmente mediante la realización de una ronda de entrevistas con distintos actores involucrados en el área de mantenimiento de empresas relacionadas con el sector de la minería en Chile. Las hipótesis iniciales que se pretenden evaluar con el testeo se relacionan con el problema y el segmento de clientes.

2.1.1 Descripción del modelo de negocio preliminar

En esta sección se procede a describir cada uno de los bloques del lienzo Lean Canvas de Ash Maurya, según información obtenida de fuentes secundarias, por lo que se busca en adelante realizar una evaluación con actores de la industria.

2.1.1.1 Problema/Oportunidad

Se considera que en la industria de la minería, en particular en las áreas de mantenimiento de equipos existe una necesidad, por incorporar personal con conocimiento en el área de análisis de datos, que se encargue de generar análisis descriptivo y predictivo.

La información que se genera de la operación de equipos mineros presenta discontinuidades debido al acceso de redes de transmisión de la información, en las faenas mineras en Chile que se ubican generalmente en lugares como la cordillera en el caso de la minería a rajo abierto o subterráneas. También se presenta una baja estructuración de arquitecturas de almacenamiento de los datos generados por los equipos.

En el caso de emprendimientos se observan barreras de acceso para obtener contratos de servicios asociados al mantenimiento de máquinas, debido a que en la mayoría de las licitaciones que se publican por las empresas se solicita experiencia de trabajo en el rubro y espaldas financieras para hacer entrega de las garantías que se solicitan.

2.1.1.2 Segmento de clientes

Los centros de investigación universitarios presentan baja participación en el mercado nacional de la minería, en específico en las áreas de mantenimiento respecto a la inclusión de tecnologías de mantenimiento predictivo a través de modelos de inteligencia artificial. De las condiciones anteriores podría generarse un vínculo comercial de cooperación con la industria minera para la elaboración de modelos predictivos de mantenimiento.

Las empresas de venta y mantención de equipos móviles poseen una alta concentración y posicionamiento en la industria minera. Un punto importante a considerar con estas empresas es que al realizar la venta de sus equipos, se entregan bajo condiciones de garantía donde se incluye la realización exclusiva de las primeras mantenciones por parte de la empresa que realiza la venta. De aquí se observa una oportunidad de integrar el conocimiento reciente respecto al uso de tecnologías de inteligencia artificial en el análisis de datos, como parte de las labores de mantenimiento que realizan.

En las áreas de mantenimiento de las empresas de la gran minería en Chile se observa que se realizan labores de mantenimiento basado en la condición, mantenimiento preventivo y correctivo. De aquí se identifica una oportunidad en la inclusión de

tecnologías de analítica avanzada para la información que generan los equipos en las faenas mineras. Es aquí donde se identifica un posible *'early adopter'* del servicio.

2.1.1.3 Solución

Como solución se pretende realizar un trabajo de consultoría que permita a la organización mejorar sus capacidades en torno al análisis de datos en mantenimiento predictivo y apoyarlos en la construcción de un prototipo funcional que considere el desarrollo de modelos de predicción del tipo de falla, tiempo antes de que ocurra una falla y la ocurrencia de fallas en equipos mineros que sean críticos en un área del procesamiento de cobre.

2.1.1.4 Canales

Con la finalidad de poder captar clientes se establece una primera estrategia enfocada en el segmento de clientes de áreas de mantenimiento de la industria minera y las empresas de venta y mantención de equipos móviles, a través de la creación de un canal digital de ventas que pueda ser posicionado en la web mediante marketing digital y herramientas como google y linkedin.

La segunda estrategia se basa en la construcción de una base de datos de posibles clientes a los que se les realizan campañas de email marketing enfocada a los segmentos de clientes de actores asociados a las áreas de mantenimiento en la industria minera y centros universitarios de investigación mecánica.

La tercera estrategia consiste en posicionarse en los congresos, seminarios y conferencias asociadas a la aplicación de tecnologías en el área de mantenimiento o de mejora en la excelencia operacional, tales como el congreso internacional de mantenimiento minero o la conferencia internacional de excelencia operacional en minería que se realizan en Chile año a año.

La cuarta estrategia se basa en contratar publicidad a través de revistas especializadas como Minería Chilena, REDIMIN Revista digital de minería, Nueva Minería, el Portal Minero o la Revista Minera Crisol.

2.1.1.5 Métricas clave

Como el servicio nace de un emprendimiento, se considera que una estrategia de corto y mediano plazo debe enfocarse en el crecimiento del negocio, por lo que los esfuerzos se dirigen hacia la adquisición de nuevos clientes. De lo anterior, la primera métrica es el número de nuevos clientes o proyectos por semestre, dado que el servicio de consultoría puede ser duración extendida. En segundo lugar se considera relevante reforzar la primera métrica a través del seguimiento del costo de adquisición de nuevos clientes, a fin de entender los esfuerzos requeridos para conseguir un contrato.

2.1.1.6 Propuesta única de valor

‘Aumento en la confiabilidad en las decisiones de mantenimiento mediante la aplicación de modelos de aprendizaje de máquinas’. El modelo se enfoca en reforzar las capacidades ya existentes en la minería, a través de la inclusión de nuevas capacidades para el análisis de datos y la construcción de modelos predictivos aplicados a la operación y mantenimiento de maquinaria involucrada en el procesamiento de cobre.

2.1.1.7 Ventaja competitiva

La diferencia del modelo de negocio radica en las capacidades y conocimientos en la aplicación de modelos de inteligencia artificial para la predicción de fallas en sistemas rotores. Dado que se cuenta con un integrante del equipo que es Ingeniero Civil Mecánico y que realizó su tesis de pregrado en torno a la aplicación de tecnología de mantenimiento predictivo a través de modelos de inteligencia artificial y actualmente se encuentra cursando un magíster en la misma área.

2.1.1.8 Estructura de costes

Para la puesta en marcha del modelo de negocio se estima que los principales costos asociados son

- 1) Recursos humanos para el pago de las labores a realizar por los integrantes del equipo.
- 2) Dominio web para el registro del canal digital de ventas en Nic Chile, que se encarga de administrar y asignar los dominios web en Chile.
- 3) Hosting para hospedar el contenido del sitio.
- 4) Marketing digital a través del posicionamiento en el buscador de google, así como a través del canal LinkedIn.

El detalle cuantitativo asociado a cada uno de los costes se realiza en el **capítulo 5 de evaluación económica**.

2.1.1.9 Flujos de ingreso

Dada la constitución inicial del modelo de negocio se parte de la base de no contar con experiencia ni espaldas financieras que puedan sostener garantías de celebración de contratos para los servicios a ofrecer; es por esto que se piensa partir con un modelo de cobro freemium, en el que se pueda desarrollar modelos predictivos sin costo alguno a fin de obtener experiencia, posicionamiento y evaluar resultados de cara al cliente, lo que supone beneficios no monetarios para la organización. Para el caso de centros de investigación universitaria se piensa en un trabajo conjunto durante esta fase para la obtención de un prototipo funcional y en adelante se puede optar por seguir colaborando en otros modelos o el trabajo de forma independiente.

Luego de probar los modelos iniciales, se piensa partir con un contrato que basado en las mejoras operacionales y económicas permite extraer una prima de cobro fija para la celebración de un contrato entre ambas partes ya sea en el caso de una empresa de venta y mantención de equipos móviles así como áreas de mantenimiento en minería.

El detalle cuantitativo asociado a cada uno de los costes se realiza en el **capítulo 5 de evaluación económica**.

2.1.2 Hipótesis más riesgosas que sustentan el modelo

El contenido del modelo de negocio inicial se basa en el lienzo propuesto por Ash Maurya, en él cada uno de los nueve bloques se sustentan bajo la proposición de hipótesis. Se considera importante partir por identificar que las hipótesis más riesgosas se encuentran contenidas en el problema/ oportunidad y su relación con el segmento de clientes al que se dirige el servicio, en adelante con la finalidad de obtener una validación desde el mercado, donde se realizan entrevistas (el guión de las entrevistas se encuentra en el **Anexo B**) a distintos actores del mercado para realizar una caracterización general y así luego dirigir el servicio a un segmento más acotado según las necesidades que presenten. Las hipótesis que se evalúan mediante esta primera ronda de entrevistas tienen relación con los bloques del modelo de negocio correspondientes al problema y el segmento de clientes:

- 1. Problema:** La primera fase de entrevistas entrega información acerca del problema que se quiere abordar, partiendo de la base de los 3 problemas del modelo preliminar y luego obteniendo información de los entrevistados (**Anexo A**) que sustente la existencia de una problemática o aportando información de problemas no considerados.
- 2. Segmento de clientes:** Se parte de la base de 3 posibles clientes como se aprecia en el modelo preliminar así como los early adopters que se considera que comprarían el producto en un principio. Con la finalidad de delimitar un segmento de clientes se realiza una primera fase de entrevistas (**Anexo A**) a cada uno y se amplía el espectro de posibles clientes con la finalidad de contar con un segmento mayor del considerado en el modelo preliminar, a continuación se entrega un detalle de los distintos actores del mercado que participaron en esta primera fase de evaluación.

Para la ejecución de las entrevistas se seleccionaron 11 actores de los que se procede a continuación a describir su rol en el mercado; 1) Jefe de mantención de ferrocarriles de la División el Teniente (CODELCO), 2) Profesor del MBA en la Industria Minera de la Universidad de Chile, 3) Directora del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, 4) Gerente de Innovación y tecnología de Komatsu Reman Center Chile, 5) Ingeniera de mantenimiento mina de la División Radomiro Tomic (CODELCO), 6) Gerente Corporativo de Gestión de Materiales y Servicios en Teck Resources Chile, 7) Superintendente de mantenimiento en planta concentradora de Minera Spence, 8) Gestor de innovación y análisis de datos en Minera Escondida, 9) Jefe de operaciones de mantenimiento en equipos móviles de Minera Tres Valles, 10) Consultor Senior de la

empresa de consultoría SMEC y 11) Gerente de Innovación y Tecnología en Komatsu Chile. En el **Anexo B** se encuentra estructurada la información recopilada en cada una de las entrevistas.

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos luego de realizar las entrevistas para la validación del problema y el segmento de clientes según las hipótesis respectivas.

2.1.3 Validación del problema

En el caso de la validación de cada uno de los tres problemas identificados en el modelo de negocio inicial, se procede a formular tres hipótesis que puedan ser verificables mediante la realización de las entrevistas de fase 1, en particular se tienen las siguientes hipótesis iniciales.

2.1.3.1 Hipótesis 1: Las entrevistas de fase 1 permiten validar la falta de incorporación de personal capacitado en el análisis de datos.

De las primeras once entrevistas correspondientes a la primera fase, se tiene que sólo uno de los casos muestra que aún dentro de las operaciones mantienen altos niveles de mantenimiento correctivo y trabajan todo mediante el uso de papel en una empresa de la mediana minería, por lo que se ve lejano el uso de analítica de los datos, a diferencia de los otros 10 casos donde se muestra que existe un interés por incorporar personal con capacidades en torno a la analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos, por lo que **con un 91% de respuestas a favor se aprueba la hipótesis.**

2.1.3.2 Hipótesis 2: Las entrevistas de fase 1 permiten corroborar la baja calidad de la información y estructuración de la información generada por la operación de los equipos.

Se menciona en tres de las entrevistas el uso de información asociada al mantenimiento basado en la condición por lo que la información es tomada en terreno desde distintas fuentes que no se encuentran completamente integradas para su posterior análisis. En una minera privada se menciona el uso de sistema SAP como fuente de información del funcionamiento de los equipos que se desempeña bien para recopilar y analizar la información obtenida. Un representante de una empresa de la minería privada menciona la creación de un área de análisis de datos en la que la información no se encuentra disponible en un único sistema para su análisis. En una empresa de la mediana minería se menciona que la información utilizada se registra en papel por lo que no se puede acceder a ella de una forma que sea posible realizar análisis de la data. Dos integrantes de empresas de venta de equipos mencionan que existe una recopilación interna de la información en faena que se transmite a la compañía, por lo que queda en posición de la empresa y que incluso en ese caso existen dificultades para recoger la información debido a que existen más actores intentado acceder a ella y en una empresa de la gran minería se menciona la falta de acceso a los datos de parte de las empresas que venden equipos. Como conclusión del análisis se tiene que 6 de los 11 entrevistados

aprueban la hipótesis, por lo que **con un 55 % de respuestas a favor se procede a aprobar la hipótesis**. Se observa que existen diversos problemas asociados a la gestión de la data y entre ellos destaca “**acceso a los datos de operación de los equipos**”, por lo que se procede a rediseñar el problema que describe la hipótesis quedando “las entrevistas de fase 1 permiten corroborar la dificultad de acceso, la baja calidad y falta de estructuración de la información generada de la operación de los equipos”.

2.1.3.3 Hipótesis 3: Las entrevistas de fase 1 permiten validar la existencia de barreras económicas y de experiencia en el rubro.

En un caso se apoya la hipótesis en torno a la falta de experiencia como un gran problema en las personas que comienzan a ofrecer servicios de mantenimiento. Para una empresa de consultoría en mantenimiento se coincide en que la falta de experiencia de parte de las empresas consultoras que quieran ofrecer servicios es clave y se presenta como una barrera. En el caso de la docencia universitaria se menciona que la industria minera necesita de la inclusión de capacidades de analítica avanzada por lo que las puertas se encuentran abiertas y en su caso han realizado labores relacionadas. En las empresas de venta de equipos se menciona que si existe interés en avanzar hacia el análisis de la información pero desde la creación de capacidades internas, aún así primero se encuentran trabajando en la creación de arquitecturas de almacenamiento de la información recogida en las faenas mineras. Desde una minera se menciona que si se ofrecen soluciones relacionadas al desgaste de cuchillas de bulldozers y las fallas de neumáticos se podría realizar una licitación dado que CODELCO es una empresa pública, pero no se presentarían otras limitaciones de acuerdo a experiencia. En una empresa privada dedicada al procesamiento de mineral cobre se menciona que las barreras económicas se ven solventadas generalmente por externos a través de capitales semilla o Joint Ventures por lo que no existiría una barrera económica lo que es ratificado por una empresa consultora que menciona que la posibilidad de realizar Joint Venture disminuye las barreras de empresas consultoras más pequeñas que quieran entregar servicios. Para la validación de la hipótesis sólo participaron 6 entrevistados de los 11 de fase 1 y sólo 2 de los 6 entrevistados aprueban la hipótesis, por lo que **con un 33% de respuestas a favor se procede a rechazar la hipótesis**. En base a la información recopilada de la validación de la presente hipótesis se decide reemplazar por una nueva hipótesis del problema de acuerdo a la existencia de “barreras culturales para la inclusión de tecnología”, el que se presenta como una constante de cambio asociada a los procesos de transformación mencionado por las compañías mineras, consultoras y en lo observado desde la docencia, por lo que existe una mayor alineación respecto a su existencia.

2.1.4 Validación del segmento de clientes

En el caso de la validación de cada uno de los tres segmentos de clientes identificados en el modelo de negocio inicial, de donde se procede a formular tres hipótesis que puedan ser verificables mediante la realización de las entrevistas de fase 1, en particular se tienen las siguientes hipótesis iniciales;

2.1.4.1 Hipótesis 1: Las entrevistas de fase 1 validan a empresas de venta y mantenimiento de equipos móviles como segmento de clientes viable

Para la validación de esta hipótesis se consideran **sólo dos entrevistas** realizadas a dos actores del segmento de clientes que se pretende evaluar (empresas de venta y mantenimiento de equipos móviles). Las entrevistas realizadas al Gerente de innovación y tecnología de Komatsu Reman Center Chile y el Gerente de innovación y tecnología en Komatsu Chile, de donde se valida que actualmente la empresa se encuentra incorporando capacidades para la gestión y almacenamiento de los datos recibidos de la operación de los equipos móviles que se encuentran en faena, pero aún se encuentran en la fase de construcción de arquitecturas y transmisión de la información, por lo que las capacidades de construcción de modelos inteligencia artificial no se considera en el corto plazo. **Con un 0% de respuestas a favor se procede a rechazar la hipótesis.**

2.1.4.2 Hipótesis 2: Las entrevistas de fase 1 validan a centros de investigación universitarios como segmento de clientes viable

Para la validación de esta hipótesis se consideran **sólo dos entrevistas** realizadas a dos actores del segmento de clientes que se pretende evaluar (centros de investigación universitarios). Las entrevistas se realizan a la Directora del Departamento de Ingeniería Mecánica y un Profesor del MBE en la Industria Minera, ambos de la Universidad de Chile. Para el caso de la institución mencionada se cuenta actualmente con redes de contacto establecidas por los seminarios que ofrecen actividades como el Mapa Mantemín que se realiza anualmente y convoca a los distintos actores de la minería en particular en las áreas de mantenimiento para dar a conocer las tecnologías emergentes sobre las mejores prácticas de gestión de activos. En torno a la experiencia la institución se encuentra a la vanguardia en el estudio de las nuevas tecnologías así como la investigación realizada por sus docentes en colaboración de universidades extranjeras. A modo de conclusión del análisis realizado y **con un 0% de respuestas a favor se procede a rechazar la hipótesis** de contar los centros de investigación como segmento de cliente viable, pero aun así se considera relevante mantener las entrevistas con sus integrantes debido al conocimiento y experiencia que puedan aportar en la siguiente fase para la construcción de una solución. También existe la posibilidad de realizar un Joint Venture entre los centros universitarios y el equipo que ejecute el modelo de negocio con la finalidad de rescatar la expertise en torno a los modelos predictivos que tiene la universidad en sus líneas de investigación.

2.1.4.3 Hipótesis 3: Las entrevistas de fase 1 validan las áreas de mantenimiento en empresas de la gran minería del cobre como segmento de clientes viable

Para la validación de esta hipótesis se consideran **sólo cuatro entrevistas** realizadas a los actores del segmento de clientes que se pretende evaluar (áreas de mantenimiento en empresas de la gran minería). En la validación de esta hipótesis participan el Gerente Corporativo de Gestión de Materiales y Servicios en Teck Resources Chile, el Jefe de

Mantenimiento de ferrocarriles en la división El Teniente, una Ingeniera de mantenimiento en Radomiro Tomic y un Superintendente en la planta concentradora de Minera Spence. De las entrevistas se obtiene que las empresas mineras generalmente trabajan en mantenimiento preventivo, en el que se incluye el mantenimiento basado en la condición, pero se encuentra un interés latente en incorporar tecnologías de analítica avanzada dado que en otras áreas de mantenimiento cercanas sí se utiliza. De los 4 entrevistados tres aprobaron la hipótesis planteada, teniendo que **con un 75% de respuestas a favor se procede a aprobar la hipótesis** y se complementa con lo mencionado por dos entrevistas que puede ser de interés la inclusión de tecnologías de analítica avanzada para el mantenimiento de máquinas en las áreas de confiabilidad.

2.1.5 Conclusión de la validación inicial

De los 3 problemas planteados, se validó la hipótesis 1 asociada a la falta de personal capacitado en el análisis de datos con un 91% de respuestas a favor. Para la hipótesis 2 asociada a los problemas con la calidad y estructuración de la data se aprobó con un 55% de respuestas a favor y se procedió a complementar la hipótesis con la dificultad de acceso a la información. La hipótesis 3 asociada a las barreras económicas y de experiencia en el rubro se rechazó con un 33% de respuestas a favor, reemplazándose a su vez por la hipótesis de existencia de barreras culturales para la inclusión de tecnología.

Respecto al segmento de cliente sólo se considera la hipótesis de las áreas de mantenimiento con 75% de respuestas a favor y se rechazan los centros universitarios de investigación y las empresas de venta de equipos móviles como segmento de clientes viable, las que se reemplazan por las áreas de confiabilidad al interior de las empresas mineras. A pesar de que se rechaza a los centros universitarios como segmento de clientes viable, se abre la posibilidad de realizar un Joint Venture con la finalidad de capturar el conocimiento específico en la generación de modelos predictivos y las innovaciones que generen en sus líneas de investigación.

Tabla 3: Resumen del flujo de validación de hipótesis en fase 1.

Bloque del modelo de negocio	Hipótesis	Resultado validación	Hipótesis final
Problema	Las entrevistas de fase 1 permiten validar la falta de incorporación de personal capacitado en el análisis de datos	Se aprueba	Las entrevistas de fase 1 permiten validar la falta de incorporación de personal capacitado en el análisis de datos
Problema	Las entrevistas de fase 1 permiten corroborar la baja calidad de la información y estructuración de la información generada por la operación de los equipos	Se aprueba	Se rediseña: Las entrevistas de fase 1 permiten corroborar la dificultad de acceso, la baja calidad y falta de estructuración de la información generada de la operación de los equipos
Problema	Las entrevistas de fase 1 permiten validar la existencia de barreras económicas y de experiencia en el rubro	Se rechaza	Se reemplaza: Las entrevistas de fase 1 permiten validar la existencia de barreras culturales para la inclusión de tecnología
Segmento de clientes	Las entrevistas de fase 1 validan a empresas de venta y mantención de equipos móviles como segmento de clientes viable	Se rechaza	No se reemplaza

Segmento de clientes	Las entrevistas de fase 1 validan a centros de investigación universitarios como segmento de clientes viable	Se rechaza	No se reemplaza
Segmento de clientes	Las entrevistas de fase 1 validan las áreas de mantenimiento en empresas de la gran minería del cobre como segmento de clientes viable	Se aprueba	Las entrevistas de fase 1 validan las áreas de mantenimiento en empresas de la gran minería del cobre como segmento de clientes viable

2.2 Modelo de negocio versión 2

El modelo inicial de negocio parte de la validación inicial realizada en la primera fase de entrevistas a distintos actores de la industria, de donde se obtuvo una validación en los problemas que dificultan la aplicación de tecnologías de anlytica avanzada en el mantenimiento de equipos mineros, así como de los segmentos de clientes que mayor predisposición presentarían a la adquisición de los servicios.

Ilustración 8: Lienzo Lean Canvas del modelo de negocio luego de la primera fase de validación.

Problema Incorporación de personal capacitado en el análisis de datos. dificultad de acceso, la baja calidad y falta de estructuración de la información generada por la operación de los equipos. Barreras culturales para la inclusión de tecnología	Solución Gestión del cambio organizacional. Analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva.	Propuesta única de valor Aumento en la confiabilidad de las decisiones de mantenimiento mediante la aplicación de modelos de aprendizaje de máquinas.	Ventaja competitiva injusta Conocimiento técnico en la generación de modelos predictivos.	Segmentos de clientes Superintendentes de confiabilidad y mantenimiento. Early Adopters Superintendentes de mantenimiento.
	Métricas clave Conversión. Costo de adquisición del cliente.		Canales Mailing. Marketing digital. Congresos, seminarios, conferencias y ferias de la gran minería. Artículos de revistas especializadas.	
Estructura de costes Recursos humanos. Cloud Computing Services. LinkedIn Premium. Marketing.		Flujos de ingreso Plan Freemium. Plan básico. Plan Global.		

Fuente: Elaboración propia, en base a Ash Maurya.

Tomando como base la segunda versión del modelo de negocio, se pretende realizar a continuación una segunda validación, sólo que esta vez a través de la validación de una DEMO, la que representa las características principales que otorgaría un servicio de consultoría en el mantenimiento de máquinas a través de la analítica avanzada, de esta forma mediante una segunda ronda de entrevistas direccionada en actores pertenecientes a las áreas de mantenimiento y confiabilidad, así como también a los pertenecientes a centros de investigación universitaria para obtener una validación técnica de la propuesta. De la segunda fase participa la Directora del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, al Superintendente de mantenimiento en la División Chuquicamata de CODELCO, al Superintendente de confiabilidad y mejoramiento de mantención en Minera los Pelambres, al Superintendente de mantenimiento en Chancado y Manejo de Materiales en la División Radomiro Tomic de CODELCO, al Superintendente de analítica avanzada en Minera los Pelambres, al Director alterno del Centre for Advanced Asset Analytics de la Universidad de Chile y al consultor y coach de Pucheu Consultores.

2.2.1 Validación de la solución mediante la construcción de una Demo

El objetivo de la Demo inicial es poder validar una propuesta que contenga las principales características que se cree entregan un mayor valor al cliente, en conjunto con una estructura de precios, las que se validan de acuerdo a las principales necesidades detectadas por el segmento de clientes a fin de obtener una segunda versión validada de la Demo (**Anexo D** para ver el guión de las entrevistas de fase 2).

2.2.1.1 DEMO

A continuación se presentan las principales características del modelo inicial que tiene como objetivo validar las principales funcionalidades de una solución para el modelo de negocio:

2.2.1.1.1 Consultoría operacional

Es importante identificar los indicadores correctos para medir los objetivos del negocio en el programa de mantenimiento predictivo, ya que no hacerlo podría significar una equivocación desde el inicio. Por lo que para conducir una correcta evaluación de las métricas de mantenimiento se debería incluir:

- Las métricas (KPI por su siglas en ingles de Key Performance Indicator) más adecuadas son las que logran impactar y medir objetivos. Como métricas de mayor relevancia cabe destacar la eficiencia general de los equipos (OEE por su siglas en inglés), el tiempo promedio de reparación (MTTR por sus siglas en inglés), el tiempo promedio antes de falla (MTBF por su siglas en inglés) y la efectividad del mantenimiento.

- Realización de una evaluación comprehensiva de los modos de falla, efectos y un análisis de su criticidad (FMECA por su siglas en inglés) que es una metodología que permite identificar y analizar todos los modos de fallos potenciales en las diferentes partes de un sistema, sus efectos y como mitigar sus efectos en el sistema. También posteriormente se realiza el cálculo del número de prioridad de riesgo (RPN Risk Priority Number) que busca ser una métrica de evaluación de riesgo. Lo anterior requiere una evaluación intensiva y un conocimiento intensivo de los anteriores mantenimientos.

Un error común en los programas de mantenimiento predictivo es tratar todos los casos con la misma estrategia de mantenimiento y con la finalidad de evitar este error, es necesario separar los costos del mantenimiento predictivo en un análisis costo beneficio para la construcción de un caso de negocio.

2.2.1.1.2 Análisis de la tecnología operacional

La tecnología operacional es parte vital de los programas de mantenimiento predictivo, es una de las razones por las que la experiencia de los mantenedores senior es altamentepreciada, por lo que se hace necesario contar con los distintos tipos de tecnología operacional y expertise de parte del equipo de evaluación:

- Anatomía e instrumentación de todos los activos, de donde alguien del equipo debe entender el impacto en costos de las fallas, su rendimiento y calidad, la frecuencia de las fallas y la factibilidad de detectar varios tipos de falla.
- Entendimiento acerca de la distribución de sensores que permite detectar fallas, por lo que de parte del equipo se hace necesario entender la física de cada componente. Por ejemplo en el monitoreo de vibraciones es útil para la detección de ciertos problemas, pero no en el caso de pérdida de conexiones eléctricas.
- Es importante entender el contexto operacional, tal como las condiciones ambientales, el entorno operacional, el modo y uso operacional, dado que los algoritmos más eficientes consideran tanto el contexto como la recopilación de datos de los sensores.

Gestión del cambio organizacional: el mantenimiento predictivo no es una isla por si mismo, también se relaciona con producción, gestión del inventario y calidad. La integración del programa de mantenimiento predictivo con todas las otras funciones del negocio requiere de una efectiva gestión del cambio. Cada departamento que es afectado por el mantenimiento predictivo necesitan entender el impacto de estos programas en el funcionamiento normal, por lo que es necesario escoger los correctos KPI', con mediciones regulares a fin de compartir los resultados con las distintas áreas involucradas.

2.2.1.1.3 Análisis de datos

Para la realización de un piloto de mantenimiento predictivo en su etapa de análisis de datos se propone seguir la siguiente hoja de ruta:

- **Inventario y adquisición de data:** Es necesario identificar todas las potenciales fuentes, tanto internas como externas, preparando su almacenamiento. El resultado esperado se basa en determinar que data es esencial para el piloto y cual es opcional. Es posible que los sistemas de mantenimiento actual cuenten con un período extendido de data (1-2 años). Si no existe data operacional es posible generar modelos físicos de las máquinas, que a través de la variación de parámetros a fin de obtener condiciones de falla y éxito.
- **Pre-procesamiento de data:** Combina varios conjuntos de datos con la finalidad de que sea posible su posterior análisis. es necesario en esta fase eliminar datos fuera de serie, preocuparse del correcto etiquetado en el caso que sea necesario. En algunos casos reemplazar anomalías con valores aproximados o disminuir el conjunto de datos.
- **Desarrollo e iteración de los modelos:** Es importante encontrar patrones de significancia. También identificar y extraer indicadores de condición de los datos extraídos de los sensores. Conocidos como características, en donde en estas características los parámetros se ingresan como entradas a los modelos que se entrenaran. Luego se entrenan los modelos clasificando los datos según escenarios en condiciones de falla se intenta predecir la adaptación de las características en la simulación de los modelos.
- **Despliegue e integración de los modelos:** Se pretende observar como los modelos trabajan en el entorno operacional. Para esto se monitorea como reacciona con datos reales. Esto permitirá refinar el modelo e integrarlo en una completa implementación.

2.2.1.2 Estructura de precios

Para el plan de precios se consideran tres segmentos de precios que constituyen parte de la misma propuesta que se detalla a continuación:

2.2.1.2.1 Plan freemium

Se realiza un prototipo funcional en base a la información histórica y monitoreo de condición, donde al considerarse primera vez que se realiza una simulación y modelamiento, el plan de cobro es gratis. La intención del plan freemium es levantar información relevante y asegurar un beneficio posterior al cliente.

2.2.1.2.2 Plan básico

Cuando ya se tienen resultados de un prototipo funcional previo de la fase freemium, se procede a considerar los resultados obtenidos en base a las métricas de los KPI´s a fin de tener un conocimiento del impacto de la aplicación de los modelos en el negocio.

2.2.1.2.3 Plan global

Se agrega un plan en el que se realiza un trabajo con foco en la gestión del cambio organizacional que va dirigido a los integrantes de las distintas áreas impactadas por la realización de los programas de mantenimiento predictivo.

2.2.1.2 Resultados de la validación de la solución

Es de común acuerdo por todos los entrevistados en la fase dos de entrevistas (Véase **Anexo B**) que el seguir una estructura en que se consideren tres fases como se muestra en la DEMO, correspondientes a una consultoría operacional, el análisis de la tecnología operacional y el análisis de datos es una forma correcta de entregar un servicio de consultoría en analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos mineros. De todas formas es importante destacar que en la entrevista realizada al superintendente de confiabilidad y mejoramiento en mantención de Minera Los Pelambres, se menciona la relevancia de trabajar la fase de **consultoría operacional** en vez de utilizar Key Performance Indicators (por sus siglas KPI) con los Key Value Drivers, que son indicadores que se distinguen por tener un impacto directo en el EBITDA de la compañía. Para el caso de los camiones su key value driver viene dado del [material botado/unidad de tiempo] y en el caso de correas transportadoras por [material transportado en la correa/unidad de tiempo]. La entrevista con el superintendente de mantenimiento en chancado y manejo de materiales en la División Radomiro Tomic de CODELCO indica que el indicador de mayor relevancia en términos económicos es la disponibilidad de activos y como indicadores secundarios el tiempo medio entre fallas, la frecuencia de fallas y la efectividad total de los equipos (por sus siglas en inglés OEE).

Para la fase de **análisis de la tecnología operacional** se reafirma el contenido de la DEMO y se hace énfasis en la gestión del cambio organizacional como un factor importante tal como menciona el consultor en gestión del cambio organizacional, dado que las estructuras jerárquicas en la industria chilena, responden a un sistema agrícola-militar, donde se encuentra una alta verticalidad en las relaciones de poder. Además se considera que un factor de relevancia a tener en cuenta es la existencia de barreras culturales para la incorporación de nuevas tecnologías, tal como menciona el Director alterno del Centre for Advanced Asset Analytics.

En todas las entrevistas realizadas se aprueba la organización de la fase de **análisis de datos**, pero en cuatro de los siete entrevistados en la fase 2 de entrevistas se considera incompleto el modelo dado que no se cuenta con un análisis descriptivo de los datos y un análisis prescriptivo. Se procede a incorporar en la solución el análisis descriptivo dado que aporta un mayor conocimiento de la data y también se procede a incorporar el

análisis prescriptivo dado que permite realizar recomendaciones prácticas para la toma de decisiones según los modelos predictivos obtenidos.

Del área académica se menciona que una de las principales ventajas competitivas de la aplicación del mantenimiento predictivo es tener la capacidad de monitorear una mayor cantidad de componente y equipos a un menor coste de horas hombre.

2.2.2 Validación de los early adopters

2.2.2.1 Hipótesis 1: Las entrevistas de fase 2 validan a los superintendentes de mantenimiento en empresas de la gran minería del cobre como early adopters

De las 7 entrevistas realizadas en fase 2, se considera para el análisis **sólo cuatro** entrevistas realizadas a superintendencias de mantenimiento, confiabilidad y analítica avanzada en empresas mineras. En las entrevistas de segunda fase se entrevistó al Superintendente de mantenimiento de la División Chuquicamata de CODELCO quien se mostró interesado en probar el plan Freemium de la DEMO para en caso de que se obtengan resultados favorables realizar una licitación del servicio. En Minera Los Pelambres el Superintendente de confiabilidad y el Superintendente de analítica avanzada mencionaron que la empresa se encuentra en una fase temprana de incorporación de modelos de analítica avanzada por lo que no se encontrarían interesados en el servicio y en la División Radomiro Tomic el Superintendente de mantenimiento en Chancado y Manejo de Materiales mencionó que en la División ya cuentan con un proyecto de mantenimiento predictivo en conjunto con la Universidad de Concepción. De las cuatro entrevistas realizadas se obtiene una respuesta positiva, **por lo que con un 100% de aceptación se aprueba la hipótesis**. De las entrevistas se pueden reafirmar que existe un interés generalizado de las superintendencias de mantenimiento, analítica y confiabilidad por trabajar en torno al mantenimiento predictivo y técnicas de analítica avanzada, pero de donde se obtiene un mayor interés es de la superintendencia de mantenimiento, por lo que se valida como el segmento de primera adopción del servicio o early adopter.

Del área académica se menciona que a pesar de los polines son una fuente de falla catastrófica en las operaciones mineras, presentan la gran limitación de que existe un gran número de ellos, por lo que requieren de una alta inversión en instrumentación para realizar su monitoreo, y que existe una amplia experiencia en la aplicación de modelos predictivos y analítica avanzada en polines y camiones diesel, por lo que sería más viable analizar el comportamiento de los camiones diesel.

2.2.3 Validación de los flujos de ingresos

2.2.3.1 Hipótesis 1: Las entrevistas de fase 2 permiten conocer una estructura de precios de acuerdo a las necesidades y condiciones del mercado según la estructura planteada en la DEMO

De las 7 entrevistas de fase 2 existe un consenso favorable respecto al uso del plan de cobro en los segmentos del plan freemium, el plan básico y el plan global, por lo que **se aprueba la hipótesis con un 100% de aceptación** desde los entrevistados. Desde el área académica se hace hincapie en realizar cobros fijos según el análisis del caso de negocio realizado estableciendo metas que sean alcanzables por el modelo de negocio propuesto, dado que de parte de las empresas mineras no se interesan en el pago a empresas de servicio según las ganancias obtenidas. También de la superintendencia de mantenimiento de la División Chuquicamata de CODELCO se menciona que CODELCO trabaja en base a licitaciones, por lo que puede ser de interés inscribirse en sus plataformas para participar de concursos en servicios.

2.2.4 Conclusión de la validación 2

De la validación de las principales funcionalidades a entregar en el servicio que se plantearon como hipótesis en la DEMO, resulta en una aprobación de parte de los entrevistados en la fase 2 de entrevistas. de la DEMO inicial se realizan cambios en la métricas consideradas inicialmente por los Key Value Driver que presentan un impacto directo en el rendimiento del negocio (EBITDA), todo esto para la fase de consultoría operacional que es cuando se arma el caso de negocio. También se agrega en la fase de análisis de datos el análisis descriptivo y prescriptivo de los datos para contar y entregar un mayor entendimiento de los datos, así como prescripciones en torno a las decisiones que se deriven del caso de negocio y los modelos predictivos.

En la validación de los early adopter es posible notar que existe un interés generalizado entre los entrevistados de contar con tecnologías de analítica avanzada en sus área, aunque de donde se encuentra un interés más concreto es de una Superintendencia de mantenimiento, por lo que se considera como el segmento early adopter.

Para la estructura de cobro planteada en la DEMO se mantiene en sus tres segmentos. De lo anterior es posible decir que el porcentaje de cambio de la DEMO es mínimo respecto a lo planteado y existe interés de una organización en adquirir el servicio, por lo que se considera validado el modelo propuesto por la DEMO.

Tabla 4: Resumen del flujo de validación de hipótesis en fase 2.

Bloque del modelo de negocio	Hipótesis	Resultado validación
Early adopters	Las entrevistas de fase 2 validan a los superintendentes de mantenimiento en empresas de la gran minería del cobre como early adopters	Se aprueba
Flujos de ingresos	Las entrevistas de fase 2 permiten conocer una estructura de precios de acuerdo a las necesidades y condiciones del mercado según la estructura planteada en la DEMO (plan freemium, plan básico y plan global)	Se aprueba

2.3 Modelo de negocio final

Durante el capítulo se realiza una validación de los segmentos del modelo de negocio planteado inicialmente, mediante la realización de dos rondas de entrevistas a distintos actores de la industria de la minería del cobre en Chile, de los centros de investigación académica y empresas de servicios y consultoría, para su fin se realizó la validación de los segmentos de clientes, los early adopter, los principales problemas de los que se hace cargo la solución a entregar y el modelo de cobro que determina el flujo de ingresos a obtener, quedando pendiente la validación de la propuesta única de valor, la ventaja competitiva injusta, los canales, las métricas clave y la estructura de costes. Luego de contar con las validaciones previas que otorgan un mayor conocimiento respecto al negocio y sumado a una nueva búsqueda por fuentes secundarias dar un lineamiento de la composición de los bloques que quedan por validar.

Ilustración 9: Lienzo Lean Canvas del modelo de negocio final.

Problema	Solución	Propuesta única de valor	Ventaja competitiva injusta	Segmentos de clientes
<p>Incorporación de personal capacitado en el análisis de datos.</p> <p>dificultad de acceso, la baja calidad y falta de estructuración de la información generada por la operación de los equipos.</p> <p>Barreras culturales para la inclusión de tecnología</p>	<p>Gestión del cambio organizacional.</p> <p>Analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva.</p>	<p>Aumento en la confiabilidad de las decisiones de mantenimiento mediante la aplicación de modelos de aprendizaje de máquinas.</p>	<p>Conocimiento técnico en la generación de modelos predictivos.</p>	<p>Superintendentes de confiabilidad y mantenimiento.</p>
	<p>Métricas clave</p> <p>Conversión.</p> <p>Costo de adquisición del cliente.</p>		<p>Canales</p> <p>Mailing. Marketing digital. Congresos, seminarios, conferencias y ferias de la gran minería. Artículos de revistas especializadas.</p>	<p>Early Adopters</p> <p>Superintendentes de mantenimiento.</p>
<p>Estructura de costes</p> <p>Recursos humanos. Cloud Computing Services LinkedIn Premium. Marketing.</p>		<p>Flujos de ingreso</p> <p>Plan Freemium. Plan básico. Plan global.</p>		

Fuente: Elaboración propia, en base a Ash Maurya.

Contando con una validación del modelo de negocio, que refleja la naturaleza interna del servicio a ofrecer, es necesario tener una visión externa acerca de la competitividad existente en el mercado es por esto que en el siguiente capítulo se aborda la competitividad proveniente de los diversos actores que le dan forma al mercado a través de un análisis de fuerzas de Porter, así como un conocimiento acerca de las soluciones que el mercado más desarrollado provee en el campo de la analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE MERCADO

En el capítulo se desarrolla un análisis del mercado considerando dos ópticas, en primer lugar la que aporta Michael E. Porter acerca de la competitividad existente en el mercado que se inserta el servicio y otra desde un benchmarking en donde se realiza la comparación de negocios que ofrecen un servicio similar a nivel internacional, tomándose como casos de uso para la posterior construcción de un prototipo.

3.1 Análisis de fuerzas de Porter

En la presente sección se desarrolla el análisis del mercado mirado desde la perspectiva de competencia e interacción con los 5 actores del mercado, que Michael E. Porter define como las fuerzas que moldean el estado de un emprendimiento u organización. En este caso se mencionan los casos de rivalidad entre los competidores existentes, el poder de negociación de los clientes, la amenaza de productos y servicios sustitutos, el poder de negociación de los proveedores, servicios sustitutos y la amenaza de entrada de nuevos competidores. Del análisis se espera tener una mirada acerca de las dinámicas que dan forma al mercado de interés.

Para la realización del benchmarking se considera la metodología de dominio público, teniendo como principal fuente de información para el desarrollo del trabajo la información disponible en la web y literatura en torno a los servicios de analítica avanzada.

3.1.1 Rivalidad entre los competidores existentes

Cabe destacar la existencia de competidores directos como es el caso de Dataqu, que cuenta con soluciones impulsadas por un motor de inteligencia artificial para generar modelos predictivos, como en el caso del modelamiento predictivo para el mantenimiento a fin de pronosticar la falla del componente de una máquina, antes de su ocurrencia y cuenta con la presencia de soluciones en industrias agrícola, de producción y para la gestión de clientes.

Por otro lado Ingeniería MCM Chile, es una empresa que cuenta con más de 15 años aplicando ingeniería de monitoreo de la condición y se dedica al diagnóstico de la condición de los activos físicos mediante técnicas de monitoreo offline, online y análisis de big data, en el último caso mediante el uso de algoritmos matemáticos de inteligencia artificial.

En el caso de SPM Ingenieros se realiza un análisis avanzado de la condición de los equipos mineros basándose en la utilización de tecnologías de Big Data y Machine Learning para conocer el estado de los equipos. Cabe destacar el caso de la empresa HighService Corp que presenta soluciones de monitoreo de condición basado en algoritmos de machine learning en distintas áreas de la operación minera como la fase de concentración en los molinos SAG y el transporte de mineral.

De la segunda fase de entrevistas realizadas (**Anexo B**) es posible verificar la existencia de un área de analítica avanzada en la Minera los Pelambres que lleva la experimentación incipiente de modelos predictivos para el mantenimiento de sus equipos y de parte de la División Radomiro Tomic que se encuentra realizando la fase inicial de un proyecto de mantenimiento predictivo en conjunto con un centro de investigación de la Universidad de Concepción.

Cabe mencionar que a pesar del posicionamiento existente por las compañías que ya ofrecen sus servicios a la minería que otorga competitividad en el mercado, el uso de estas tecnologías es incipiente como se demuestra en el caso de las entrevistas a dos faenas mineras, sumado a que para el tipo de tecnologías de machine learning las barreras geográficas son menores y se pueden entregar servicios a nivel internacional, por lo tanto el mercado a pesar de encontrarse en una fase de aumento de la competitividad aún no ha llegado a su peak, de modo tal que la **rivalidad entre los competidores es de nivel medio**.

3.1.2 Poder de negociación de los clientes

A pesar de que existe competencia que entrega un servicio similar y aumenta la competitividad del mercado, estos se encuentran en un menor número respecto a la cantidad de faenas mineras que existen en el país, por lo que se puede considerar que el tipo de tecnologías de analítica avanzada aplicada a equipos mineros presenta una baja difusión y los proyectos que se han desarrollado en el área son incipientes, basándose en los documentado en las entrevistas de fase 2 (**Anexo B**) se tiene que la tecnología presenta un alto componente innovador, lo que se puede interpretar en una falta de confianza del cliente para implementar esta tecnología en su respectiva área debido a que aún se ha desarrollado un bajo número de proyectos relacionados a la analítica avanzada que se puedan contar como casos de éxito, con el aumento de la adopción al uso de estas tecnologías debería aumentar la confianza en su aplicación.

Empresas como Minera los Pelambres y Minera Escondida han formado áreas de análisis de datos para la generación de modelos predictivos pudiendo generarse una reticencia a incorporar esas capacidades desde agentes externos y se podría esperar una tendencia desde las empresas privadas a formar sus propias áreas de análisis, que a su vez tienda a mover el mercado de empresas públicas como CODELCO de formas sus propias áreas. Del análisis realizado se concluye que se tiene un **alto poder de negociación desde los clientes**.

3.1.3 Poder de negociación de los proveedores

Los principales proveedores que sirven de insumo para otorgar el servicio son la utilización de un espacio de trabajo en donde existe un mercado altamente competitivo que le otorga un bajo poder de negociación como proveedor del servicio, también para la mantención del sitio web se necesita contratar los servicios de un desarrollador full stack donde se tiene una alta demanda de estos servicios en el mercado así como una alta oferta que además se agrega a la posibilidad de contratar estos servicios fuera del país al ser servicios digitales lo que aumenta la competitividad del mercado, sumado a que la

mantención del sitio se desarrolla en dos períodos acotados (4 meses y medio) correspondientes a la evaluación del proyecto por lo que no se considera una alta demanda por los servicios de desarrollo. Se concluye en base al análisis que los proveedores presentan un **poder de negociación bajo**.

También es necesario incluir que otro proveedor de relevancia viene dado por la contratación de ingenieros analistas de datos que presenten conocimientos en el área de mantenimiento. Se considera que existe una baja cantidad de ingenieros con ese conocimiento específico en Chile, pero existe la posibilidad de educar a ingenieros con conocimiento en análisis de datos de otras carreras como ingeniería civil industrial, ingeniería civil en computación o ingenierías afines para aplicar modelos de análisis en otros campos como la ingeniería mecánica. Para el caso de la contratación de ingenieros se considera que como proveedores presentan un **poder de negociación medio**. Finalmente, se concluye que el **poder de negociación de los proveedores es medio-bajo**.

3.1.4 Amenaza de servicios sustitutos

Las empresas que se pueden considerar como servicios sustitutos serían las que otorguen servicios de consultoría en análisis predictivos pero no para el caso del mantenimiento de equipos con la utilización de herramientas de inteligencia artificial o análisis a través de tecnologías de Big Data.

Un ejemplo es la empresa “Microsystem” que cuenta con un equipo de expertos en la construcción de modelos predictivos en distintas industria, incluyendo áreas comerciales y de inteligencia de clientes, modelos de riesgo en ámbitos comerciales, operacionales y financieros, modelos predictivos aplicados a la detección de fraude, procesos industriales y productivos con la utilización de algoritmos de modelación matemáticas, machine learning e inteligencia artificial hasta técnicas avanzadas de redes neuronales.

Otro caso es la empresa “C+C 1” que utiliza técnicas de analítica avanzada e inteligencia artificial para el desarrollo de sistemas expertos, modelos de decisión, análisis de riesgos, predicción de la demanda, planificación de la producción y fabricación, planificación de la cadena de suministro, planificación comercial y marketing, entre otras áreas de aplicación. También la empresa “Alteryx” ofrece servicios de manejo de datos con modelos que se aplican para mejorar la retención de clientes o aumentar la tasa de conversión en campañas de marketing

Como se puede apreciar en los ejemplos anteriores las áreas de aplicación de la analítica avanzada y las técnicas de machine learning e inteligencia artificial son amplias en la industria. A pesar de los casos revisados hoy no existe una gran oferta en el mercado para estos servicios por lo que el **poder de negociación de los servicios sustitutos es bajo**.

3.1.5 Amenaza de entrada de nuevos competidores

El uso de las técnicas de analítica avanzada aumenta día a día en conjunto con el uso de las tecnologías de internet de las cosas y big data, en donde según un estudio de la empresa Boston Consulting Group se espera que el mercado del mantenimiento predictivo aumente en un 30% para el año 2020 (BCG, 2019).

Según la plataforma Markets and Markets el mercado global de la analítica avanzada tuvo un tamaño de USD\$7,04 billones el año 2014 y para el año 2019 alcanzó un tamaño de mercado de USD\$29,53 billones, de donde la tasa de crecimiento anual fue de un 33,2% durante el período de estimación.

De acuerdo a un reporte publicado por Credence Research, Inc. se espera que las tecnologías de analítica avanzada alcancen los USD\$105,08 billones para el año 2027 con una tasa de crecimiento anual de 12,3% para el período 2019-2027.

De las cifras expuestas anteriormente es posible apreciar que la industria viene creciendo hace años y se espera que siga creciendo en los próximos años, a pesar de lo anterior es un mercado emergente en el rubro minero de aquí se espera un **nivel alto en la entrada de nuevos competidores**.

3.1.6 Conclusiones Fuerzas de Porter

A pesar de que la competitividad en el mercado no ha alcanzado su peak se tiene que existe una rivalidad entre los competidores de nivel medio debido a la existencia de áreas de analítica avanzada al interior de las organizaciones así como la existencia de organizaciones en el mercado que ofrecen un servicio de características similares. Aún cuando la incorporación de la tecnología en el mercado va en aumento existe una reticencia al desarrollo de soluciones debido a la componente innovadora de los proyectos que no cuenta con una amplia difusión de casos de éxito. Del análisis se concluye que el poder de negociación de los clientes es alto. Para el análisis del poder de negociación de los proveedores, es importante destacar la necesidad de contar con capital humano calificado y con conocimientos tanto en el análisis de datos e ingeniería mecánica. Se cuenta también con la posibilidad de educar a profesionales de otras áreas afines como la ingeniería industrial se puede tener un poder de negociación medio - bajo de parte de los proveedores. Para los servicios sustitutos en el mercado se tienen casos de aplicación en otras industrias como el retail, marketing, cadena de suministro, en donde cabe destacar que el número de organizaciones que ofrecen un servicio de analítica avanzada no ha logrado convertirse en un mercado competitivo con la presencia de varias empresas en el rubro, por lo tanto el poder de negociación de los servicios sustitutos es bajo. Según las estadísticas el mercado de la analítica avanzada viene creciendo desde hace una década y para la período 2019-2027 se espera un crecimiento del 12,3% anual es por esto que la amenaza ante la entrada de nuevos competidores es alta.

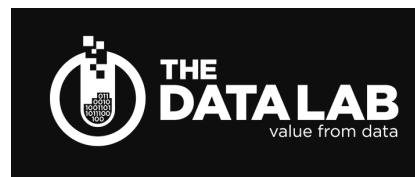
3.2 Benchmarking

En esta sección se realiza un proceso de benchmarking, en el que sus principales objetivos son identificar los procesos que han llevado a otras empresas a obtener un posicionamiento en el mercado. También se considera importante el entender cuáles son los puntos donde resalta el servicio que otorgan, entendiendo el factor diferenciador que contienen sus negocios.

El alcance del estudio será el análisis de 3 organizaciones externas que entreguen un servicio de consultoría en el uso de analítica avanzada para el mantenimiento de máquinas para la industria minera.

La búsqueda de información se realizará a través de fuentes secundarias, por lo que se excluye de este análisis el testeo a través de la contratación de servicios, o a través de la realización de entrevistas o encuestas a integrantes de las organizaciones de interés, así como a los clientes de las empresas donde se concentre el estudio.

3.2.1 The Data Lab



Año de fundación	Ubicación	Fuente de información	Equipo
2014	Edimburgo, Escocia	www.thedatalab.com/predictive-maintenance/	11-50 personas

Data Lab es un centro de innovación que direcciona su trabajo en apoyar a la industria de escocia a capitalizar las oportunidades de crecimiento del mercado en la ciencia de los datos. También se enfoca en la generación de valor desde la data facilitando la innovación colaborativa en la entrega de habilidades y capacidades para el fortalecimiento de la comunidad de ciencia de los datos.

La estrategia de consultoría propuesta por The Data Lab se centra en 5 etapas, donde la primera de ellas se concentra en identificar que proceso del negocio se quiere mejorar y cuáles son los resultados que se espera obtener, luego se considera la búsqueda del equipo que tenga las habilidades y capacidades adecuadas en todas las fases siguientes del proceso, la etapa de construcción de un modelo piloto de predicción, su escalamiento y finalmente el integrar los modelos del piloto en el negocio. A continuación se entrega un detalle de cada una de las etapas del proceso propuesto.

1. Identificación de los procesos de negocio candidatos: Es importante decidir que procesos se quieren mejorar y los resultados que se espera alcanzar, dado que cabe destacar que no todos los problemas de mantenimiento pueden ser

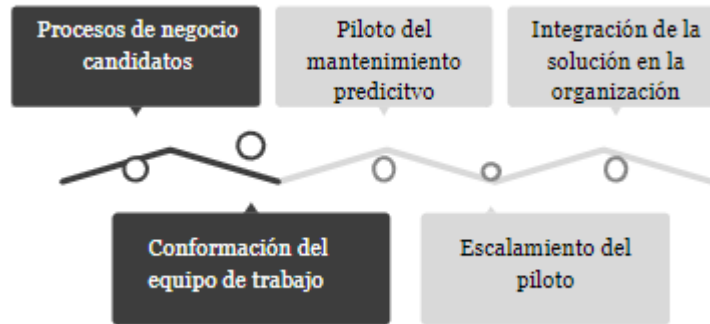
analizados. Un proceso en particular es seleccionable cuando cuente con el potencial de ser predecible a través de los modelos de analítica y que a su vez cuente con una serie de acciones que puedan ser tomadas para prevenir su falla una vez que sea detectada. Es vital para el desarrollo de modelos de predicción que el sistema cuente con un historial de registros operacionales tanto de resultados positivos como fallas. Se debe disponer también de un enfoque desde el negocio, desde el entendimiento del problema y los procesos internos asociados con la finalidad de dar soporte en la interpretación de los datos.

2. **Conformación del equipo de trabajo:** Como en toda iniciativas es vital poder contar con las habilidades y capacidades necesarias en cada etapa del proyecto. Se considera necesario identificar cada uno de los stakeholders a lo largo de la organización que se encuentren involucrados en procesos de mantenimiento predictivo y que se vean favorecidos de su implementación, entre los que cabe destacar las áreas de operaciones, ingeniería, mantenimiento, TI y gestión ejecutiva. Las principales habilidades que se requieren del equipo inicial son una mentalidad de mejora constante, presentar orientación al detalle, tener capacidad de resolución de problemas y familiaridad con los equipos y sistemas.
3. **Piloto del mantenimiento predictivo:** Un piloto de mantenimiento predictivo debería contar con las etapas de inventario y adquisición de data, pre-procesamiento de los datos, desarrollo e iteración de los modelos y despliegue e integración de los modelos. En primer lugar se debe identificar todas las fuentes de data que puedan relacionarse al proceso de interés, incluyendo su almacenamiento en los sistemas computarizados de mantenimiento, esperando contar con data de un período de 1 a 2 años, teniendo un etiquetado de la fecha en cada dato. Si no se tiene suficiente data es posible generar data de un modelo ciber físico de la máquina, variando los parámetros de los valores para generar las condiciones de éxito y falla del sistema. Luego es importante pre procesar los datos removiendo datos outlier y de tipo ruido de los conjunto de datos, en algunos datos reemplazar anomalías con valores aproximados o el trabajo con conjuntos más pequeños. En la generación de modelos se analiza la búsqueda de patrones, con la finalidad de encontrar parámetros de entrenamiento de los modelos. El siguiente paso es entrenar los modelos donde se clasifican los datos entre saludables o fallidos, generando árboles de decisión en torno a las condiciones de falla que se quieren predecir. Finalmente, se quiere observar cómo los modelos trabajan en un entorno de operación en vivo de modo que los modelos se alimentan con data en vivo y se logra monitorear la respuesta de los modelos para una complementa implementación.
4. **Escalamiento del piloto:** Una vez que se ha completado el piloto, el siguiente paso es comunicar los resultados a los distintos stakeholders, para obtener soporte y momentum en el escalamiento de la solución. Los resultados del piloto deben validar el caso de negocio planteado inicialmente, de donde podría surgir interés por realizar nuevos casos de negocio y modelos de piloto para otros procesos. Es importante en esta etapa observar los resultados de la implementación con la

finalidad de priorizar los problemas donde tiene mayor impacto la implementación del modelo.

- Integración de la solución en la organización: Es clave poder integrar la solución del piloto lo que conlleva a su vez diversos cambios culturales, de procesos, recursos y tecnologías a lo largo de la organización aún luego de su funcionamiento inicial.

Ilustración 10: Metodología de trabajo de The Data Lab para la implementación de mantenimiento predictivo.



3.2.2 Consultora Mainnovation



Año de fundación	Ubicación	Fuente de información	Equipo
2010	Dordrecht, Holanda	https://www.mainnovation.com/publications/predictive-maintenance-4-0-3/	50-100 personas

Mainnovation es una firma de consultoría que se especializa en el mantenimiento y la gestión de activos. Se encarga de apoyar a compañías que presentan una alta cantidad de activos físicos con la finalidad de que puedan profesionalizar sus capacidades técnicas en la gestión de activos, junto con conducir mejoras en los modelos de control económico, mejores prácticas en los procesos de trabajo, modernización de sistemas TI y gestión de métricas KPI.

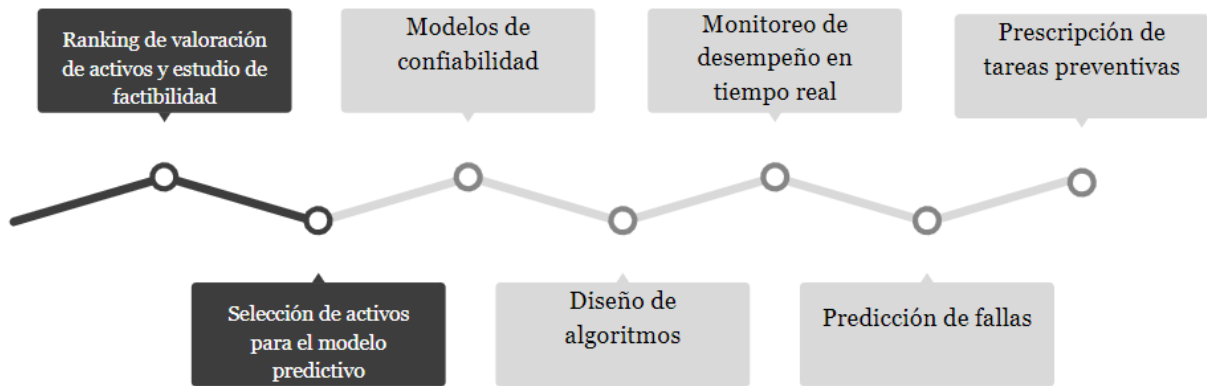
El servicio de consultoría que ofrecen se basa en siete etapas como lo son ranking de valoración de activos y estudio de factibilidad, selección de activos para el modelo predictivo, modelos de confiabilidad, diseño de algoritmos, monitoreo de desempeño en

tiempo real, predicción de fallas y prescripción de tareas preventivas. A continuación se describe en mayor detalle cada una de las etapas.

1. **Ranking de valoración de activos y estudio de factibilidad:** Se identifica los activos para los que implementar modelos predictivos es factible tanto económicamente como desde la posibilidad de aumentar significativamente la confiabilidad del activo. Solamente para los activos críticos se justifica la inversión requerida. En adición, solamente los activos de los que se puede obtener la data necesaria se consideran como candidatos. La selección de activos será de ayuda para construir un caso inicial de negocios como parte de un estudio de factibilidad.
2. **Selección de activos para el modelo predictivo:** Es importante mantener los trabajos de forma que puedan ser gestionables y no conducir un análisis sobre la flota completa de la fábrica. Es necesario seleccionar los activos que puedan ser analizados con proyectos pilotos inicialmente, a fin de obtener aprendizaje para el lanzamiento final de cada conjunto de modelos en cada activo.
3. **Modelos de confiabilidad:** Se utiliza un análisis de causa raíz (por sus siglas en inglés RCA) y el análisis de modos de fallas y efectos (por sus siglas en inglés FMEA) para cada activo a fin de dirigirse en la dirección correcta. De aquí es importante identificar la data necesaria para monitorear las causas raíces y los modos de falla, así como los sensores asociados para relacionar las causas raíces con los modos de falla. En esta etapa se suma el trabajo colaborativo entre los científicos de datos y los ingenieros de confiabilidad.
4. **Diseño de algoritmos:** Aquí se encuentra la esencia del análisis de datos, dado que escoger el algoritmo adecuado determina la calidad de las predicciones. Lo que debería resultar sencillo en el diseño de un algoritmo efectivo si se cuenta con un modelo de confiabilidad apropiado.
5. **Monitoreo de desempeño en tiempo real:** En esta etapa el modelo cobra vida, el algoritmo se encarga de procesar los datos provenientes de los sensores conectados a los activos de interés, pero aun así el historial de fallas del activo se considera dentro del entorno que provee la data del modelo. En esta etapa es posible monitorear y visualizar el desempeño de los activos en tiempo real.
6. **Predicción de fallas:** En esta etapa los algoritmos comienzan a predecir fallas y se procede a actuar en torno a esas predicciones ya sea deteniéndolas o tomando las primeras alertas como entrenamiento a la predicción del algoritmo hasta que ajuste su nivel de predicción. En el caso en que los equipos de mantenimiento tengan poca experiencia con el análisis de datos, siendo en este último caso que los modelos de predicción correrán en paralelo a los procedimientos existentes a fin de que puedan integrarse a las labores de forma sustancial y se puedan tomar acciones en base a las predicciones aumentando cada vez en mayor medida el nivel de confiabilidad en los sistemas de predicción.

7. Prescripción de tareas preventivas: A un alto nivel de implementación los algoritmos de predicción no sólo deberían predecir fallas o cuando estás ocurrirán sino que también contar con una librería de tareas de mantenimiento con la finalidad de prescribir acciones a realizar que eviten tal falla.

Ilustración 11: Metodología de trabajo de la consultora Mainnovation para la implementación de mantenimiento predictivo.



3.2.3 Hitachi Consulting



Año de fundación	Ubicación	Fuente de información	Equipo
2000	Dallas, Estados Unidos	www.hitachivantara.com/en-us/pdf/hcc/point-of-view/predictive-maintenance.pdf	4000 personas

Hitachi consulting es una firma de consultoría internacional en tecnología y gestión que ofrece servicios de consejería en estrategia digital, construcción de infraestructura en datos para la toma de decisiones basadas en los datos, modernización de servicios en la nube, instalación y modernización de aplicaciones SAP y servicios de análisis de data a través de la construcción de modelos de inteligencia artificial.

El marco de trabajo que proponen para la entrega del servicio consta de cinco etapas como lo son la consultoría operacional para la construcción del caso de negocio, la fase de expertise en la tecnología operacional, la gestión del cambio en la organización, expertise en la ciencia de los datos y asociación con el ecosistema, a continuación se entrega un detalle de cada etapa.

1. Consultoría operacional: Se comienza por identificar las métricas e indicadores de valor en las labores de mantenimiento, como especificar los KPIs que a través de metas cuantificables. Entre las métricas más importantes para el mantenimiento se encuentra la efectividad general de los equipos (por sus siglas en inglés OEE), tiempo medio entre reparaciones (por sus siglas en inglés MTTR) y tiempo promedio antes de falla (por sus siglas en inglés MTBF). También se considera relevante comprender los modos de falla a través del Análisis de los modos, los efectos, las causas y las criticidades de las fallas (por sus siglas en inglés FMECA) y el cálculo posterior número de prioridad por riesgo (por sus siglas en inglés RPN), esto requiere un conocimiento intensivo de las labores de mantenimiento y los registros históricos para identificar los indicadores de valor para el negocio. Luego se realiza un análisis de cost beneficio para calcular sobre cada activo el retorno sobre la inversión del programa de mantenimiento predictivo y así definir sobre que equipos se puede llevar a cabo por su valor económico.
2. Expertise en la tecnología operacional: En esta fase se hace necesario el trabajo colaborativo con expertos en mantenimiento que pertenezcan a la organización con la finalidad de reconocer la anatomía de la instrumentación para entender el impacto de las fallas en los activos, la frecuencia entre esas fallas y la factibilidad de detectar los diversos modos de falla. Para entender los modos de falla se requiere evaluar los tipos de sensores y la relación que tienen en la detección de ciertos modos de falla. También se evalúan las condiciones de operación, las condiciones ambientales, la usabilidad de las máquinas, dado que los algoritmos más efectivos consideran el contexto tan bien como la data de los sensores.
3. Gestión del cambio organizacional: El mantenimiento predictivo no se debe tratar como una isla dado que se relaciona con producción, gestión de inventario, calidad del servicio y servicio al cliente. Para una implementación eficiente el programa de mantenimiento predictivo debe ser capaz de reducir problemas de calidad, mejoras a la producción y aumentar la seguridad de los empleados, por lo que integrar un programa de mantenimiento predictivo requiere gestión del cambio a través de la comunicación y medición de los resultados obtenidos a las diversas áreas que impacta.
4. Expertise en la ciencia de los datos: A pesar que la creación de modelos predictivos y la mejora de la efectividad obtiene toda la atención en el área de mantenimiento, se debe considerar que el verdadero valor emerge una vez que se despliegan los modelos en producción e integrándose con las aplicaciones del negocio haciendo un llamado a tomar acción. Al aplicar ciencia de los datos en el mantenimiento predictivo se obtienen generalmente resultados contra intuitivos con la experiencia que siempre ha guiado las decisiones de mantenimiento de modo tal que se hace importante que los modelos de inteligencia artificial sean capaces de explicar la racionalidad detrás de las recomendaciones que provee. Es importante a su vez poder renovar periódicamente los modelos de modo de que puedan incorporar nueva información contextual.

5. Asociación con el ecosistema: Los programas de mantenimiento predictivo requieren expertise especializada en sensores, internet de las cosas, arquitecturas de almacenamiento y ciencia de los datos entre otros, por lo que un enfoque de cooperación con el entorno es clave dado que las tecnologías evolucionan rápidamente, en áreas como la inteligencia artificial, visión computarizada o aplicaciones de realidad aumentada.

Ilustración 12: Metodología de trabajo de Hitachi consulting para la implementación de mantenimiento predictivo.



3.2.4 Conclusiones benchmarking

Luego de realizar una evaluación de los procesos que siguen los distintos servicios con mayor reconocimiento en la industria del mantenimiento predictivo es posible extender una línea conductora entre los procesos que poseen, destacando en un inicio la importancia de considerar las variables económicas asociadas a cada activo de modo que se pueda establecer una evaluación costo beneficio o de retorno sobre la inversión para la selección de los activos en que se apliquen los programas de mantenimiento predictivos, acompañado de un análisis de modos de falla y nivel de criticidad del activo, por lo que se establece una evaluación inicial sobre los activos que pueda aportar mayor valor sobre el negocio la aplicación de la tecnología. En segundo lugar se evalúan las tecnologías sobre sensores y la puesta en marcha de los modelos en tiempo real para finalmente integrar la solución entre las diversas áreas de impacto que tenga el programa de mantenimiento predictivo.

Del análisis de benchmarking se puede observar que en su mayoría los procesos coinciden entre los distintos servicios que se ofrecen en el mercado y se logra establecer un punto de inicio para la futura construcción de un prototipo en el siguiente capítulo. Aún así resta realizar un caso de aplicación en un área particular de la industria minera que forma parte de lo que se pretende analizar en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4. PROTOTIPO

En este capítulo se desarrolla la descripción de las principales características que dan forma a una solución de analítica avanzada en equipos mineros, para ellos se introduce el tipo de proceso minero en que se sitúa y el tipo de maquinaria involucrada. Luego se describen las principales técnicas para la obtención de información en el caso de motores diesel. Para la generación de modelos de analítica avanzada se clasifican en tres categorías según su uso, los algoritmos utilizados para la detección de una anomalía o falla, la clasificación de la causa de una falla y la predicción del tiempo de vida remanente en sus componentes. Finalmente se entrega la propuesta metodológica derivada de la validación de la DEMO.

4.1 Proceso minero

Para el estudio se evalúa el caso de una mina a rajo abierto, en donde los principales procesos son; 1) Extracción; donde se realiza la extracción del mineral desde la mina hasta la planta de procesos, 2) Procesamiento; donde se reduce el tamaño del mineral a través de métodos físicos a fin de liberar el mineral de interés, para finalmente aumentar la concentración del mineral de interés mediante métodos físico-químicos, 3) Fundición; que consiste en la separación de los metales contenidos en los concentrados mediante un proceso pirometalúrgico, 4) Refinación; en este proceso se obtienen los metales de interés con un alto nivel de pureza que permite su utilización industrial.

Debido al uso intensivo de métodos físicos se presenta interés en el proceso de extracción que a su vez se compone de los subprocesos de perforación, carguío y transporte, de donde se enfoca el análisis en el subproceso de transporte por el uso intensivo de sistemas rotores.

4.2 Maquinaria involucrada en proceso de transporte

Los principales equipos de transporte sin camino fijo para la minería a cielo abierto son los camiones. Los camiones mineros están diseñados para acarrear sobre 300 toneladas de material en cada ciclo de transporte, lo que genera un bajo costo de operación y alcanzan velocidades de desplazamiento sobre los 50 km/hora. Para ellos la principal componente que requiere mantención son los motores Diesel que utilizan, los que a su vez poseen distintos componentes; block, cigueñal, cojinete de bancada, bielas, pistones, anillos de pistón, camisas, culata y cárter. El block es la estructura donde se montan las otras componentes del motor. El cigueñal permite el cambio de dirección del movimiento de los pistones hacia un movimiento rotatorio. El cojinete de bancada contiene un componente giratorio que a su vez permite el paso de aceite lubricante. Las bielas se encargan de conectar el cigueñal con los pistones para transmitir fuerza entre ellos. Los pistones son componentes que se desplazan axialmente al interior de la camisa. Los anillos de pistón permiten el desplazamiento de los pistones al interior de la camisa. Las camisas son los cilindros en cuyo interior se desplazan los pistones. La culata se ubica en la parte superior del motor y se encarga de sostener las válvulas e

inyectores. El cárter es el recipiente que permite almacenar el aceite lubricante del motor.

4.3 Tipos de técnicas para la detección de fallas y condición de motores

Actualmente existe una amplia variedad de técnicas que pueden ser utilizadas como parte de un programa de mantenimiento predictivo. El análisis de vibraciones es generalmente una componente clave en la mayoría de los programas de mantenimiento, aun así no puede proveer toda la información requerida para un programa de mantenimiento predictivo exitoso. Un programa de mantenimiento predictivo debe incluir otras técnicas de monitoreo y diagnóstico, entre esas técnicas se incluye monitoreo de vibraciones, termografía, tribología, inspecciones visuales, ultrasonidos como las principales técnicas (moblely, 2002). La importancia de estas técnicas reside en que son la fuente de información que se levanta acerca de la condición de las componentes de los equipos. A continuación se entrega un detalle de cada una a fin de entender su relevancia y aplicación en un programa de mantenimiento predictivo.

4.3.1 Análisis tribológico

La tribología se refiere a la dinámica en el diseño y operación de las estructuras rodamiento-lubricación-rotor. Las dos técnicas usadas para el mantenimiento predictivo son análisis del aceite de lubricación y análisis de partículas de desgaste.

Para la técnicas de análisis del aceite de lubricación se determina la condición del aceite lubricante en el equipo mecánico, aunque no es una herramienta para determinar potenciales modos de falla, dado que no permite identificar un específico modo de falla o la causa raíz de ella. Su uso es extendido para la conservación y extensión de la vida útil de los lubricantes (moblely, 2002).

La técnica de análisis de partículas de desgaste se relaciona con el análisis de aceite para el estudio de las partículas contenidas en las muestras de aceite lubricante. Del análisis se deriva información directa acerca de la condición de desgaste de la maquinaria, las partículas contenidas pueden proveer información significativa respecto a la condición de la máquina. La información derivada del estudio se relaciona con la forma de las partículas, su composición, tamaño y cantidad.

Las tres mayores limitaciones asociadas con el uso de análisis tribológico en un programa de mantenimiento predictivo vienen dadas por el costo de los equipos, capturar las muestras de aceite adecuadas y la interpretación de la data.

4.3.2 Análisis termográfico

La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo usada para monitorear la condición de la maquinaria, utilizando instrumentación diseñada para monitorear la emisión de energía infrarroja (la temperatura de la superficie) a fin de determinar la

condición de operación del equipo. La tecnología infrarroja se basa en el hecho de que todos los objetos tienen temperaturas sobre cero y emiten energía o radiación. De todas formas su uso es complicado dado que existen tres fuentes de energía que pueden ser detectados en un objeto: la energía emitida por el objeto mismo, la energía reflejada por el objeto y la energía transmitida por el objeto. Sólo la energía emitida es importante en un programa de mantenimiento predictivo, dado que las energías reflejadas y transmitidas distorsionan la data adquirida (moblely, 2002).

Existen tres tipos de instrumentos usados como parte de un programa de mantenimiento efectivo, termómetros infrarrojos, scanners de línea y sistemas de imagen infrarrojo. Los termómetros infrarrojos son diseñados para proveer la temperatura actual de la superficie, en un punto de la maquinaria. Los scanners de línea proveen unidimensionalmente el scanner de línea de comparación de la radiación existente, con una amplitud del área de la máquina. Los sistemas de imagen infrarrojo proveen el promedio de las emisiones infrarrojas para máquinas completas, funcionando como una video cámara.

4.3.3 Análisis del monitoreo de vibraciones

Es una técnica utilizada para identificar y predecir anomalías mecánicas en maquinaria, midiendo la vibración e identificando las frecuencias involucradas. La vibración es registrada por un acelerómetro y los datos son procesados por un analizador de espectro. La aplicación de esta técnica en el mantenimiento predictivo mejora en gran medida la eficiencia y la fiabilidad en la maquinaria. Casi todas las fallas que puede tener una máquina se pueden identificar o al menos sospechar con el análisis de vibraciones, sólo en ocasiones se requieren métodos complementarios para confirmar su diagnóstico (moblely, 2002). Cabe destacar que todos los equipos en movimiento generan un perfil de vibración o huella, que refleja sus condiciones de operación las que pueden ser recogidas por el análisis de vibraciones.

4.3.4 Análisis de ultrasonido

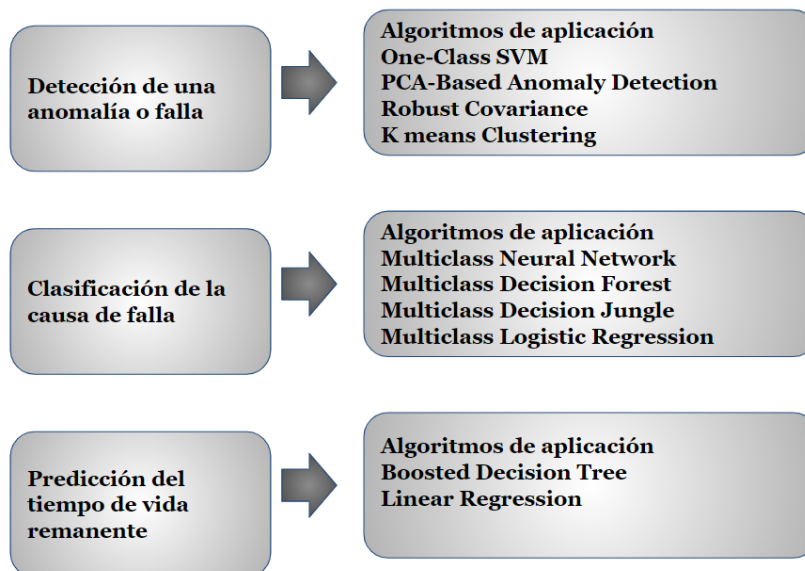
Ultrasonido al igual que el análisis de vibraciones, es un subconjunto del análisis del ruido. La única diferencia entre ambas técnicas es la banda de frecuencia del monitoreo. En el caso del análisis de vibraciones, el rango de monitoreo es entre 1 Hertz y 30.000 Hertz, para el caso de ultrasonido el monitoreo de ruido es en una frecuencia superior a los 30.000 Hertz. Las frecuencias altas son útiles para seleccionar aplicaciones como la detección de fugas que generan una alta frecuencia de ruido causada por la expansión o compresión del aire, gases o líquidos mientras fluyen por los orificios. Como parte de un programa de mantenimiento predictivo integral, ultrasonidos deberían limitarse a la detección de ruidos anormales y fugas por su limitación en la banda sonora (moblely, 2002).

4.4 Algoritmos de análisis predictivo

Para la aplicación de analítica avanzada en el mantenimiento predictivo de motores se necesita en particular del uso de algoritmos de machine learning (como se describe a continuación) que vienen impulsadas por el uso de la data recogida por las técnicas anteriormente mencionadas de análisis tribológico, análisis termográfico, análisis del monitoreo de vibraciones y análisis de ultrasonido.

Para la aplicación de los algoritmos en el caso de motores diesel de camiones mineros es posible agrupar los algoritmos en tres categorías según su uso en el programa de mantenimiento predictivo. La primera categoría es “detección de una anomalía o falla” en donde los modelos generados por los algoritmos tienen la capacidad de detectar situaciones anómalas a través de los algoritmos One-Class Support Vector Machines, PCA-Based anomaly detection, Robust Covariance y K-means Clustering. La segunda categoría es “clasificación de la causa de falla” en donde los modelos indican cual es la causa más posible de falla en la componente del motor a través de los algoritmos Multiclass Neural Network, Multiclass Decision Forest, Multiclass Decision Jungle y Multiclass Logistic Regression. La tercera categoría es “predicción del tiempo de vida remanente (RUL por sus siglas en inglés)” en donde los modelos entregan el tiempo restante para que una componente falle a través de los algoritmos Boosted Decision Tree y Linear Regression (Reveco, 2019).

Ilustración 13: Algoritmos de aplicación en el mantenimiento predictivo de motores.



Fuente: Adaptación de Reveco, 2019

4.4.1 Machine Learning

Es la rama de las ciencias de la computación que permite programar las máquinas o computadoras de modo de que puedan ser capaces de aprender de un conjunto de datos. Las máquinas presentan tres formas en que pueden generar aprendizaje a partir de una serie de datos, clasificándose en aprendizaje supervisado, aprendizaje semi-supervisado y aprendizaje no supervisado. El aprendizaje supervisado se caracteriza porque la máquina genera aprendizaje a partir de varios casos con un resultado esperado para cada caso según cierto valor de entrada, por lo que el algoritmo se desempeña buscando la relación entre las variables de entrada y las variables de salida. El aprendizaje semi-supervisado se considera una composición del aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado dado que utiliza para su aprendizaje datos de entrenamiento etiquetados, a diferencia de los datos de testeo que se encuentran sin etiqueta. El aprendizaje no supervisado consigue generar aprendizaje con datos que se entregan de entrada sin resultados esperados (Smola & Vishwanathan, 2008).

4.4.2 Algoritmos para la detección de una anomalía o falla

La detección de una anomalía o de un dato que no es normal dentro de un conjunto de datos y se pueden encontrar algoritmos supervisados, semi-supervisados o no supervisados. Para el caso de los algoritmos supervisados el resultado de salida es una etiqueta binaria que indica los estados sano o anómalo a diferencia de los algoritmos no supervisados y semi-supervisados donde el resultado de salida o dato es un puntaje que indica el nivel de anormalidad del dato de entrada, aunque mediante la utilización de un límite de decisión (por su nombre en inglés threshold) se puede transformar en una etiqueta binaria. La aplicación de estas técnicas es de utilidad para la detección de anomalías o fallas en un motor mediante la toma de muestras o datos de su condición.

4.4.2.1 One Class Support Vector Machines

One Class Support Vector machines es un algoritmo supervisado, en el que se construye un conjunto de hiperplanos con alta dimensionalidad que se posicionan a la mayor distancia posible de los datos de entrenamiento, de modo que los hiperplanos cuentan con la capacidad de separar dos clases distintas de datos.

En el algoritmo se tienen datos de entrenamiento con los cuales se le enseña a reconocer la clase de datos “normales” y de igual forma tiene la capacidad de reconocer los casos “anómalos” (Microsoft, 2019).

4.4.2.2 PCA Based Anomaly Detection

El algoritmo Principal Component Analysis es una transformación lineal ortogonal, en la que se realiza una transformación de los datos hacia un nuevo sistema de coordenadas, teniendo en la primera coordenada los datos con mayor varianza de alguna proyección, la segunda mayor varianza en la segunda coordenada y así sucesivamente. Para la

detección de anomalías es que el algoritmo se entrena en primer lugar sólo con la clase de datos “normal” a fin de que sea capaz de reconocer sus propiedades. Luego el algoritmo aplicando métricas de distancia es capaz de determinar los datos que se diferencian de la clase “normal”. El resultado que entrega el algoritmo es un puntaje de anomalía, teniéndose que para un mayor puntaje es más posible de que se trate de una anomalía (Microsoft, 2020).

4.4.2.3 K-means Clustering

K-means Clustering corresponde a un algoritmo no supervisado que tiene por función la conformación de distintos grupos de datos o “clusters” (por su nombre en inglés). Para ejecutar el algoritmo se debe indicar en primer lugar la cantidad de centroides (punto que es característico de cada cluster) que se desea observar. Luego el algoritmo tomando la distancia euclidiana entre los datos el algoritmo identifica los centroides de forma aleatoria y mediante iteraciones minimiza la distancia de los clusters a sus centroides (Microsoft, 2020).

4.4.2.4 Robust Covariance

El algoritmo comienza por interpretar las características del conjunto de datos de entrenamiento como una distribución conocida, donde mediante la distancia de Mahalanobis el algoritmo ajusta un elipsoide en el conjunto de datos “normales” e interpreta como “anómalos” los datos que se alejan del límite elíptico de tolerancia (Tancev, 2020).

4.4.3 Algoritmos para la clasificación de la causa de falla

Los algoritmos de clasificación se encargan de definir a qué conjunto o categoría pertenece un nuevo dato, contando ya con un conjunto de datos de los que ya se ha generado aprendizaje ya que contienen categorías a las que pertenecen. Por lo anterior se puede decir que los algoritmos de clasificación a su vez pertenecen a la categoría de algoritmos supervisados ya que se basan en resultados anteriores. Los algoritmos de clasificación son útiles en el caso de su aplicación al monitoreo de las condiciones de un motor dado que permiten establecer las causas de una falla en caso de su ocurrencia, dado que permite establecer la pertenencia a grupos de los datos que van entrando al sistema.

4.4.3.1 Multiclass Neural Networks

Multiclass Neural Networks corresponde a un algoritmo de aprendizaje supervisado que se compone en su forma más simple de un perceptrón que contiene a su vez señales de entrada, una neurona y valores de salida. La neurona se encarga de realizar una suma ponderada de los valores de entrada para así generar un valor de salida. En la primera fase de entrenamiento se utilizan datos de entrenamiento y de forma iterativa el algoritmo determina los pesos de las ponderaciones para obtener el valor deseado y para evitar que los datos se sobreajusten se utiliza un segundo grupo de entrenamiento llamado datos de validación (Microsoft, 2020).

4.4.3.2 Multiclass Decision Forest

Multiclass Decision Forest es un algoritmo de aprendizaje supervisado que se compone en su unidad más simple de árboles de decisión que tienen la capacidad de entregar valores de salida como una predicción. Los árboles de decisión se componen de nodos y aristas (ramas) y se llama hoja a un nodo que no tiene ramificaciones. En su iteración el algoritmo separa el problema de decisión en dos ramificaciones que representan cada decisión, reduciendo el problema a decidir. Finalmente se toma una ponderación de todas las predicciones realizadas para generar una predicción (Microsoft, 2020).

4.4.3.3 Multiclass Decision Jungle

Multiclass Decision Jungle es un algoritmo de aprendizaje supervisado que al igual que Random Forest se compone de árboles de decisión que reciben el nombre de DAGs (de sus siglas en inglés directed acyclic graphs). Se tiene como principal diferencia entre ambos algoritmos el que los nodos en Decision Jungle pueden venir de diversos nodos y no sólo de una ramificación como el caso de Random Forest. En base a esta diferencia es que el algoritmo Decision Jungle es significativamente más eficiente que Random Forest (Microsoft, 2019).

4.4.3.4 Multiclass Logistic Regression

Multiclass Logistic Regression es un algoritmo de aprendizaje supervisado. Se tiene que para un conjunto de datos de entrenamiento, la regresión se encarga de asignarle un puntaje a cada clase y para cada dato de entrada nuevo se calcula la probabilidad de que se encuentre en cierta clase, prediciendo finalmente la clase con mayor probabilidad y de ese modo retorna el valor de la clase a la que pertenece (Microsoft, 2019).

4.4.4 Algoritmos para la predicción del tiempo de vida remanente (RUL)

En este caso los algoritmos utilizados son los de regresión que permiten identificar la relación entre dos variables o determinan el ajuste de los datos de entrada para determinar su relación con alguna otra variable. Los algoritmos de regresiones son algoritmos de aprendizaje supervisado y tienen la capacidad de predecir el valor de una o más etiquetas de valores continuos. Para su aplicación en el caso de motores resultan de utilidad para determinar cuál es el tiempo de vida remanente o antes de que falle una componente a través de mediciones en la condición de esa misma componente.

4.4.4.1 Boosted Decision Trees

Boosted Decision Trees es un algoritmo de aprendizaje supervisado que al igual que Random Forest agrupa un conjunto de árboles de decisión, teniendo como diferencia principal el método de Gradient Boosting. Este método construye un conjunto de árboles de decisión individuales, que se entrenan de forma secuencial de modo que cada nuevo árbol mejora los errores de los árboles anteriores. La predicción del modelo se obtiene

agregando las predicciones de todos los árboles individuales del modelo (Microsoft, 2019).

4.4.4.2 Linear Regression

Linear Regression es un algoritmo de aprendizaje supervisado en el que mediante los datos de entrenamiento se genera un modelo predictivo o combinación lineal, que relaciona dos variables. Para el entrenamiento del modelo el algoritmo se encarga de ajustar las distancias entre los datos de entrenamiento y la curva ajustada.

4.5 Propuesta metodológica de aplicación

A continuación se entrega una aproximación de las etapas que contiene un servicio de consultoría basándose en la Demo realizada.

4.5.1 Consultoría operacional

Es importante identificar los indicadores correctos para medir los objetivos del negocio en el programa de mantenimiento predictivo, ya que no hacerlo podría significar una equivocación desde el inicio. Por lo que para conducir una correcta evaluación de las métricas de mantenimiento se debería incluir:

- Las métricas (KPI por su siglas en ingles de Key Performance Indicator) más adecuadas son las que logran impactar y medir objetivos. Entre las métricas cabe destacar la eficiencia general de los equipos (OEE por su siglas en inglés), el tiempo promedio de reparación (MTTR por sus siglas en inglés), el tiempo promedio antes de falla (MTBF por su siglas en inglés) y la efectividad del mantenimiento.
- Realización de una evaluación comprehensiva de los modos de falla, efectos y un análisis de su criticidad (FMECA por su siglas en inglés) que es una metodología que permite identificar y analizar todos los modos de fallos potenciales en las diferentes partes de un sistema, sus efectos y como mitigar sus efectos en el sistema. También posteriormente se realiza el cálculo del número de prioridad de riesgo (RPN Risk Priority Number) que busca ser una métrica de evaluación de riesgo. Lo anterior requiere una evaluación intensiva y un conocimiento intensivo de los anteriores mantenimientos.

Un error común en los programas de mantenimiento predictivo es tratar todos los casos con la misma estrategia de mantenimiento y con la finalidad de evitar este error, es necesario separar los costos del mantenimiento predictivo en un análisis costo beneficio para la construcción de un caso de negocio.

4.5.2 Análisis de la tecnología operacional

La tecnología operacional es parte vital de los programas de mantenimiento predictivo, es una de las razones por las que la experiencia de los mantenedores senior es altamente

preciada, por lo que se hace necesario contar con los distintos tipos de tecnología operacional y expertise de parte del equipo de evaluación:

- Anatomía e instrumentación de todos los activos, de donde alguien del equipo debe entender el impacto en costos de las fallas, su rendimiento y calidad, la frecuencia de las fallas y la factibilidad de detectar varios tipos de falla.
- Entendimiento acerca de la distribución de sensores que permite detectar fallas, por lo que de parte del equipo se hace necesario entender la física de cada componente. Por ejemplo en el monitoreo de vibraciones es útil para la detección de ciertos problemas, pero no en el caso de pérdida de conexiones eléctricas.
- Es importante entender el contexto operacional, tal como las condiciones ambientales, el entorno operacional, el modo y uso operacional, dado que los algoritmos más eficientes consideran tanto el contexto tan bien como la recopilación de datos de los sensores.
- El mantenimiento predictivo no es una isla por si mismo, también se relaciona con producción, gestión del inventario y calidad. La integración del programa de mantenimiento predictivo con todas las otras funciones del negocio requiere de una efectiva gestión del cambio. Cada departamento que es afectado por el mantenimiento predictivo necesitan entender el impacto de estos programas en el funcionamiento normal, por lo que es necesario escoger los correctos KPI', con mediciones regulares a fin de compartir los resultados con las distintas áreas involucradas.

4.5.3 Análisis de datos

Para la realización de un piloto de mantenimiento predictivo se propone seguir la siguiente hoja de ruta:

- **Inventario y adquisición de data:** Es necesario identificar todas las potenciales fuentes, tanto internas como externas, preparando su almacenamiento. El resultado será determinar que data es esencial para el piloto y cual es opcional. Es posible que los sistemas de mantenimiento actual cuenten con un período extendido de data (1-2 años). Si no existe data operacional es posible generar modelos físicos de las máquinas, que a través de la variación de parámetros a fin de obtener condiciones de falla y éxito.
- **Pre-procesamiento de data:** Combina varios conjuntos de datos con la finalidad de que sea posible su posterior análisis. es necesario en esta fase eliminar datos fuera de serie, preocuparse del correcto etiquetado en el caso que sea necesario. En algunos casos reemplazar anomalías con valores aproximados o disminuir el conjunto de datos.
- **Desarrollo e iteración de los modelos:** Es importante encontrar patrones de significancia. También identificar y extraer indicadores de condición de los datos

extraídos de los sensores. Conocidos como características, en donde en estas características los parámetros se ingresan como entradas a los modelos que se entrenarán. Luego se entrenan los modelos clasificando los datos según escenarios en condiciones de falla se intenta predecir la adaptación de las características en la simulación de los modelos.

- **Despliegue e integración de los modelos:** Se pretende observar como los modelos trabajan en el entorno operacional. Para esto se monitorea como reacciona con datos reales. Esto permitirá refinar el modelo e integrarlo en una completa implementación

4.5 Conclusiones del prototipo

El proceso minero en el que se circunscribe el análisis del prototipo es el de extracción, particularmente en el subproceso de transporte. Para el caso de la maquinaria involucrada se tienen los camiones mineros que tienen la capacidad de acarrear sobre 300 toneladas de material en cada ciclo de transporte. Para la extracción de data que permita alimentar los modelos predictivos se cuenta actualmente con una serie de técnicas para el monitoreo de condición de las componentes de un motor, entre ellas cabe mencionar el caso del análisis tribológico que toma análisis de aceite de lubricación y de las partículas de desgaste que contiene, por otro lado se tienen las técnicas de análisis termográfico, el análisis de monitoreo de vibraciones y el análisis de ultrasonido.

En la aplicación de los algoritmos a utilizar se definen tres categorías. La primera categoría es “detección de una anomalía o falla” en donde los modelos generados por los algoritmos tienen la capacidad de detectar situaciones anómalas a través de los algoritmos One-Class Support Vector Machines, PCA-Based anomaly detection, Robust Covariance y K-means Clustering. La segunda categoría es “clasificación de la causa de falla” en donde los modelos indican cual es la causa más posible de falla en la componente del motor a través de los algoritmos Multiclass Neural Network, Multiclass Decision Forest, Multiclass Decision Jungle y Multiclass Logistic Regression. La tercera categoría es “predicción del tiempo de vida remanente (RUL por sus siglas en inglés)” en donde los modelos entregan el tiempo restante para que una componente falle a través de los algoritmos Boosted Decision Tree y Linear Regression.

A modo de cierre del prototipo se entrega una propuesta metodológica que contendría un servicio de consultoría basado en la validación realizada en la DEMO, que cuenta con tres etapas, la primera de consultoría operacional en que se definen los objetivos del negocio, en segundo lugar un análisis de la tecnología operacional a fin de conocer el tipo de tecnología involucrada y la expertise del equipo de evaluación, para concluir con la etapa de análisis de datos que lleva a cabo la implementación de modelos predictivos en base a algoritmos de machine learning.

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se realiza un análisis de la componentes económicas del modelo de negocio final con la finalidad de determinar la factibilidad económica del negocio. Para dar cumplimiento a los objetivos se proyectará un flujo de caja a 3 años, tomando en consideración para el análisis la inversión inicial, el flujo de ingresos, la estructura de costos y el capital de trabajo. Para finalizar se diseña un análisis de sensibilidad con la finalidad de evaluar distintos escenarios de factibilidad económica determinados por cambios en las variables críticas del modelo.

5.1 Inversión inicial

La primera inversión que se realiza es la constitución legal de la empresa, escogiendo la opción de www.tuempresaenundia.cl donde no se presentan costos para la documentación, excepto para la firma del formulario de registro que presenta gastos notariales asociados con un valor que asciende a los \$2000 por socio, en este caso la empresa contiene dos socios ascendiendo el valor a \$4000 por ambas firmas electrónicas..

La segunda inversión viene asociadas a la creación de una plataforma digital para conectar con los clientes en la web. En primer lugar se compra un dominio web chileno “.cl” tomando en consideración 3 años de cobertura que se corresponde con el análisis económico que se realiza, se tiene la obtención del dominio por un monto de \$27.868¹. Luego se necesita del desarrollo de la página web lo que debería tomar un tiempo estimado de un mes y medio de trabajo, en una tarea que puede ser realizada por un ingeniero civil en computación o informática tomando como referencia un sueldo mensual promedio de \$1.089.553², resultando en \$1.634.330 para el desarrollo completo.

Tabla 5: Detalle de la inversión inicial necesaria.

Inversión	Monto
Constitución empresa	\$4000
Dominio web	\$27.868
Desarrollo web	\$1.634.330
Total	\$1.666.198

¹ "Tarifas vigentes <https://www.nic.cl/dominios/tarifas.html>.

² "Portal

www.mifuturo.cl:

<https://www.ayudameduc.cl/ficha/portal-wwwmifuturocl-claves-para-elegir-una-carrera>.

5.2 Estructura de costos

Los costos asociados a la implementación del negocio vienen dados principalmente por la contratación de personal, mantención del sitio web y arriendo de un espacio de trabajo.

Dentro de los costos asociados al primer año de funcionamiento del negocio, se consideran los costos asociados a la contratación de personal, tomando como referencia los ingresos brutos del tramo del 25% superior debido a que la empresa se posiciona en el sector industrial de consultoría en minería donde se tienen los sueldos más altos de la industria. Para el caso de un gerente general \$1.821.901 (valor mensual) y un gerente de tecnología \$1.467.972 (valor mensual), además para la mantención del sitio se consideran tres meses de contratación de un programador \$1.428.455 (valor mensual). Para la utilización de espacios se considera la contratación de dos cupos en un centro de Cowork, que es un lugar donde se comparte oficina con otras organizaciones que tiene un valor de \$280.000 mensual para dos personas en la empresa wework a enero de 2021. Para el hosting del sitio web se utiliza el plan Power para empresas con un almacenamiento de 100 GB de la compañía bluehosting, que tiene un valor anual de \$166.600³ (a marzo de 2021) si se contrata por tres años como sería el período de evaluación. Se considera dentro de los costos la compra de dos computadores Lenovo IdeaPad S340 a precio de enero 2021 para el uso de ambas gerencias. Para los cálculos posteriores se considera como costo acumulado el valor de \$48.590.421. Se considera la inclusión de un 25% sobre el costo acumulado como fondo de gastos generales que se puedan generar de la operación anual, de la visita a faenas donde se pueda incurrir en costos de seguros, prevención de riesgos, exámenes de salud, entre otros. Se añade un 10% sobre el costo acumulado para gastos de gestión comercial que se corresponden con la sección de canales del modelo de negocio (mailing, marketing digital, LinkedIn, presencia en congresos, seminarios, conferencias y ferias de la gran minería así como la presencia en revistas especializadas).

³ "Web Hosting Empresa -BlueHosting." <https://www.bluehosting.cl/web-hosting-empresa/>.

Tabla 6: Costes al año 1 de evaluación.

Detalle costo	valor anual
Gerente general	\$21.862.812
Gerente de tecnología	\$17.615.664
Mantenimiento sitio web	\$4.285.365
Computadores	\$1.299.980
Espacio de trabajo	\$3.360.000
Hosting sitio web	\$166.600
Gastos generales	\$12.147.605
Gestión comercial	\$4.859.042
Total	\$65.597.068

Para el segundo año dado que se considera entregar el servicio a un cliente más, es que se requiere la incorporación de un analista de datos más, de aquí se decide contratar a un ingeniero civil mecánico \$1.467.972 (valor mensual) y también dado que se comienza a entregar el servicio de plan global según la estimación de demanda, se procede a contratar a un psicólogo organizacional con 5 años de experiencia \$1.028.153 (valor mensual), finalmente se incorpora al equipo a un gerente comercial que vendría ligado a la carrera de ingeniería civil industrial \$1.821.901 (valor mensual). Para el caso de los sueldos del gerente general y el gerente de tecnología se realiza un aumento en los sueldos de un 50% respecto al sueldo percibido en el año 1. Para las oficinas se sigue considerando el trabajo en un espacio de cowork esta vez para 5 personas por un valor de \$700.000 mensual en la empresa wework a enero de 2021. Para el hosting se mantiene la prestación de servicios de la empresa bluehosting que tiene un valor anual de \$166.600 a enero de 2021. Se considera dentro de los costos la compra de tres computadores Lenovo IdeaPad S340 a precio de enero 2021 para el uso del analista de datos y el psicólogo organizacional. Para los cálculos posteriores se considera como costo acumulado el valor de \$121.550.596. Se considera la inclusión de un 25% sobre el costo acumulado como fondo de gastos generales que se puedan generar de la operación anual, de la visita a faenas donde se pueda incurrir en costos de seguros, prevención de riesgos, exámenes de salud, entre otros. Se añade un 10% sobre el costo acumulado para gastos de gestión comercial que se corresponden con la sección de canales del modelo de negocio (mailing, marketing digital, LinkedIn, presencia en congresos, seminarios, conferencias y ferias de la gran minería así como la presencia en revistas especializadas).

Tabla 7: Costos al año 2 de evaluación.

Detalle costo	valor anual
Gerente general	\$32.794.218
Gerente de tecnología	\$26.423.496
Gerente comercial	\$21.862.812
Analista de datos	\$17.615.664
Psicólogo organizacional	\$12.337.836
Computadores	\$1.949.970
Espacio de trabajo	\$8.400.000
Hosting sitio web	\$166.600
Gastos generales	\$30.387.649
Gestión comercial	\$12.155.060
Total	\$164.093.305

Para el tercer año se considera un aumento en el número de clientes, teniendo a su vez un aumento en el capital de trabajo esto se ve reflejado en la contratación de un analista de datos más, de aquí se decide contratar a un ingeniero civil mecánico \$1.467.972 (valor mensual). Para el caso de los sueldos del gerente general y el gerente de tecnología se aumenta su valor respecto al año 2 en un 40%, para el caso del analista de datos, el psicólogo organizacional y el gerente comercial se aumenta sus sueldos en un 40% respecto al año 2. Para el hosting se mantiene la prestación de servicios de la empresa bluehosting que tiene un valor anual de \$166.600 a enero de 2021. Para el espacio de trabajo dado que aun se tiene un número reducido de trabajadores se arrienda en un espacio cowork de la empresa wework un espacio para 6 personas por un valor de \$840.000 mensual. Se considera dentro de los costos la compra de un computador Lenovo IdeaPad S340 a precio de enero 2021 para el uso del analista de datos nuevo. Para los cálculos posteriores se considera como costo acumulado el valor de \$183.959.890. Se considera la inclusión de un 25% sobre el costo acumulado como fondo de gastos generales que se puedan generar de la operación anual, de la visita a faenas donde se pueda incurrir en costos de seguros, prevención de riesgos, exámenes de salud, entre otros. Se añade un 10% sobre el costo acumulado para gastos de gestión comercial que se corresponden con la sección de canales del modelo de negocio (mailing, marketing digital, LinkedIn, presencia en congresos, seminarios, conferencias y ferias de la gran minería así como la presencia en revistas especializadas).

Tabla 8: Costos al año 3 de evaluación.

Detalle costo	Valor anual
Gerente general	\$45.911.905
Gerente de tecnología	\$36.992.894
Gerente comercial	\$30.607.937
Analista de datos antiguo	\$24.661.930
Analista de datos nuevo	\$17.615.664
Psicólogo organizacional	\$17.272.970
Espacio de trabajo	\$10.080.000
Computador	\$649.990
Hosting	\$166.600
Gastos generales	\$45.989.973
Gestión comercial	\$18.395.989
Total	\$248.345.852

5.3 Flujo de ingresos

A continuación se desarrolla una base de estimación para el precio, la demanda y los ingresos percibidos por el modelo de negocio.

5.3.1 Precio

Para el precio se cuenta con la validación realizada por el segmento de cliente objetivo, esta cuenta con las siguientes 3 modalidades;

Plan freemium: Se realiza un prototipo funcional en base a la información histórica y monitoreo de condición, donde al considerarse primera vez que se realiza una simulación y modelamiento, el plan de cobro sólo considera los costos operacionales sin margen para la organización por un valor de \$32.798.534, esto con la intención de levantar información relevante y asegurar un beneficio posterior al cliente. El plan tiene una duración de 6 meses.

Plan básico: Cuando ya se tienen resultados de un prototipo funcional previo de la fase freemium, se procede a considerar los resultados obtenidos en base a las métricas de los KPI´s a fin de tener un conocimiento del impacto de la aplicación de los modelos en el

negocio. Para el plan básico se realiza un cobro fijo semestral de \$32.798.534 donde se consideran sólo los costos de operación. Al cobro se agrega un margen de ganancias equivalente al 150% de los costos, por un valor de \$49.197.801 para un período de duración de 6 meses, teniéndose como monto final semestral del plan básico un total de \$81.996.335.

Plan global: Se agrega un plan en el que se realiza un trabajo con foco en la gestión del cambio organizacional que va dirigido a los integrantes de las distintas áreas impactadas por la realización de los programas de mantenimiento predictivo. Para el cobro se tiene la base inicial del plan básico por \$81.996.335 semestral sumado a \$21.591.213 de la componente del servicio que va dirigida a la gestión del cambio organizacional. Para un valor total del plan global que viene dado por el monto semestral de \$103.587.548.

Para las tres modalidades de cobro se toma como referencia el valor presente al 19 de enero de 2021 en la moneda chilena \$CLP.

Tabla 9: Composición de los planes de precios.

Plan / duración	1° Semestre
Plan freemium	\$32.798.534
Plan básico	\$81.996.335
Plan global	\$103.587.548

5.3.2 Demanda

La demanda estimada para la entrega del servicio viene determinada por la capacidad y expertise que se cuenta en el negocio, donde se parte de la presunción que es la primera vez que se otorga un servicio de consultoría de parte del equipo de trabajo. Al primer año se estima la captación de un cliente tanto para el plan freemium como para el plan básico. Para el segundo año se estima poder entregar el servicio del plan global a un cliente y tanto el servicio plan freemium y plan básico a un segundo cliente. Para el tercer año se espera entregar el servicio freemium y el plan básico a un cliente y el servicio de plan global a dos clientes. Lo anterior parte del supuesto que en el primer año se entrega el servicio freemium que apunta a validar un modelo de predicción que no ha sido probado antes, para que luego el primer cliente opte por el plan básico en el primer año, ya en el segundo año teniendo resultados del servicio aplicado a la organización, es posible de parte del equipo contar con la expertise para otorgar el servicio de plan global que se encarga de entregar un servicio de mayor complejidad.

5.3.3 Ingresos

Luego de tomar los supuestos necesarios para la estimación de la demanda y teniendo el valor de los precios en los servicios que se entregan en un horizonte de 3 años es posible

calcular el valor de los ingresos percibidos, en donde el valor de los ingresos viene dado por la multiplicación de los precios por la demanda. A continuación se presentan los ingresos percibidos donde se toma el supuesto de que las obligaciones de pago para el caso de los servicios semestrales se realiza en dos cuotas, una al tercer mes y la segunda al sexto mes, para el caso de servicios anuales se realizan cuatro pagos para los meses 3, 6, 9 y 12. Al realizarse los pagos en cuotas luego del desarrollo del trabajo no se considera la imposición de garantías como la de fiel cumplimiento de parte de la empresa que contrate los servicios.

Tabla 10 : Ingresos anuales percibidos.

Año	3° mes	6° mes	9° mes	12° mes	Total ingresos
1	\$16.399.267	\$16.399.267	\$40.998.168	\$40.998.167	\$114.794.869
2	\$68.193.041	\$68.193.041	\$92.791.942	\$92.791.941	\$321.969.965
3	\$119.986.815	\$119.986.815	\$144.585.716	\$144.585.715	\$529.145.061

5.4 Capital de trabajo

Para el cálculo del capital de trabajo se realiza la resta entre los ingresos mensuales percibidos y los costos mensuales para los primeros dos años a fin de observar el valor más negativo que toma la utilidad acumulada que se corresponde a su vez con el capital de trabajo. En este caso para el proyecto, el capital de trabajo es de \$10.932.845

Tabla 11: Estimación del capital de trabajo.

Mes	Ingresos	Costos	Utilidad	Utilidad acumulada
1	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	-\$5.466.422
2	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	-\$10.932.845
3	\$ 16.399.267	\$5.466.422	\$ 10.932.845	\$ 0
4	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	-\$5.466.422
5	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	-\$10.932.845
6	\$ 16.399.267	\$5.466.422	\$ 10.932.845	\$ 0
7	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	-\$5.466.422
8	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	-\$10.932.845
9	\$ 40.998.168	\$5.466.422	\$ 35.531.746	\$ 24.598.901
10	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	\$19.132.479
11	0	\$5.466.422	-\$5.466.422	\$13.666.056
12	\$ 40.998.167	\$5.466.422	\$ 35.531.745	\$ 49.197.801
13	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$35.523.359
14	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$21.848.917

Mes	Ingresos	Costos	Utilidad	Utilidad acumulada
15	\$ 68.193.041	\$13.674.442	\$ 54.518.599	\$ 76.367.516
16	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$62.693.074
17	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$49.018.632
18	\$ 68.193.041	\$13.674.442	\$ 54.518.599	\$ 103.537.231
19	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$89.862.788
20	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$76.188.346
21	\$ 92.791.942	\$13.674.442	\$ 79.117.500	\$ 155.305.846
22	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$141.631.404
23	0	\$13.674.442	-\$13.674.442	\$127.956.962
24	\$ 92.791.941	\$13.674.442	\$ 79.117.499	\$ 207.074.461

5.5 Flujo de caja

Se procede a calcular el flujo de caja para la implementación del negocio durante una evaluación económica de 3 años, se considera para su cálculo un impuesto a la renta del 25%.

De los resultados del flujo de caja se destaca que al primer año se obtiene un flujo de caja negativo y para el segundo año recién se obtiene un flujo de caja positivo, el flujo de caja acumulado solo obtiene valores positivos para los años 2 y 3. Para el año 3 se obtiene un flujo acumulado de \$39.307.597.

Tabla 12: Flujo de caja anual para 3 años de evaluación del proyecto.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	-	\$114.794.869	\$321.969.965	\$529.145.061
Costos	-	\$65.597.068	\$164.093.305	\$248.345.852
Utilidad antes de impuestos	-	\$49.197.801	\$157.876.660	\$280.799.209
Impuesto 1° categoría (25%)	-	\$12.299.450	\$39.469.165	\$70.199.802
Utilidad después de impuestos	-	\$36.898.351	\$118.407.495	\$210.599.407
Pérdida del ejercicio anterior		\$0	\$0	\$0
Flujo de caja	-	\$36.898.351	\$118.407.495	\$210.599.407

operacional				
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión fija	(\$1.666.198)	\$0	\$0	\$0
Capital de trabajo	(\$10.932.845)	\$0	\$0	\$0
Recuperación capital de trabajo		\$0	\$0	\$10.932.845
Flujo de caja de capitales	(\$12.599.043)	\$0	\$0	\$10.932.845
Flujo de caja	(\$12.599.043)	\$36.898.351	\$118.407.495	\$221.532.251
Flujo de caja acumulado		\$24.299.308	\$142.706.803	\$364.239.055

5.6 Evaluación económica

Para la realización de la evaluación económica se calcula la tasa de descuento derivada del modelo CAPM (por sus siglas en inglés capital asset pricing model), la que viene dada por la siguiente expresión.

Ecuación 11: Tasa de descuento obtenida del modelo CAPM.

$$r_i = r_f + \beta_i * (r_m - r_f)$$

De la expresión se tiene que la tasa libre de riesgo (r_f) para el caso de Chile se deriva de la rentabilidad de los bonos del Banco Central de Chile alcanza un valor de 1,1%⁴. Para el coeficiente (β_i) que entrega el riesgo del proyecto según la actividad económica que se realiza en torno a los servicios de ingeniería es de 1.06 de acuerdo a Damodaran ⁵(2021). Para la obtención de la tasa de retorno del mercado (r_m) se utilizan los valores asociados al IPSA, teniendo un 11,43%. De los datos anteriores se obtiene una tasa de descuento (r_i) igual a un 12,05%.

Para la obtención del indicador VAN se utiliza la tasa de descuento obtenida más los flujos de caja calculados anteriormente, resultando en un VAN positivo de \$272.112.006 de modo que es posible decir que el proyecto es rentable para el período de evaluación de 3 años.

⁴ "informativo diario de operaciones financieras nacionales., <https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Diario1/aplicaciones/Informativo/infdiario.pdf>.

⁵ "Betas - NYU Stern." http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html.

5.7 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad que se propone realizar tiene como finalidad estudiar la variación de las variables precio y demanda, generando distintos escenarios que pudieran ocurrir en la implementación del negocio, a fin de tener en consideración para la evaluación de la factibilidad económica del negocio.

5.7.1 Variaciones en la demanda

Para las variaciones de la demanda de estudian el caso en que no existen clientes interesados en adquirir el servicio así como el caso cuando se tiene sólo un cliente interesado en el servicio.

5.7.1.1 Inexistencia de clientes interesados

El primer caso que se analiza se da cuando la demanda es cero, esto quiere decir que no se logran capturar clientes en un período de 18 meses. Para el primer año se tiene una pérdida de \$1.666.198 correspondiente a la inversión inicial necesaria para poner en marcha el negocio, sumado a los costos de operación del primer año \$65.597.068, más los costos del primer semestre para el segundo año \$82.046.653. Finalmente, se tiene un saldo en contra de \$149.309.919, de modo que el no poder capturar clientes supone una deuda que difícilmente puede ser sostenida por los fundadores del negocio tanto para un primer año sin clientes como para los 18 meses evaluados, por lo que se tiene un negocio que **no es viable económicamente**.

5.7.1.2 Sólo un cliente adquiere el servicio (punto de equilibrio)

El segundo caso que se evalúa surge del interés encontrado de parte de un posible cliente que luego de la segunda fase de entrevistas se mostró dispuesto a contratar el servicio freemium, pero con la salvedad de que no se encuentren más clientes dispuestos a contratar el servicio para los 3 años de evaluación del proyecto. Se considera que el cliente contrata en el primer semestre el servicio freemium (\$32.798.534 valor semestral), el segundo semestre contrata el plan básico (\$81.996.335 valor semestral) y en el segundo y tercer año contrata el plan global (\$207.175.096 valor anual). Para este caso se considera la existencia de sólo un cliente durante los tres años en que se realiza la evaluación económica. Para el primer año se tiene un flujo de caja positivo con un valor de \$36.898.351, para el segundo año se tiene un valor del flujo de caja de \$32.311.343 y para el tercer año se tiene un valor negativo del flujo de caja de -\$30.237.911, con un van positivo de \$24.572.686 por lo que se puede concluir que la existencia de sólo un cliente es suficiente para cubrir los costos de operación y aun así generar ganancias para el negocio, por lo que **sería viable económicamente**. A pesar de que sea viable económicamente se observa en primer lugar que existe una tendencia al tercer año a disminuir la solvencia del negocio con un van negativo, en segundo lugar el van del negocio es bajo si se considera la inversión de tiempo de los fundadores para un negocio que lleva 3 años por lo que existe un alto costo de oportunidad de parte de los fundadores para desarrollarse en otro negocio y en tercer lugar se considera riesgoso que

el negocio dependa solo de un cliente durante tres años, por lo que **no sería atractivo para los socios del negocio**.

5.7.1.3 Riesgo de fuga

Una variable que se repite en la evaluación de ambos casos de demanda es el interés existente de parte del cliente por adquirir el servicio, así como de mantenerlo en el tiempo, por lo que surge una variable de interés que es el riesgo asociado a la pérdida de un cliente. Se observa que el riesgo de fuga de clientes se puede deber a que el servicio es innovador pero no es el estándar en la industria, por lo que no sería de urgencia contratar el servicio y esto puede causar que exista un alto riesgo de fuga que responda por ejemplo ante las variaciones en el precio del cobre (en el caso que disminuya su valor se cancele el proyecto) o que exista competencia de otras organizaciones que tengan mayor oportunidad de adjudicarse la entrega del servicio por conexiones con el cliente.

5.7.2 Variaciones en los precios

En el caso de las variaciones en los precios se desarrollan dos escenarios, el primero que busca evaluar el punto de equilibrio donde el precio del servicio logra cubrir los costos de operación y el segundo caso que se relaciona con los precios que se encuentran ajustados al beneficio económico que percibe el cliente.

5.7.2.1 Precio de equilibrio según costos

Con la finalidad de encontrar el punto de equilibrio en el que los precios logren cubrir los costos de operación, se procede a variar porcentualmente y por igual magnitud los valores de los planes freemium, plan básico y plan global. Se obtiene que al disminuir en un **48,94%** el valor de los precios quedando el plan freemium en \$16.746.931, el plan básico en \$41.867.329 y el plan global en \$52.891.802. Para los flujos de caja con los nuevos valores se obtiene para el año 1 un valor de -\$6.982.808, para el año 2 un valor del flujo de caja de -\$6.754.389 y para el año 3 un valor de flujo de caja de \$34.063.945, teniendo como indicador resumen un van igual a \$2.937 por lo que se podría decir que el **negocio es económicamente viable**, pero se encuentra en el límite de no ser viable económicamente.

5.7.2.1 Precio según beneficio percibido

Para evaluar el caso se hace necesario realizar una estimación del beneficio económico percibido en el caso de aplicar tecnologías de analítica avanzada a camiones en la etapa de carguío y transporte de una faena minera. Dentro de una faena minera se tienen en promedio 80 camiones⁶, de los distintos costos que se pueden presentar en su operación la más relevante viene asociado a las detenciones no programadas (en inglés downtime cost), el costo viene determinado por lo que deja de ganar la empresa por no producir al estar el equipo detenido. Para obtener el valor económico de la pérdida se utilizan los

⁶ "Camiones mineros: Gigantes en tamaño y relevancia." <https://www.mch.cl/informes-tecnicos/camiones-mineros-gigantes-en-tamano-y-relevancia/>.

cálculos realizados por Víctor Barrientos en su libro “mantenimiento de equipos en minas a cielo abierto” tal como se observa en la tabla 13. Dado que el valor del cobre en fecha 12 de marzo del 2021 se sitúa en 4,1 USD/libra se toma como aproximación los valores del año 2011 donde el valor del cobre se aproxima al valor actual, para este caso el costo de falta por camión minero es de 4.155 USD/hora (Barrientos,2018).

Tabla 13: Costos de detenciones no programadas en función del precio de venta del cobre.

Año	Precio Cu (USD/libra)	Costos de falta camión minero (USD/hora)
2010	3,41	3.294
2011	3,99	4.155
2012	3,60	3.576
2013	3,32	3.160
2014	3,11	2.848

Para proseguir con la estimación se consulta por información a ingeniera de mantenimiento mina en División Radomiro Tomic de CODELCO. Se menciona que considerando tanto la flota más nueva de camiones así como la más antigua, en promedio los camiones de carguío y transporte se encuentran en operación 24 horas y 7 días a la semana con una ocurrencia diaria de falla no programada, que toma en promedio 2 horas para su reparación. Por lo que se tiene que el costo anual por fallas no programadas para una flota de 80 camiones es de USD\$242.652.000.

En su libro “Plant Engineer’s Handbook” Keith Mobley indica que dentro de los beneficios que entrega el mantenimiento predictivo se encuentra el reducir las fallas inesperadas en un 55%, lo que se asocia a detenciones no esperadas y que significaría un beneficio para la organización en que se aplique es de USD\$133.458.600.

De las estimaciones anteriores se propone un modelo de precios que se ajuste al porcentaje de reducción de fallas inesperadas del programa de analítica avanzada aplicada al mantenimiento de máquinas en una faena minera. En la **tabla 14** se detallan los tres planes de cobro anuales propuestos, donde se reconsidera el beneficio otorgado debido a que en orden de magnitud parece un número de gran envergadura es por esto que se toma como supuesto que el beneficio económico anual sería del 10% de lo estimado y a su vez el precio anual a cobrar sería un 10% de ese beneficio.

Tabla 14: Composición de los planes de precios.

% de reducción de fallas inesperadas	Beneficio económico anual estimado para la organización	Beneficio económico anual probable (10% del valor calculado)	Precio anual a cobrar (10% del beneficio)
55%	USD\$133.458.600	MMUSD\$13,3	MMUSD\$1,3
30%	USD\$72.795.600	MMUSD\$7,3	MMUSD\$0,7
10%	USD\$24.265.200	MMUSD\$2,4	MMUSD\$0,2

5.8 Conclusiones de la evaluación económica

De la evaluación económica realizada se obtiene que es necesaria una inversión inicial para el proyecto que considera una inversión fija de \$1.666.198 y unos costos que aumentan año a año alcanzando un valor anual de \$248.345.852 al tercer año. Para el valor de los precios se proponen tres planes semestrales, el plan freemium un valor de \$32.798.534, el plan básico \$81.996.335 y un plan global de \$103.587.548. En la evaluación del capital de trabajo se obtiene un valor de -\$10.932.845 que viene dado por un mayor valor mensual percibido de los ingresos por sobre los costos. Al realizar una evaluación mediante flujo de caja se obtiene un flujo de caja positivo desde el primer año y un flujo de caja acumulado positivo al tercer año de \$364.239.055. Como parte de la evaluación económica se calcula una tasa de descuento para el proyecto de 12,05% de donde se obtiene un VAN positivo al tercer año de \$272.112.006, por lo que es posible considerar que el proyecto es económicamente viable.

Se realiza un análisis de sensibilidad respecto a la demanda y los precios. En el caso de la demanda se evalúa el escenario de inexistencia de clientes teniéndose una deuda de \$149.309.919 en un período de 18 meses, por lo que no se considera económicamente viable el negocio a diferencia del caso de estudio cuando se logra captar sólo un cliente en un período de 3 años, de donde se tiene un van igual a \$24.572.686 por lo que el negocio sería viable económicamente, pero se considera que no sería atractivo para los socios debido al riesgo de fuga del posible cliente, así como el bajo valor económico generado por el negocio en el período de 3 años. Para la evaluación de precios se evalúa en primer lugar la reducción de precios que logra un equilibrio al cubrir los costos de operación, teniéndose que al disminuir en un 48,94% el valor de los precios se obtiene un van cercano a cero de \$2.937, con un negocio económicamente viable. Finalmente se realiza un análisis de precios basados en el beneficio económico percibido por el cliente y se obtiene una estimación de que en una faena hay un costo promedio de USD\$242.652.000 por fallas no programadas y se tiene que el beneficio que puede otorgar la aplicación de analítica avanzada es de una reducción de un 55% de las fallas no programadas. Se propone un plan de cobro de acuerdo al beneficio económico en que por ejemplo para un 55% de reducción de fallas el cliente tiene un beneficio de USD\$133.458.600, de donde se estima un beneficio del 10% de la estimación inicial (debido al orden de magnitud obtenido), teniendo como beneficio MMUSD\$13,3 y se

cobra un precio de MMUSD\$1,3 obteniéndose un beneficio económico superior a la forma de cobro tradicional propuesta en los planes freemium, básico y global.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Luego de terminado el desarrollo del tema de memoria es posible afirmar que se cumple con el objetivo general propuesto inicialmente, el que consiste en diseñar experimentalmente un modelo de negocio para un servicio de consultoría en analítica avanzada aplicada al mantenimiento de equipos mineros.

Para el cumplimiento de los objetivos específicos 1 y 2 (“Definir la oportunidad en torno a la aplicación de técnicas de analítica avanzada en el mantenimiento de equipos mineros” y “Diseñar un modelo de negocios inicial, que permita validar las hipótesis del cliente que adoptaría el servicio, los elementos de interés en la propuesta de una solución y su disposición a pagar”) se desarrolló el capítulo de modelo de negocio en donde se partió de la base de un modelo de negocio preliminar, en el que se plantean como hipótesis 3 problemas que impiden la incorporación de analítica avanzada en la mantención de equipos mineros y para la validación de las hipótesis se procedió a realizar un primera fase de entrevistas a 11 actores del mercado, de donde se valida que existe una falta de personal capacitado en el análisis de datos, que se tiene una falta de acceso, baja calidad y falta de estructuración de los datos de operación de los equipos y la existencia de barreras culturales para la inclusión de tecnología. También se procedió a validar mediante la primera fase de entrevistas que el segmento de clientes de mayor interés son las áreas de mantenimiento y confiabilidad al interior de las faenas mineras.

Como segunda parte de la validación del modelo de negocio se consideró como hipótesis una DEMO que contiene las principales características del servicio que se pretende ofrecer, de donde para su validación experimental se realizó una segunda fase de entrevistas a 7 posibles clientes y especialistas, obteniéndose una aprobación de la mayoría de las características propuestas, aun así se sugiere la inclusión de Key Value Drivers por su impacto directo en el rendimiento del negocio, así como la inclusión del servicio de análisis descriptivo y prescriptivo a fin de complementar la propuesta de analítica de los datos. También se procedió a evaluar la identificación del primer grupo de adquisición del servicio (llamado también grupo de “early adopters”), teniéndose un mayor interés de parte de las superintendencias de mantenimiento, , grupo del cual se recibió una respuesta positiva respecto del servicio propuesto así como de la propuesta de precios, de modo tal que se considera validado el modelo propuesto por la DEMO y la estructura de precios.

En el capítulo 3 de análisis de mercado se da cumplimiento al objetivo específico 3 (“Analizar las principales fuerzas que dan forma al mercado de la consultoría en el mantenimiento de máquinas para la industria minera de Chile, en torno al área de aplicación de tecnologías e ingeniería”) donde se realiza un análisis de fuerzas de Porter, partiendo por vislumbrar que la competitividad del mercado no ha alcanzado su peak por lo que la rivalidad entre los competidores presenta un nivel medio. Para el caso del poder de negociación de los clientes en el mercado es alta debido a la desconfianza que generan las innovaciones en la realización de nuevos proyectos. Para el análisis del poder de negociación de los proveedores se destaca la necesidad de contar con capital humano calificado y con conocimientos tanto en el análisis de datos e ingeniería mecánica. Con la finalidad de aumentar la oferta de ingenieros especialistas existe la posibilidad de educar

a profesionales de otras áreas afines como la ingeniería industrial se puede tener un poder de negociación medio - bajo de parte de los proveedores. Para los servicios sustitutos en el mercado se tienen casos de aplicación en otras industrias como el retail, marketing, cadena de suministro, en donde cabe destacar que el número de organizaciones que ofrecen un servicio de analítica avanzada no ha logrado convertirse en un mercado competitivo con la presencia de varias empresas en el rubro, por lo tanto el poder de negociación de los servicios sustitutos es bajo. Según las estadísticas el mercado de la analítica avanzada viene creciendo desde hace una década y para la período 2019-2027 se espera un crecimiento del 12,3% anual es por esto que la amenaza ante la entrada de nuevos competidores es alta.

Continuando con el análisis de mercado, se complementa con la realización de un proceso de benchmarking, el que entrega una línea conductora respecto al estándar que ofrecen los servicios del mercado internacional. Del análisis se destaca la evaluación económica de las variables asociadas a cada activo que se pretendan modelar a fin de entender el costo beneficio y su impacto en el negocio, sumado a la realización de un análisis de modos de falla y nivel de criticidad del activo, por lo que se realiza un modelamiento de los activos que al aplicarles tecnología aportan mayor valor al negocio. Como parte de la entrega de la solución es necesario evaluar el estado del arte de las tecnologías asociadas a la sensorización de los activos, así como la puesta en marcha de los modelos en tiempo real a fin de probar en terreno la capacidad de predicción de los modelos, lo que se espera termine en un receta para la operación y mantención de los equipos.

Para el cumplimiento del objetivo específico 4 (“Examinar que los elementos de mayor relevancia propuestos en el modelo de negocio logren atender las necesidades del mercado identificadas, mediante el desarrollo de un prototipo”) se comienza por definir los alcances del prototipo. El proceso minero en el que se circunscribe el análisis del prototipo es el de extracción, particularmente en el subproceso de transporte. Para el caso de la maquinaria involucrada se tienen los camiones mineros que tienen la capacidad de acarrear sobre 300 toneladas de material en cada ciclo de transporte. Para la extracción de data que permita alimentar los modelos predictivos se cuenta actualmente con una serie de técnicas para el monitoreo de condición de las componentes de un motor, entre ellas cabe mencionar el caso del análisis tribológico que toma análisis de aceites de lubricación y de las partículas de desgaste que contiene, por otro lado se tienen las técnicas de análisis termográfico, el análisis de monitoreo de vibraciones y el análisis de ultrasonido.

En la aplicación de los algoritmos a utilizar se definen tres categorías. La primera categoría es “detección de una anomalía o falla” en donde los modelos generados por los algoritmos tienen la capacidad de detectar situaciones anómalas a través de los algoritmos One-Class Support Vector Machines, PCA-Based anomaly detection, Robust Covariance y K-means Clustering. La segunda categoría es “clasificación de la causa de falla” en donde los modelos indican cual es la causa más posible de falla en la componente del motor a través de los algoritmos Multiclass Neural Network, Multiclass Decision Forest, Multiclass Decision Jungle y Multiclass Logistic Regression. La tercera categoría es “predicción del tiempo de vida remanente (RUL por sus siglas en inglés)” en

donde los modelos entregan el tiempo restante para que una componente falle a través de los algoritmos Boosted Decision Tree y Linear Regression.

A modo de cierre del prototipo se entrega la propuesta metodológica que contendría un servicio de consultoría basado en la validación realizada en la DEMO, que cuenta con tres etapas. La primera de consultoría operacional en que se definen los objetivos del negocio, en segundo lugar un análisis de la tecnología operacional a fin de conocer el tipo de tecnología involucrada y la expertise del equipo de evaluación, para concluir con la etapa de análisis de datos que lleva a cabo la implementación de modelos predictivos en base a algoritmos de machine learning.

Dando cumplimiento al objetivo específico 5 (“Realizar una evaluación financiera del modelo de negocio que permita determinar la factibilidad económica de su implementación”), se tiene que de la evaluación económica realizada se obtiene que es necesaria una inversión inicial para el proyecto que considera una inversión fija de \$1.666.198 y unos costos que aumentan año a año alcanzando un valor anual de \$248.345.852 al tercer año. Para el valor de los precios se proponen tres planes semestrales, el plan freemium un valor de \$32.798.534, el plan básico \$81.996.335 y un plan global de \$103.587.548. En la evaluación del capital de trabajo se obtiene un valor de -\$10.932.845 que viene dado por un mayor valor mensual percibido de los ingresos por sobre los costos. Al realizar una evaluación mediante flujo de caja se obtiene un flujo de caja positivo desde el primer año y un flujo de caja acumulado positivo al tercer año de \$364.239.055. Como parte de la evaluación económica se calcula una tasa de descuento para el proyecto de 12,05% de donde se obtiene un VAN positivo al tercer año de \$272.112.006, por lo que es posible considerar que el proyecto es económicamente viable.

Se realiza un análisis de sensibilidad respecto a la demanda y los precios. En el caso de la demanda se evalúa el escenario de inexistencia de clientes teniéndose una deuda de \$149.309.919 en un período de 18 meses, por lo que no se considera económicamente viable el negocio a diferencia del caso de estudio cuando se logra captar sólo un cliente en un período de 3 años, de donde se tiene un van igual a \$24.572.686 por lo que el negocio sería viable económicamente, pero se considera que no sería atractivo para los socios debido al riesgo de fuga del posible cliente, así como el bajo valor económico generado por el negocio en el período de 3 años. Para la evaluación de precios se evalúa en primer lugar la reducción de precios que logra un equilibrio al cubrir los costos de operación, teniéndose que al disminuir en un 48,94% el valor de los precios se obtiene un van cercano a cero de \$2.937, con un negocio económicamente viable. Finalmente se realiza un análisis de precios basados en el beneficio económico percibido por el cliente y se obtiene una estimación de que en una faena hay un costo promedio de USD\$242.652.000 por fallas no programadas y se tiene que el beneficio que puede otorgar la aplicación de analítica avanzada es de una reducción de un 55% de las fallas no programadas. Se propone un plan de cobro de acuerdo al beneficio económico en que por ejemplo para un 55% de reducción de fallas el cliente tiene un beneficio de USD\$133.458.600, de donde se estima un beneficio del 10% de la estimación inicial (debido al orden de magnitud obtenido), teniendo como beneficio MMUSD\$13,3 y se

cobra un precio de MMUSD\$1,3 obteniéndose un beneficio económico superior a la forma de cobro tradicional propuesta en los planes freemium, básico y global.

,

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Miragliotta, G. y Sianesi, A. y Convertini, E. y Distante, R. (2018). *Data driven management in Industry 4.0: a method to measure Data Productivity*. Department of Management Engineering, Politecnico di Milano. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318313521>
- [2] Merry, H. (2017). *5 benefits IoT is having on the mining industry*. IBM. <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/mining-industry-benefits/>
- [3] Yan, J. y Meng, Y. y Lu, L. y Li, L. (2017). *Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8085101>
- [4] Fernández, A. (2019). Costos y productividad la importancia de la mantención. Diario Financiero. <https://www.df.cl/noticias/site/artic/20191008/asocfile/20191008163141/20191009suple.pdf>
- [5] Porter, M. (2008). *Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia*. Harvard Business Review América Latina.
- [6] Stapenhurst, T. (2009). *The Benchmarking Book*. Primera editorial. Elsevier.
- [7] Maurya, A. (2012). *Running Lean: Cómo iterar de un plan A a un plan que funciona*. Segunda editorial. Unir Editorial.
- [8] Zomerdijk, L. y Voss, C. (2010). *Service Design for Experience-Centric Services*. Journal of service research.
- [9] Blank, S. y Dorf, B. (2012). *The Startup Owner's Manual: The Step-By-Step Guide for Building a Great Company*. Primera editorial. Wiley.
- [10] Oliveira, F. y Perez, L. (2018). *Valuation methodologies for business startups: A bibliographical study and survey*. Brazilian Journal of Operations & Production Management. (pp. 96-111).
- [11] Fernández, P. (2008). *Valoración de empresas por descuento de flujos: diez métodos y siete teorías*. Universidad de Navarra.
- [12] Cañibano, L. y García, B. (2014). Algunas reflexiones sobre los métodos de valoración de empresas: Un modelo de valoración basado en la creación de valor. *Revista Española de Capital Riesgo*. (Volumen 4), pp. 03-14.
- [13] Sapag, N. y Sapag, R. y Sapag, J. (2004). *Preparación y evaluación de proyectos*. Sexta editorial. Mc Graw Hill Education.

- [14] Callahan, A. y Long, G. (2017). *Digital mining: Progress ... and opportunity*. Accenture Consulting. https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-51/accenture-digital-in-mining-progress-and-opportunity.pdf
- [15] Reporte minero. (15 de septiembre de 2020). *Analítica avanzada impulsa récord de procesamiento de material en Chuquicamata*. Prensa CODELCO.
- [16] (22 de septiembre de 2020) Con analítica avanzada División El Teniente mejora su capacidad de procesar material. Guía Minera de Chile.
- [17] Pujol, F. y Sellschop, R. y Zúñiga, D y Gregorio, J. (22 de septiembre de 2020). Adopción: el eslabón perdido de Analítica Avanzada en Minería. Minería Chilena.
- [18] Brahm, C. y Sherer, L. (01 de agosto de 2017) Closing the Results Gap in Advanced Analytics: Lessons from the Front Lines.
- [19] Dennis, M. y Velayudam, Ch. y Subramanian, A. y Choudhary, S. (2017) Using Predictive Maintenance of Industrial Assets: Your Starting Point to the Digital Manufacturing Journey. Capgemini consulting, technology, outsourcing.
- [20] (enero de 2020) Big data analytics by platform. Credence Research. <https://www.credenceresearch.com/report/big-data-analytics-market>.
- [21] COCHILCO. (2020) Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 2000-2019.
- [22] Barrientos, V. (2018) Mantenimiento de equipos en minas a cielo abierto.
- [23] Mobley, K. (2001) Plant Engineer's Handbook.
- [24] Mobley, K. (2002) An introduction to predictive maintenance. Second edition.
- [25] Reveco, M. (2019) Análisis predictivo de activos mineros para obtención de intervalo de falla mediante algoritmos de machine learning.
- [26] Smola, A y Vishwanathan, S. (2008) Introduction to Machine Learning.
- [27] Microsoft. (2019) One-Class Support Vector Machine. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio-module-reference/one-class-support-vector-machine/>
- [28] Microsoft. (2020) PCA-Based Anomaly Detection module. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/algorithm-module-reference/pca-based-anomaly-detection>
- [29] Microsoft. (2020) Module: K-Means Clustering.

<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/algorithm-module-reference/k-means-clustering>

[30] Tancev, G (2020) Robust Covariance for Anomaly Detection, detecting anomalies and outliers by means of the Mahalanobis distance.

[31] Microsoft. (2020) Multiclass Neural Network module.
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/algorithm-module-reference/multiclass-neural-network>

[32] Microsoft. (2020) Multiclass Decision Forest module.
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/algorithm-module-reference/multiclass-decision-forest>

[33] Microsoft (2019) Multiclass Decision Jungle.
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio-module-reference/multiclass-decision-jungle>

[34] Microsoft (2019) Multiclass Logistic Regression.
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio-module-reference/multiclass-logistic-regression>

[35] Microsoft (2019) Two-Class Boosted Decision Tree.
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio-module-reference/two-class-boosted-decision-tree>

[36] Castro, D. (2015) Desarrollo de un algoritmo inteligente de detección de fallas en sistemas rotores.

ANEXOS

Anexo A: Entrevistas de análisis del problema y segmento de clientes.

Antecedentes del entrevistado 1:	
Nombre:	Luis Agüero.
Cargo:	Jefe de mantención de ferrocarriles.
Institución	Codelco, División El Teniente.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none">● Explorar el área de mantención en el transporte de mineral al interior de una mina subterránea.● Conocer el estado del arte del nivel de mantención que se realiza.	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none">● El Teniente es el yacimiento de cobre subterráneo más grande del planeta.● Está ubicado en la comuna de Machalí, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua.● Representa un 7,97% de la producción de cobre en Chile para el año 2018.	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none">● Los procesos de transporte al interior de una mina presentan una relevancia crítica en la continuidad de la producción de cobre, dado que sirven de suministro no solo en el transporte de mineral, sino que también en los reactivos utilizados y los productos de cada etapa.● En el caso de una mina subterránea los ferrocarriles son el principal medio de transporte.● La mantención de ferrocarriles se realiza bajo mantenimiento preventivo y monitoreo de algunos equipos basado en la condición de operación.● El mantenimiento predictivo que se realiza se basa en la experiencia de los mecánicos.	

Antecedentes del entrevistado 2:	
Nombre:	Enrique Jofré.
Cargo:	Docente del MBA en la industria minera.
Institución	Universidad de Chile.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer su visión en torno a la integración de capacidades tecnológicas en el sector minero. • Identificar las barreras de entrada a empresas de consultoría en el sector minero. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Programa enfocado en la formación de líderes en gestión y dirección para la industria minera. • Con la integración de altos ejecutivos de la industria minera y destacados académicos con postgrados en las mejores universidades del mundo. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • El mercado de los servicios entregados a la minería destaca por su competitividad y altas barreras de entrada. • Considerar la experiencia como un factor diferenciador y de respaldo a la hora de ofrecer servicios de consultoría. • La importancia de delimitar los alcances del servicio a entregar en un proceso determinado a fin de entender que maquinaria y procesos que están involucrados en la solución. • Evaluar el impacto de la propuesta en términos económicos. 	

Antecedentes de la entrevistada 3:	
Nombre:	Viviana Meruane.
Cargo:	Directora del departamento de Ingeniería Mecánica.
Institución	Universidad de Chile.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Obtener conocimiento técnico en torno al estado del arte del uso del mantenimiento predictivo en la industria minera. ● Conocer las oportunidades de aplicación en torno al mantenimiento predictivo. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> ● El departamento contribuye a la generación de ciencia y tecnología en el país, en ciencias básicas y ciencias de la Ingeniería, habilidad analítica y experimental, conocimiento de la realidad nacional y el entorno económico. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> ● La industria minera realiza principalmente mantenimiento preventivo. ● La información que se genera de parte de la operación de los equipos en las faenas mineras no se encuentra sistematizada de modo que se pueda accionar con facilidad la implementación de modelos predictivos basados en la utilización de técnicas de aprendizaje de máquinas. ● Se reconoce una oportunidad de aplicación en el funcionamiento de rotores, motores y correas transportadoras en la minería. ● El departamento de ingeniería mecánica ha realizado memorias en torno a la aplicación de modelos de aprendizaje de máquinas en el mantenimiento predictivo en los últimos años y en algunos casos en conjunto con empresas de operación en minería como Anglo American Chile. 	

Antecedentes del entrevistado 4:	
Nombre:	Álvaro Orellana.
Cargo:	Gerente de innovación e ingeniería.
Institución	Komatsu Reman Center Chile.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer la visión estratégica de Komatsu en torno a la aplicación de mantenimiento predictivo en la minería chilena. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Principal empresa de suministro de equipos móviles para los procesos de carguío y transporte en la industria minera en Chile. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • Las principales labores de la organización en torno al mantenimiento de equipos se basan en el monitoreo de la condición de operación y mantenimiento preventivo. • Actualmente Komatsu se encuentra generando las arquitecturas para el almacenamiento de los datos recibidos de los equipos y presentan algunos estudios incipientes en torno a la aplicación de modelos de análisis de datos para el mantenimiento predictivo. • Existen barreras de entrada al acceso de la información recogida de la mina incluso dentro de la propia organización, por términos de confiabilidad de la información. • El buscar monitorear equipos representa un desafío, incluso para Komatsu debido a que distintos actores al interior de las faenas se encuentran intentando recoger información del funcionamiento de las máquinas. 	

Antecedentes de la entrevista 5:	
Nombre:	Viviana Mardones
Cargo:	Ingeniera mantenimiento mina .
Institución	Codelco, División Radomiro Tomic.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Explorar el área de mantención en los procesos de carguío y transporte de mineral al interior de una mina a rajo abierto. • Conocer el estado del arte del nivel de mantención que se realiza. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Radomiro Tomic es una mina ubicada en la comuna de Calama, a 3.000 metros sobre el nivel del mar. Es un yacimiento de explotación a rajo abierto para la obtención de minerales oxidados. Cuenta con reservas de 1.390 millones de toneladas de sulfuros, con una ley promedio 0,5%. • Representa un 5,71% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento que realizan se basa principalmente en el monitoreo de condiciones de operación de los equipos y no en torno a la generación de modelos de análisis de datos. • Se mencionan tres componentes de interés en los que el mantenimiento predictivo podría ser de gran ayuda para las labores que realizan, dado que en general el mantenimiento preventivo que realizan es efectivo; sería el caso del uso de modelos de aprendizaje de máquinas en las fallas en neumáticos, el desgaste de cuchillas en bulldozers y la mantención de correas transportadoras. • Menciona que en particular si se ofrece una solución para la detección de fallas de neumáticos y el desgaste de cuchillas en bulldozers sería de interés para ellos generar un contrato o trabajo en conjunto dado que actualmente las labores de observación de fallas en esos dos componentes se realizan de forma visual por mecánicos del área de confiabilidad. • Importancia de realizar una propuesta económica en la que se cuantifique el costo/beneficio de la solución o servicio ofrecido, dado que al momento de generar contratos, la gerencia de mantenimiento analiza la propuesta en esos términos. • Se destaca que no hay gran competencia en el uso de soluciones en torno a modelos de inteligencia artificial para las labores de mantenimiento, aún así el mantenimiento de motores en particular se encuentra administrado principalmente por las empresas que venden los equipos como Komatsu, Joy 	

- Global y Finning, de modo que ese sector de componentes presenta una alta competitividad.
- Antes de generar un contrato como CODELCO es una empresa pública, ellos generan una licitación pública.
 - En general si una empresa no presenta experiencia y quiere ofrecerles un servicio se recomienda que ofrezcan e implementen una solución de forma gratuita y luego se licita para generar un contrato.

Antecedentes del entrevistado 6:	
Nombre:	Sebastián Sotomayor.
Cargo:	Gerente Corporativo de Gestión de Materiales y Servicios.
Institución	Teck Resources Chile, operación minas Quebrada Blanca y Carmen de Andacollo.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Explorar la visión, requisitos y barreras de entradas para la integración de servicios a la minería. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Teck Resources Chile es una filial de la empresa canadiense de mismo nombres y es dueña o tiene participación en la propiedad de 13 minas situadas en Canadá, Estados Unidos, Chile y Perú. • Las operaciones que realizan en las minas Quebrada Blanca y Carmen de Andacollo representan un 1,59% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • La información capturada de la operación de los equipos mina en los procesos de carguío y transporte se concentra principalmente en los fabricantes de equipos como son Komatsu, Finning y Joy Global. Esa información no forma parte del activo de la empresa Teck. • No existe una comunicación o benchmarking que permita compartir experiencias en torno a las fallas que ocurren en los equipos para las distintas empresas del sector minero, a diferencia de lo que ocurre en la industria aeronáutica, donde los fabricantes tienen un repositorio de las distintas fallas ocurridas en el mundo. • Menciona que existen tres niveles de contratos que ellos realizan según la exposición al riesgo por parte de la empresa; en primer lugar cuando la 	

mantención la realizan ellos y la exposición al riesgo es la más alta dado que ellos asumen la responsabilidad completa; en segundo lugar los contratos mixtos donde se asume una responsabilidad compartida entre ellos y la empresa que presta servicios de mantenimiento y finalmente el nivel de mantenimiento con menor exposición al riesgo de parte de los contratos MARC en los que el contratista asume todo el riesgo.

- En los contratos MARC es donde existe un abanico grande de competidores.
- En las flotas móviles existen incentivos a contratar servicios de mantenimiento de parte de las empresas fabricantes (Joy Global, Komatsu y Finning) de equipos, dado que otorgan garantías que van guiadas de acuerdo a las condiciones de mantenimiento que propone el fabricante, de modo que si no se siguen, se pierde la garantía.
- Las plantas concentradoras presentan una alta variabilidad en torno a la maquinaria utilizada dado que depende netamente de las capacidades de producción que presenta cada faena minera, por lo que las capacidades de mantenimiento se concentran en el recurso humano de la compañía. El recurso humano en el proceso de concentración presenta una alta competitividad a lo largo del país.

Antecedentes del entrevistado 7:	
Nombre:	Jenaro Zúñiga
Cargo:	Superintendente de mantenimiento en planta concentradora.
Institución	BHP Billiton, Minera Spence.
Medio:	Plataforma Cisco Webex.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Explorar el área de mantención en una planta concentradora. • Conocer el estado del arte del nivel de mantención que se realiza en las distintas máquinas. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Minera Spence se ubica en la comuna de Sierra Gorda en la Provincia de Antofagasta, Región de Antofagasta a aproximadamente 50 km al suroeste de Calama y 150 km al noreste de Antofagasta. • Representa un 3,02% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • La principal forma de captura de la información relacionada al mantenimiento, viene representada por el uso de la plataforma SAP, donde se almacenan los 	

- reportes de falla en operaciones.
- El nivel de mantenimiento principal que realizan es el mantenimiento basado en la condición y monitoreo de componentes (la planta concentradora cuenta con cerca de 9.000 sensores), así como la integración de labores de mantenimiento preventivo.
- Los equipos de la planta concentradora son principalmente electro-mecánicos por lo que son de alta complejidad, dado que incorporan una alta cantidad de variables en observación.
- Las labores de mantenimiento las concentran en las capacidades propias de la empresa.
- La planta presenta una alta confiabilidad, cercana al 99,9% y dos detenciones programadas al año, de 100 horas cada una para sus molinos y chancadores.
- Para las componentes menores se realizan 6-8 detenciones al año con duraciones de 15/24 horas.
- Se menciona que en el mantenimiento de **correas transportadoras** que son las encargadas de suministrar el mineral a la planta, podrían tener un interés de mejora en torno a la aplicación de tecnologías de mantenimiento predictivo basado en modelos de inteligencia artificial, dado que es donde se presenta una mayor frecuencia de fallas.

Antecedentes del entrevistado 8:	
Nombre:	-
Cargo:	Gestión de la innovación y análisis de datos.
Institución	BHP Billiton, Minera Escondida.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Entender la gestión de las fuentes de información en las áreas de mantenimiento para la generación de modelos y la arquitecturas existentes para la recopilación de data histórica. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Minera Escondida Ltda. opera la mina de mayor producción de cobre del mundo. • La faena productiva se encuentra ubicada en la II Región de Chile, a 170 kms al sureste de la ciudad de Antofagasta • Representa un 21,31% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • En los últimos años la empresa ha tenido un interés creciente en la generación 	

de capacidades en torno al análisis de datos, en particular desde su experiencia se han encontrado en los últimos años explorando las posibilidades de aplicación en las áreas operativas de la mina.

- No existe actualmente un repositorio que integre los datos en torno a la información generada por las labores de mantenimiento y la información recogida de la condición de operación de los equipos.
- El desafío del área de analítica es poder generar reportes que respalden la toma de decisiones basadas en la información.
- Existen brechas actualmente en la calidad de los datos generados por los distintos actores en las área de mantenimiento.
- El gran problema que detecta en la aplicación de modelos predictivos es el tiempo de antelación para el pronóstico de fallas (4 a 5 días antes), en cambio menciona que al incorporar un sistema experto basado en Big Data se puede aumentar la anticipación del pronóstico.
- Existen posibilidades de integración de proyectos basados en la generación de modelos predictivos que utilicen inteligencia artificial para fortalecer las labores de mantenimiento, pero en general estos presentan barreras de entrada en torno a la experiencia y las garantías solicitadas en los contratos de parte de BHP Billiton.
- Los **emprendimientos** que se integran a las labores de la empresa lo hacen a través de financiamiento externo para cubrir las garantías solicitadas o en conjunto con empresas que tengan mayor capacidad financiera y experiencia n el área de prestación de servicios.

Antecedentes del entrevistado 9:	
Nombre:	Mauricio Jorquera.
Cargo:	Jefe de operaciones de mantenimiento en equipos móviles. (25 años de experiencia).
Institución	Minera Tres Valles.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Explorar las oportunidades de aplicación del mantenimiento predictivo en el área de mantención de equipos móviles. ● Conocer el estado del arte del nivel de mantención que se realiza en las distintas máquinas para una mina que se encuentra en la mediana minería en Chile. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Su principal fuente de producción son las minas Papomono y Rajo Norte, ubicadas a 9 km cerro arriba de Salamanca, entre las quebradas de Manquehua y Cárcamo, en la Provincia del Choapa. ● Representa un 0,1% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Las condiciones de los equipos en la mediana minería son en general distintas a la gran minería, dado que se utilizan equipos en sus operaciones con hasta 10 años de funcionamiento o de segunda mano. ● Las operaciones de mantenimiento se concentran internamente en la mayoría de sus áreas de operación, dado que en general no cuentan con garantías de parte de las empresas fabricantes de equipos. ● Predomina el mantenimiento correctivo en sus operaciones con equipos de segunda mano, el resto se realiza como labores de mantenimiento preventivo. ● Utilizan el sistema SAP para registrar la información, pero la información en su mayoría es de baja calidad y discontinua dado que el personal que desempeña las labores mecánicas en terreno no completa los formularios de mantenimiento. 	

Antecedentes del entrevistado 10:	
Nombre:	Fernando Neira.
Cargo:	Consultor senior.
Institución	SMEC.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las barreras de acceso y explorar las oportunidades existentes para un emprendimiento que entregue servicios de consultoría en la gran minería chilena. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa internacional con presencia en más de 40 países, opera en Chile desde el año 2005, con oficinas en Antofagasta, Santiago y Calama. • Provee asesoría profesional en torno a la consultoría de gestión de activos, con servicios que incluyen los sectores de minería, gobierno, gas y petróleo. Posee experiencia en las áreas de mantenimiento, cadena de suministro, confiabilidad y desarrollo de sistemas de aprendizaje. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • Los dos principales recursos ofrecidos para un servicio de consultoría son la experiencia de sus consultores y el Know-How del proceso en el que se interviene. • En un servicio de consultoría se debe sobrepasar las expectativas del cliente con la finalidad de generar confiabilidad. • La forma de ingresar a los contratos se basa principalmente en realizar una búsqueda activa en las plataformas de publicación de licitaciones de parte de las empresas del sector minero y postulando con la finalidad de generar una vinculación y reconocimiento con los oferentes. • Existe la posibilidad de realizar Joint Ventures para empresas emprendedoras que busquen integrarse al mercado con empresas consultoras que posean mayor capacidad de financiamiento a fin de cumplir con los requerimientos y garantías exigidas de parte de las empresas de la gran minería. • Las gerencias de operaciones y mantenimiento representan la figura de clientes de un servicio de consultoría en torno al mantenimiento de máquinas. 	

Antecedentes del entrevistado 11:	
Nombre:	Julio Morales.
Cargo:	Gerente de innovación y tecnología.
Institución	Komatsu.
Medio:	Llamada telefónica.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Entender desde el rol de Komatsu la generación e integración de los distintos sistemas de monitoreo de condiciones de equipos. • Tener una visión de la criticidad de los equipos al interior de los procesos mina. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Principal empresa de suministro de equipos móviles para los procesos de carguío y transporte en la industria minera en Chile. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • En cuanto a las correas transportadoras, es importante considerar en su estructura, las componentes principales como polines que en la maquinaria más nueva se ha intentado incorporar sensores para monitorearlos en línea. • Menciona que los sistemas expertos representan un repositorio de experiencia de los operadores y analistas de condición, de gran utilidad al momento en que ocurre una falla. En el caso de CODELCO, cuentan con un sistema integral de operaciones (SIO), donde pueden monitorear las condiciones de los equipos. • Menciona que en un camión Komatsu hoy en día monitorean cerca de 1600-1800 variables, aunque destaca la importancia de caracterizarlas según su criticidad y las condiciones de operación de una operación minera en específico. • En su experiencia actualmente existe una falta de personal capacitado en el análisis y modelamiento de datos. • Menciona que la empresa Antara que tiene por gerente general a Patricio Rojas realiza labores de mantenimiento predictivo y en su caso en particular justifican su propuesta de valor mediante resultados en indicadores de importancia para el proceso en que se insertan. 	

Anexo B: Entrevistas de análisis de la solución, early adopter y estructura de precios

Antecedentes del entrevistado 1:	
Nombre:	Viviana Meruane.
Cargo:	Directora del departamento de Ingeniería Mecánica.
Institución	Universidad de Chile.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Identificar desde su visión técnica las fortalezas y debilidades de la propuesta de solución. ● Validar la factibilidad de implementación en los equipos de interés referenciados desde las entrevistas de análisis del problema realizadas para la implementación de la solución. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> ● El departamento contribuye a la generación de ciencia y tecnología en el país, en ciencias básicas y ciencias de la Ingeniería, habilidad analítica y experimental, conocimiento de la realidad nacional y el entorno económico. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Es importante diferenciar entre el rol de las gerencias de operaciones y mantenimiento que siempre se encuentran bajo tensión, dado que desde el área de operaciones se pretende mantener los equipos funcionando la mayor cantidad de tiempo posible sin una mirada estratégica en torno a la mantención de los equipos. ● Menciona que una de las principales ventajas de la aplicación del mantenimiento predictivo es poder monitorear una mayor cantidad de componentes y equipos a un menor coste de horas hombre. ● Menciona que a pesar de que los polines son una fuente de falla catastrófica en las operaciones mineras dado que aumenta su temperatura, por desgaste. Tiene la gran limitación de que existe una gran cantidad de ellos, por lo que se requeriría una gran inversión de instrumentación que sea capaz de realizar un monitoreo de su condición de operación. ● El cobro variable no es bien recibido desde las empresas mineras en su experiencia y lo que se debe cobrar al entregar un servicio de apoyo al mantenimiento es un precio en torno a un beneficio económico estimado. ● Existe una mayor experiencia en la implementación de las tecnologías de 	

mantenimiento predictivo en poleas y motores de camiones diesel.

Antecedentes del entrevistado 2:	
Nombre:	Sebastián Fehrmann.
Cargo:	Superintendente de mantenimiento.
Institución	Codelco, División Chuquicamata.
Medio:	Plataforma Microsoft Teams.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none">● Realizar una primera aproximación a la evaluación de la propuesta de solución.● Obtener una apreciación acerca la estructura de cobro propuesta.	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none">● Es una mina de cobre y oro a rajo abierto. Está ubicada a 15 km al norte de Calama, en la Región de Antofagasta. Es considerada la más grande del mundo en su tipo.● Representa un 5,5% de la producción de cobre en Chile para el año 2018.	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none">● La información de CODELCO no se puede almacenar sin cumplir con estrictos requisitos de seguridad, pero si se puede acceder a ella a través de los servidores de la empresa.● Existe una motivación desde las superintendencias de la División Chuquicamata para incorporar nuevas tecnologías de analítica avanzada a las labores de mantenimiento. De aquí se realiza una invitación a probar el modelo Freemium en su división.● Existe un interés por realizar mantenimiento predictivo en los motores diesel de camiones de carga, debido a su impacto en la cadena de producción y el proceso de extracción.● Para obtener un contrato con CODELCO, dado que es una empresa pública se debe solicitar que realicen una licitación en torno al servicio a ofrecer y luego participar de ella para obtener un contrato.● Una empresa que desee otorgar algún servicio a CODELCO debe inscribirse como proveedor en la plataforma de la organización.● Se identifica que la primera figura que debe adoptar el servicio sería el Superintendente de mantenimiento, quien luego asciende al Gerente de mantención u operaciones.● Se puede obtener una muestra de los datos para armar el caso de negocios, otras empresas operan de esa forma.● Se valida la parte Freemium del modelo de precios, pero se sugiere cambiar el	

plan básico y plan global según un cobro que se base en resultados en términos de disponibilidad o tiempos medios entre fallas.

- Actualmente en la división se generan datos de los que no se extrae valor para la toma de decisiones, por lo que se sugiere considerar en la solución, funcionalidades en torno al análisis descriptivo de los datos.

Antecedentes del entrevistado 3:	
Nombre:	Marcelo ahumada.
Cargo:	Superintendente de confiabilidad y mejoramiento mantención.
Institución	Minera Los Pelambres.
Medio:	Plataforma Microsoft Teams.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluar la propuesta de solución, con la finalidad de identificar las funcionalidades esenciales que debe contener el servicio. ● Iterar la propuesta en torno a la estructura de cobro. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Los Pelambres es una mina a cielo abierto, ubicada en la comuna de Salamanca, que produce cobre desde diciembre de 1999. ● Se ubica a 45 kms al este de la ciudad de Salamanca, Provincia de Choapa, Región de Coquimbo, en plena cordillera de Los Andes a 3.600 msnm. ● Representa un 6,35% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Minera Los Pelambres cuenta con un área de análisis de datos y se encuentran realizando proyectos de aplicación de mantenimiento predictivo en correas transportadoras y camiones de carga. ● Para la gestión del cambio organizacional es importante considerar un conocimiento de la cultura existente con la finalidad de generar empatía y evitar el rechazo natural en la incorporación de nuevas tecnologías. ● Un aspecto transversal que se considera en las operaciones es la seguridad de las personas como recurso fundamental. ● Se confirma como equipos críticos en los procesos de extracción y concentración los motores diesel y correas transportadoras. ● Detrás de una propuesta de implementación lo más importante a considerar son los 'Key Value Drivers' que tienen un impacto directo en el EBITDA de la compañía. En el caso de camiones el key value driver, viene dado por [material botado/unidad de tiempo]. En el caso de correas transportadoras, viene dado 	

- por [material transportado en la correa/unidad de tiempo].
- Para el análisis de falla se diferencia entre fallas de bajo aliento y largo aliento, como factor de impacto directo en los key value drivers.
 - Para la propuesta de valor del modelo de negocio, es atractivo considerar que la predicción de los modelos tenga una confiabilidad en el respaldo de las decisiones superior al 70%.
 - La trazabilidad representa un factor clave en la implementación de una solución, de aquí se debe incorporar un sistema de alerta intercomunicado con personal relacionado a la toma de decisiones de mantenimiento. La solución debe ser capaz de prescribir sugerencias.

Antecedentes del entrevistado 4:	
Nombre:	Patricio Zambrano.
Cargo:	Superintendente Mantenimiento Chancado y Manejo de Materiales.
Institución	Codelco, División Radomiro Tomic.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la propuesta de solución, con la finalidad de identificar las funcionalidades esenciales que debe contener el servicio. • Iterar la propuesta en torno a la estructura de cobro. • Incorporar la experiencia de la división que se encuentra desarrollando un prototipo en torno a la aplicación de mantenimiento predictivo en conjunto con un centro de investigación de la Universidad de Concepción. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Radomiro Tomic es una mina ubicada en la comuna de Calama, a 3.000 metros sobre el nivel del mar. Es un yacimiento de explotación a rajo abierto para la obtención de minerales oxidados. Cuenta con reservas de 1.390 millones de toneladas de sulfuros, con una ley promedio 0,5%. • Representa un 5,71% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente, la División Radomiro Tomic se encuentra implementando un proyecto de mantenimiento predictivo en conjunto con un centro de investigación de la Universidad de Concepción. • Existe una diferencia entre las metas de la gerencia de operaciones y mantenimiento, en el primer caso es mantener la línea de producción en funcionamiento y en el segundo caso tener una visión estratégica de la eficacia 	

de los activos.

- El indicador de mayor relevancia en términos económicos para el área de mantenimiento es la disponibilidad de los activos. Como indicadores secundarios se consideran tiempo medio entre fallas y la frecuencia de fallas.
- La efectividad en la reparación se considera una métrica valiosa para el negocio, dado que aporta información acerca de la frecuencia de falla en los activos.
- La jerarquía en la toma de decisiones pasa desde la superintendencia de mantenimiento y confiabilidad hasta la gerencia de mantenimiento.
- Una funcionalidad de relevancia para la incorporación efectiva de una solución de mantenimiento predictivo es la trazabilidad en la toma de decisiones en las labores de mantenimiento, esto quiere decir incorporar analítica prescriptiva.
- Actualmente los analistas predictivos cumplen con el rol de interpretar el monitoreo de condiciones e indicar la prescripción e interpretación de los modelos, son un pilar fundamental en la trazabilidad de las labores de mantenimiento.
- Importancia de considerar al momento de evaluar la incorporación de mantenimiento predictivo, la comparación entre el límite técnico según el diseño del equipo versus la disponibilidad actual del activo, con la finalidad de implementar la solución en los equipos con mayor potencial de mejora.
- Las componentes principales para establecer monitoreo de condiciones en correas transportadoras son los elementos rotatorios; motor, reductor y poleas, dado que presentan fallas catastróficas con un alto impacto en el tiempo empleado para su reparación (superior a las 30 horas en promedio de tiempo fuera de servicio).

Antecedentes del entrevistado 5:	
Nombre:	Francisco Dubournais.
Cargo:	Superintendente de Analítica Avanzada.
Institución	Minera Los Pelambres.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluar la propuesta de solución, con la finalidad de identificar las funcionalidades esenciales que debe contener el servicio. ● Iterar la propuesta en torno a la estructura de cobro. ● Incorporar la experiencia de la minera que se encuentra desarrollando un prototipo en la fase de entrenamiento de los modelos de inteligencia artificial para su aplicación en las labores de mantenimiento en correas transportadoras. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Los Pelambres es una mina a cielo abierto, ubicada en la comuna de Salamanca, que produce cobre desde diciembre de 1999. ● Se ubica a 45 kms al este de la ciudad de Salamanca, Provincia de Choapa, Región de Coquimbo, en plena cordillera de Los Andes a 3.600 msnm. ● Representa un 6,35% de la producción de cobre en Chile para el año 2018. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Se encuentran implementando un proyecto de mantenimiento predictivo a través de la creación de equipos ‘celula’ compuesto por; proyect owner(gerencia del área), data scientist, data analyst, data engineer, un scrum master y un experto del proceso. Los proyectos se enfocan en el funcionamiento de sistemas motrices (motores, rotores y reductores) en camiones y correas transportadoras. ● Un experto de procesos es la figura que establece un vínculo entre la información obtenida de la data y el análisis para la toma de decisiones al interior de las operaciones. Importante para realizar trazabilidad de las soluciones a implementar. ● Una alternativa a la falta de profesionales en el área de análisis de datos, es formar profesionales de carreras afines, respecto a capacitar trabajadores de las áreas de mantenimiento. ● Los problemas de acceso a los datos de operación de una componente pueden deberse a una falta de sensores, fallas de calibración en los sensores y acceso a la información dado que esta proviene de compañías externas, data protegida, datos incompletos e imputaciones manuales. ● La principal barrera de acceso a la data de operación de equipos es la imputación manual, que puede presentar diferencias significativas respecto al 	

diagnóstico real del equipo.

- Las principales métricas de evaluación son la disponibilidad, la confiabilidad y la efectividad total de los equipos (OOE), dado que presentan un mayor impacto en el negocio.
- La estimación del impacto del mantenimiento predictivo se puede encontrar por aumentos en su disponibilidad, el costo de los repuestos al prevenir fallas catastróficas y una disminución en las tasas de cambio y horas de reparación.
- Se considera relevante al introducir nuevas tecnologías, la inclusión de labores de gestión del cambio organizacional para los actores involucrados en el proceso.
- Se sugiere una estructura de precios por etapa de desarrollo, en la que se considere la inclusión de una propuesta en torno al análisis descriptivo de los datos a través de visualizaciones.

Antecedentes del entrevistado 6:	
Nombre:	Rodrigo Pascual.
Cargo:	Director alterno del Centre for Advanced Asset Analytics.
Institución	Universidad de Chile.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la propuesta de solución, con la finalidad de identificar las funcionalidades esenciales que debe contener el servicio. • Iterar la propuesta en torno a la estructura de cobro. • Integrar conocimiento especializado en la propuesta de solución. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • El departamento contribuye a la generación de ciencia y tecnología en el país, en ciencias básicas y ciencias de la Ingeniería, habilidad analítica y experimental, conocimiento de la realidad nacional y el entorno económico. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • Existe una relevancia en incorporar soluciones integrales, que se vuelvan luego funcionales y aporten valor a la organización. • Para construir una solución de mantenimiento predictivo se debe considerar el mantenimiento proactivo, descriptivo y prescriptivo, con la finalidad de tener una mirada holística de la solución. • Para analizar el componente de interés al aplicar una solución, se debe conocer la redundancia del tipo de falla y así establecer donde se pueda lograr un mayor 	

- nivel de impacto.
- La gestión del cambio organizacional adquiere relevancia cuando existen barreras culturales al momento de incorporar nuevas tecnologías.

Antecedentes del entrevistado 7:	
Nombre:	Andrés Pucheu.
Cargo:	Consultor y Coach. Profesor asociado Universidad de los Andes.
Institución	Pucheu Consultores.
Medio:	Plataforma Zoom.
Objetivos de la entrevista:	
<ul style="list-style-type: none"> • Direccionar y mejorar la propuesta de gestión del cambio organizacional de la solución. • Identificar cómo abordar de forma eficaz el problema encontrado en la primera fase de entrevistas, acerca de las barreras culturales para la inclusión de tecnologías. 	
Antecedentes de la institución:	
<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza un trabajo combinado entre la docencia, la consultoría y capacitación en empresas públicas y privadas, habitualmente en temas asociados a gestión del desempeño y coaching. Ha generado publicaciones de artículos y libros, como Desarrollo y eficacia organizacional; Lo que cambia son las personas; y Coaching para la eficacia organizacional. 	
Aprendizajes:	
<ul style="list-style-type: none"> • Las estructuras jerárquicas en la industria chilena, responden a un sistema agrícola - militar. Donde existe una alta verticalidad en las relaciones de poder. • El diseño y la planificación se encuentran centralizados en un porcentaje menor de la fuerza laboral, que no cuenta con la capacidad de incidir en la complejidad que presenta un entorno laboral de la magnitud de una faena minera. • Existen barreras cognitivas para la implementación de tecnología en Chile, estudios afirman que un alto porcentaje de la población es analfabeta funcional. • Las relaciones de jerarquía verticales tienen mayor sentido en un sistema estático. • Para sistemas dinámicos toma mayor relevancia el rol de los microproyectos, en el que las decisiones operativas se toman considerando la variabilidad sistemática existente en los sistemas, sumado a un proceso más colaborativo. • Las decisiones deben ser alimentadas por los datos. 	

- En el nuevo siglo donde existe una mayor volumen de información, se debe migrar desde la estrategia tradicional basada en acciones a una en base a las capacidades.

Anexo C: Guión entrevista de fase 1 (ajuste clientes - problemas)

La siguiente es una adaptación de la entrevista sobre problemas que plantea Ash Maurya en el libro Running Lean para la fase de validación de las hipótesis del problema y el segmento de clientes mediante la realización de entrevistas.

Bienvenida (3 minutos)

Se da la bienvenida y se introduce la dinámica de la entrevista:

1. Se saluda y se da la bienvenida al entrevistado.
2. Se da las gracias por tomarse el tiempo de participar en la entrevista.
3. Se contextualiza la motivación para realizar la entrevista desde el trabajo de memoria de la carrera de Ingeniería Civil Industrial, en el que describe que el tema de trabajo es el desarrollo de un modelo de negocio en torno a la prestación de un servicio de consultoría en el mantenimiento predictivo de máquinas para la industria minera en base a modelos de inteligencia artificial.
4. Se explica que el propósito de la entrevista consiste en validar las hipótesis que se tienen hasta el momento respecto al problema que se quiere abordar desde el modelo de negocio, así como la posibilidad de recopilar e integrar la experiencia que posee en el mercado.
5. Se le hace saber al entrevistado que aún no se posee un servicio terminado y que el objetivo final es ir aprendiendo de las entrevistas para mejorar.

Contextualización del tema de trabajo (2 minutos)

Se ilustra a través de una historia la motivación para desarrollar el modelo de negocio:

“Tuve la idea luego de que en la empresa de consultoría en la que me encontraba trabajando presentamos en conjunto con un amigo (Ingeniero Civil Mecánico) un proyecto en torno a la aplicación de analítica avanzada en una planta de procesamiento de molibdeno, dado que mi amigo en su trabajo de memoria desarrolló algoritmos de inteligencia artificial para el diagnóstico de la vida útil remanente en equipos mecánicos y luego de investigar vimos que había una brecha en torno a su aplicación en la gran minería del cobre en Chile, por lo que decidí realizar un estudio explorando el mercado de aplicación de un servicio de consultoría en el mantenimiento predictivo de máquinas.”

Clasificación de los problemas identificados (4 minutos)

Se le presenta al entrevistado los tres principales problemas que pretende abordar el modelo de negocio actual y se pide que los ordenen según su nivel de relevancia:

Problema 1: Falta de integración de la gestión del conocimiento en torno al análisis de datos y generación de modelos predictivos para las labores de mantenimiento.

Problema 2: Falta de gestión de la información histórica recogida del mantenimiento basado en la condición.

Problema 3: La prestación de servicios de mantenimiento representa una alta competitividad y requisitos para el ingreso de nuevos actores.

Exploración de la visión del entrevistado (15 minutos)

En esta parte de la entrevista se le otorga mayor libertad al entrevistado para que cuente desde su experiencia la relevancia y la forma en que se resuelven hoy en día los problemas antes mencionados. En caso de que desee incluir un problema que no se haya mencionado anteriormente puede hacerlo también.

De todas formas se consideran algunas preguntas en caso de que sea necesario guiar más la conversación:

1. ¿Cuáles son los requisitos que debe cumplir un servicio de consultoría para obtener un contrato de prestación de servicios?
2. ¿Se considera la inclusión de empresas del sector tecnológico que cuenten con poca experiencia de campo?
3. ¿Sería adecuado plantear un piloto al interior para mostrarles resultados?
4. ¿Presentan interés por desarrollar capacidades de mantenimiento predictivo de maquinaria?

Conclusión (2 minutos)

Se da un cierre a la entrevista, se solita poder seguir en contacto para fases más avanzadas de validación del modelo de negocio y se pide contacto con otros actores del mercado que sería interesante entrevistar:

1. Se agradece el tiempo y la disposición para llevar a cabo la entrevista y se le expone los pasos siguientes a seguir en el proceso de validación del modelo de negocio.
2. Se le consulta al entrevistado si participaría de una nueva instancia de validación respecto al análisis de otras componentes del modelo de negocio.
3. Se le solicita al entrevistado si tiene conocimiento de algún actor que pueda ser útil entrevistar.
4. Se despide al entrevistado.

Anexo D: Guión entrevista de fase 2 (ajuste de la solución, del flujo de ingresos e identificación del early adopter)

La siguiente es una adaptación de la entrevista sobre soluciones que plantea Ash Maurya en el libro *Running Lean* para la fase de validación de las hipótesis de las funcionalidades de la solución, el flujo de ingresos y la identificación del segmento de clientes ‘*early adopters*’ mediante la realización de entrevistas.

Bienvenida (3 minutos)

Se da la bienvenida y se introduce la dinámica de la entrevista:

1. Se saluda y se da la bienvenida al entrevistado.
2. Se da las gracias por tomarse el tiempo de participar en la entrevista.
3. Se contextualiza la motivación para realizar la entrevista desde el trabajo de memoria de la carrera de Ingeniería Civil Industrial, en el que describe que el tema de trabajo es el desarrollo de un modelo de negocio en torno a la prestación de un servicio de consultoría en el mantenimiento predictivo de máquinas para la industria minera en base a modelos de inteligencia artificial.
4. Se explica que el propósito de la entrevista consiste en validar las hipótesis que se tienen hasta el momento respecto a la solución y la estructura de precios que se quiere abordar desde el modelo de negocio, así como la posibilidad de recopilar e integrar la experiencia que posee en el mercado. Se le presenta el segundo propósito es mostrar una DEMO preliminar del servicio a ofrecer.
5. Se le hace saber al entrevistado que aún no se posee un servicio terminado y que el objetivo final es ir aprendiendo de las entrevistas para mejorar.

Contextualización del tema de trabajo (3 minutos)

Se ilustra a través de una historia la motivación para desarrollar el modelo de negocio:

“Tuve la idea luego de que en la empresa de consultoría en la que me encontraba trabajando presentamos en conjunto con un amigo (Ingeniero Civil Mecánico) un proyecto en torno a la aplicación de analítica avanzada en una planta de procesamiento de molibdeno, dado que mi amigo en su trabajo de memoria desarrolló algoritmos de inteligencia artificial para el diagnóstico de la vida útil remanente en equipos mecánicos y luego de investigar vimos que había una brecha en torno a su aplicación en la gran minería del cobre en Chile, por lo que decidí realizar un estudio explorando el mercado de aplicación de un servicio de consultoría en el mantenimiento predictivo de máquinas.”

En adelante realicé entrevistas a distintos actores asociados a la gran minería del cobre en Chile, con la finalidad de entender las razones por las que no se extiende la aplicación de mantenimiento predictivo y analítica avanzada en las labores de mantenimiento.”

Presentación de la DEMO (15 minutos)

Esta parte de la entrevista toma mayor tiempo y se le otorga más tiempo al entrevistado para responder, esta sección es fundamental dado que permite validar la forma en que se propone solucionar cada uno de los problemas identificados. En principio se enuncian los tres problemas identificados de la primer fase de entrevistas;

1. Falta de incorporación de personal capacitado en el análisis de datos en las labores de mantenimiento.
2. Existencia de barreras culturales para la inclusión de tecnología.
3. Dificultades en el acceso a la información contenida en los datos de operación de los equipos mineros con la finalidad de realizar análisis y modelamiento de datos.

Luego se le presenta la DEMO y se pide que entregue su visión respecto a las funcionalidades y características que parecen ser imprescindibles, que características no son necesarias y si existen características de valor para incorporar en el modelo.

Calibración de la estructura de precios (4 minutos)

Se le presenta al entrevistado una estructura de precios para el cobro del servicio con la finalidad de evaluar su respuesta. Se pregunta por su apreciación acerca de la estrategia o si conoce alguna otra modalidad que sea posible de aplicar en el modelo de negocio.

Conclusión (2 minutos)

Se da un cierre a la entrevista, se solita poder seguir en contacto para fases más avanzadas de validación del modelo de negocio y se pide contacto con otros actores del mercado que sería interesante entrevistar:

1. Se agradece el tiempo y la disposición para llevar a cabo la entrevista y se le expone los pasos siguientes a seguir en el proceso de validación del modelo de negocio.
2. Se le comenta al entrevistado que el equipo seguirá avanzando en el desarrollo del servicio, por lo que si se encuentra interesado en probar el servicio cuando se encuentre en una fase más avanzada de desarrollo.
3. Se le solicita al entrevistado si tiene conocimiento de algún actor que pueda ser útil entrevistar.
4. Se despide al entrevistado.