



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**

**MAXIMIZACIÓN DE PORTAFOLIO DE INVERSIÓN DE PROYECTOS
DE COBRE CON NUEVAS TECNOLOGÍAS**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN MINERÍA

DÁMASO ORLANDO BARRIOS ORMEÑO

**PROFESOR GUÍA:
JOSÉ CHARANGO FERNANDO MUNIZAGA ROSAS**

**PROFESOR CO-GUÍA:
CRISTIAN IVAN ESPINOZA CAMUS**

**MIEMBROS DE COMISIÓN
DAVID GONZALO VARGAS NUÑEZ
BRIAN KEITH TOWNLEY CALLEJAS**

**SANTIAGO DE CHILE
2021**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL GRADO DE MAGISTER EN MINERIA**

POR: Dámaso Orlando Barrios Ormeño

FECHA: 18 de enero 2021

PROFESOR GUIA: José Charango Munizaga

El presente trabajo desarrolla una metodología que maximice el portafolio de inversión de proyectos mineros mediante un modelo de optimización que minimice el riesgo en la incorporación de tecnologías nuevas o no probadas en esta industria en Chile, basándose en la experiencias previas de estos casos en la región de Antofagasta. Para esto, se definen distintos tipos de tecnologías, las cuales se clasifican en digital /no digitales, tiempo y costo de implementación.

Además se hace un resumen de los principales proyectos mineros ejecutados durante los últimos diez años en la región de Antofagasta, las innovaciones que consideraron y los resultados de la implementación de estas, muchas de las cuales fueron exitosas y disruptivas aumentando el margen competitivo de la compañía que la adoptó.

El método adoptado para el análisis es el de Markowitz de la selección del portafolio desde un enfoque de la media varianza, el cual en conjunto con el índice de Sharpe se determina la clase de tecnología que minimiza el riesgo de implementación o, en el caso de que se requiera, maximizar el retorno de la inversión al seleccionar otra clase.

Estos resultados fueron implementados en un caso real de selección de dos tipos de tecnologías para la ampliación una operación en la región, el cual arrojó resultados muy ajustados con la decisión real según la decisión a nivel ejecutivo de la empresa.

ABSTRACT

This work develops a methodology that maximizes the investment portfolio of mining projects through an optimization model that minimizes the risk of incorporating new or unproven technologies in this industry in Chile, based on previous experiences in these cases in the region. from Antofagasta. For this, different types of technologies are defined, which are classified into digital / non-digital, time and cost-cost of implementation.

In addition, a summary is made of the main mining projects executed during the last ten years in the Antofagasta region, the innovations they considered and the results of their implementation, many of which were successful and disruptive, increasing the company's competitive margin. who adopted it.

The method adopted for the analysis is Markowitz's of portfolio selection from a mean variance approach, which together with the Sharpe index determines the kind of technology that minimizes the risk of implementation or, in the case of As required, maximize the return on investment by selecting another class.

These results were implemented in a real case of selection of two types of technologies for the expansion of an operation in the region, which yielded highly adjusted results with the actual decision according to the decision at the executive level of the company.

**A mi Bárbara, prisionera del amor por este
soñador que lucha por descubrir su límite intelectual.**

TABLA DE CONTENIDO

1. 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PREÁMBULO	1
1.2. MOTIVACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5. METOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO.....	3
2. ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1. TECNOLOGÍA.....	4
2.2. FACTOR ESTRATÉGICO.....	4
2.3. LA EVALUACIÓN ESTRATÉGICA.....	7
2.4. LA EVALUACIÓN FINANCIERA	8
2.5. INCERTIDUMBRE.....	10
2.6. MODELO DE LA UTILIDAD ESPERADA EN LA ECONOMÍA	10
2.7. EL PROCESO ADAPTATIVO EN SITUACIÓN DE INCERTIDUMBRE	11
2.8. SELECCIÓN DE PORTAFOLIOS DESDE UN ENFOQUE DE MEDIA VARIANZA: MARKOWITZ.....	12
2.9. ÍNDICE DE SHARPE	15
2.10. MÉTODO DE MONTE CARLO	15
2.11. PROYECTOS MINEROS DE LA MACRO ZONA NORTE EN LA ULTIMA DECADA	16
2.11.1. SPENCE Y LA BIOLIXIVIACION.....	16
2.11.2. DIVISIÓN GABRIELA MISTRAL Y LOS CAMIONES AUTÓNOMOS	17
2.11.3. CENTINELA Y EL AGUA DE MAR	18
2.11.4. MINISTRO HALES DE CODELCO Y EL ARSÉNICO	18
2.11.5. SIERRA GORDA SMC Y EL MOLIBDENO	19
2.11.6. SPENCE Y EL CLORURO COMO LA LLAVE PARA LA MEJORA CONTINUA	20
2.11.7. ANTUCOYA CONVENCIONAL CON MUY BAJA LEY.	20
2.11.8. OTRAS INNOVACIONES EN GENERAL.....	20
2.11.9. MINERÍA Y LA ERA DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL.....	21
2.12. LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS.....	22
2.12.1. RIESGO BASADO EN EL GRADO DE MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA.	23

2.12.2. RIESGO BASADO EN LA INCERTIDUMBRE Y NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN.....	24
TIPO DE INNOVACIÓN	26
RIESGO ASOCIADO	26
3. METODO PROPUESTO	27
3.1. DEFINICION DEL METODO	27
4. RESULTADO	30
4.1. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL METODO.....	30
5. CASO ESTUDIO.....	40
5.1. APLICACIÓN CASO ESTUDIO EN SPENCE S.A.	40
5.1.1. NUEVA PLANTA CONCENTRADORA.....	40
5.1.1.1. NUEVA TECNOLOGÍA	41
5.1.1.2. EL SFR.....	41
5.1.2. LIXIVIACION DE LA CALCOPIRITA – INSTALACIONES EXISTENTES	43
5.2. DATOS ECONÓMICOS DE LAS INICIATIVAS Y RESOLUCIÓN DEL MÉTODO	44
5.1. CONCLUSIONES GENERALES	48
5.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: CAÍDA DE LAS LEYES DE COBRE POR TIPO DE PROCESAMIENTO.....	16
TABLA 2: TECHNOLOGY READNESS LEVEL.....	24
TABLA 3: ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	27
TABLA 4: ESQUEMA DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR PARA TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS.....	28
TABLA 5: ESQUEMA SOBRE VALORES DE RESULTADOS DE RENDIMIENTO Y DESVIACIÓN A GRAFICAR..	28
TABLA 6: TIPOS DE TECNOLOGÍAS Y NIVELES DE INVERSIÓN.....	30
TABLA 7: CLASIFICACIÓN SOBRE IMPLEMENTACIÓN DE DISTINTAS INICIATIVAS TECNOLÓGICAS.....	31
TABLA 8: PROYECTOS DE LOS ÚLTIMOS TRECE AÑOS EN LA SEGUNDA REGIÓN.....	32
TABLA 9: IDENTIFICACIÓN DE TIPOS DE TECNOLOGÍAS CON MAYOR IMPACTO.....	34
TABLA 10: TABLA DE RENDIMIENTOS, VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	35
TABLA 11: TABLA DE COVARIANZAS ENTRE TIPOS DE TECNOLOGÍAS.....	36
TABLA 12: TABLA DE CORRELACIONES ENTRE TIPOS DE TECNOLOGÍAS.....	37
TABLA 13: RESULTADO DEL PORTAFOLIO CON PONDERADORES IGUALES, CASO BASE.....	37
TABLA 14: RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN POR MÉTODO SHARPE.....	39
TABLA 15: RESUMEN DE ANÁLISIS TORNADO PARA CASO SGO.....	44
TABLA 16: RESUMEN DE ANÁLISIS TORNADO PARA CASO LIXIVIACIÓN DE CALCOPIRITA.....	45
TABLA 17: RESULTADOS DEL CASO ESTUDIO POR MÉTODO SHARPE.....	46
TABLA 18: RESULTADOS DEL CASO ESTUDIO CUANDO SE MAXIMIZA EL RENDIMIENTO.....	47
TABLA 19: RESULTADOS DEL CASO ESTUDIO CUANDO SE MINIMIZA EL RIESGO.....	47
TABLA 20: RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN POR MÉTODO SHARPE.....	48
TABLA 21: RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN POR MÉTODO SHARPE.....	48

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PREÁMBULO

La evolución de la innovación y las tecnologías digitales y no digitales en los últimos años han mostrado, en un corto plazo, una nueva forma de tomar decisiones en casi todos los aspectos de la vida cotidiana y definitivamente la minería, la evaluación de yacimientos mineros y la cartera de accionistas no escapa a ello.

En paralelo, si proyectamos la tendencia mundial de baja en las leyes de los depósitos, nos justifica la necesidad de generar procesos mineros más eficientes, seguros y sustentables y, obviamente, más optimizados en todas sus etapas, por lo que una de las opciones para abordar este desafío es en la innovación y la evolución de nuevas tecnologías. La innovación inclusive puede lograr tecnologías que permitan explotar depósitos que hoy son marginales.

Sin embargo, cuando se quiere comenzar nuevos proyectos, las herramientas convencionales de evaluación en Chile, castigan sólo los nuevos procesos tecnológicos o equipos innovadores muchas veces solo por desconocimientos o, básicamente, porque no están probadas en escenario similares, argumentando un aumento en el riesgo de inversión capital, desincentivando a la utilización de estas nuevas oportunidades y generando un retraso en los posibles aportes o beneficios de estos avances.

Uno de los argumentos de este castigo descansa en las incertezas; como es la alta probabilidad de falla del plan de implementación y/o operación, acusando que en algunos puntos sería la falta de condiciones o limitaciones en el mercado local los que impactaría en el correcto funcionamiento de este nuevo instrumento, equipo, tecnología o inclusive en nuevos procesos productivos. Si la idea pasa este cuestionamiento viene la sesión de pruebas en pilotajes, demostración y finalmente la implementación industrial, aumentando la confianza, y normalmente llegando a resultados similares a los originalmente planteados; en resumen, la incerteza local limita avanzar a la minería a la velocidad que avanza el mundo de la innovación y tecnología.

Todo lo anterior deja fuera de la iteración todos las ventajas que estos nuevos desarrollos pueden aportar a la industria, no solo al que desarrolla directamente la iniciativa, sino también al entorno social-profesional y del negocio, creando una cultura más innovadora y con ello colaborativa, proactiva y resiliente; ejemplos claros son los beneficios de incorporación tecnologías de equipos mineros autónomos o tecnologías de medición de leyes en muestras sólidas y/o solución en línea; otro ejemplo con los nuevos procesos de lixiviación de sulfuros o en un futuro no muy lejano la minería remota.

Así, la tecnología e innovación como elementos claves para la creación y el sostenimiento de la ventaja competitiva en un mercado debe ser administrada de manera estratégica por cada empresa. El proceso de adquisición es un proceso clave para gestionar dentro de la administración tecnológica, pues constituye el punto de entrada de una tecnología a la empresa.

Además, a medida que un proyecto minero va incorporando estas nuevas tecnologías por parte de proveedores, los niveles de incerteza del éxito sobre la implementación van creciendo y de algún modo perjudicando el crecimiento en innovación interna de la misma, pero las circunstancias del

mercado y de recursos disponibles están acelerando la toma de decisión, por lo que el mecanismo debe cambiar apuntando a un sistema dual.

Por lo anterior es que se propone desarrollar un método que maximice el portafolio de inversión de proyectos mineros mediante un modelo de optimización que minimice el riesgo en la incorporación de tecnologías nuevas o no probadas en esta industria en Chile.

Esta investigación está organizada en 5 secciones. La primera sección corresponde a la presente introducción. La segunda sección se realiza una revisión del estado del arte en donde se revisan los fundamentos teóricos económicos, estadísticos y una breve reseña de la realidad de proyectos donde se recibieron tecnologías pioneras en la macro zona norte de Chile, enfocado en la Segunda Región de Antofagasta. En la tercera sección se describen el método que se plantea con un pequeño caso tipo esquemático en donde se describen los pasos y su representación gráfica. El cuarto segmento se muestran los datos utilizados para la implementación del modelo, resultados y el análisis de un caso de estudio. Finalmente, en la quinta sección se presentan las conclusiones y comentarios finales de la investigación.

1.2. MOTIVACIÓN

La motivación de este trabajo se fundamenta en la experiencia del autor en la evaluación de proyectos de Cobre en la región de Antofagasta; en estudios soportados por el área de innovación en los que normalmente las propuestas contemplan tecnologías que no estaban maduras o que carecían de pruebas industriales, pero que, sin duda, podrían aportar un alto potencial de valor a la organización apuntando a la disrupción como foco principal.

Basado en las reglas tradicionales de la industria, a medida que se realizaban los distintos métodos de análisis de riesgos, se castigaban la iniciativa que no contaban con el sustento de pruebas gobernado para cada una de las etapas de la aplicación de las tecnologías posponiendo aún más la implementación y el real impacto en la cadena que pudiera originar con su aplicación.

Debido a que la velocidad de la creación de nuevas tecnologías con el fin de resolver las nuevas necesidades de la industrial cambiante va más rápido que la velocidad de las pruebas requeridas para su verificación industrial es que se espera exista una evolución sobre la forma de evaluar estas incertidumbres con un sistema de medición en base a estadística y simulación desplazando el análisis cualitativo actual a uno cuantitativo acelerado.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Generar un Método que maximice el portafolio de inversión de proyectos de cobre que consideran la incorporación de tecnologías nuevas o no probada en esta industria.

1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

- Clasificación de tipos de tecnologías aplicables al cobre en la segunda Región de Antofagasta
- Caracterización de las incertidumbres por tipo de tecnología incorporada en minería del cobre.
- Utilizar método de optimización para minimizar el riesgo de la cartera de inversión.

1.5. METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO

Se presenta el procedimiento a seguir para llevar a cabo el ejercicio propuesto, con referencias sobre el desarrollo de cada etapa:

Se realiza un estudio del arte, analizando los proyectos en donde se consideraron aciertos de tecnologías disruptivas en mineras de cobre de la segunda Región de Antofagasta y cuales podrían haber sido los beneficios si otras, similares en temporalidad, hubieran abordado el mismo desafío.

Se clasifican los tipos de tecnologías actuales y futuras que pueden aplicar al mundo de la minería del cobre, principalmente para entregar el marco del estudio técnico, además útiles para efecto de configurar el estudio de caso.

Se trabaja en la generación de información necesaria para el estudio de caso, obteniendo niveles de riesgos por tipo de implementación.

Se utiliza optimización para determinar una solución óptima al problema de asignación de fondo a un portafolio de inversión de alternativas tecnológicas. El resultado se implementa con un caso aleatorio.

CAPITULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1.TECNOLOGÍA

Las diferentes etapas del desarrollo humano han ayudado notablemente a la evolución de las diferentes tecnologías y de las técnicas asociadas y, por ende, de las sociedades. El destello creativo, propia del género humano, que lo ha llevado desde la penumbra de las edades prehistóricas hasta la conquista del espacio, plantea un desafío estratégico nunca visto para los administradores y empresarios. Hamel y Välikangas (2003) sostienen que la única ventaja de la cual se puede depender es una capacidad superior para reinventar el modelo de negocio antes de que las circunstancias lo exijan; es decir, hablamos de la necesidad latente de desarrollar y gestionar culturas innovadoras, creadoras de nuevas reglas.

Es importante realizar una aclaración en este punto acerca del significado del término tecnología. Según Peter Drucker, tecnología es una declaración en cuanto combina techne con logos, saber organizado, sistemático y con un fin determinado. En un sentido más práctico, Ferraro y Lerch (1997) afirman que es el «conjunto ordenado de todos los conocimientos empleados en la producción, distribución y uso de bienes y servicios». No consiste únicamente en aparatos, sino en el conocimiento que ellos llevan incorporado y en la forma en que la sociedad puede emplearlos.

La tecnología como saber sistemático y aplicado constituye una fuente fundamental de nuevas ideas y de ventaja competitiva para que las empresas reinventen constantemente sus modelos de negocio, así como sus productos, asegurando su permanencia en el mercado. Dentro de las responsabilidades de la gerencia está la de adquirir, desarrollar y asignar los recursos de la organización para que apoyen la implementación de las estrategias. La tecnología como recurso de importancia relevante, así como la innovación como proceso de generación de capacidad futura, hacen parte de los recursos que la gerencia debe administrar para lograr sus objetivos estratégicos.

De la misma forma como cada organización evalúa las repercusiones que cada uno de sus planes de negocio tendrá sobre los objetivos estratégicos, así como sobre la generación de valor, también cada decisión relativa a la adquisición de nuevas tecnologías debe ser sometida a un análisis exhaustivo para verificar su pertinencia con la estrategia de la compañía. Dicho proceso incluye una serie de etapas, entre las cuales se encuentran el análisis técnico, el cualitativo o estratégico y el financiero, entre otros. La construcción de un modelo general para evaluar la pertinencia o no de una tecnología, desde un punto de vista netamente técnico, excluiría las particularidades de cada empresa y cada compra; por esto el modelo que se presentará parte del supuesto de que la evaluación técnica ya se ha completado y sólo falta realizar una revisión estratégica y financiera.

2.2.FACTOR ESTRATÉGICO

Desde una visión auténtica la estrategia refleja las dogmas de la alta gerencia acerca del éxito pasado y presente de la organización enmarcado dentro de cuatro aspectos: competencias intrínsecas (core competencies), mercadeo y producto, valores y personas, así como las relaciones

de estos elementos con el éxito de la empresa. De tal forma que para entender la estrategia de una compañía es necesario no sólo considerar las afirmaciones de la alta gerencia, sino también observar lo que la compañía está realizando (Burgelman, Maidique y Wheelwright, 2001).

Durante los años 80 los teóricos de la administración estratégica comenzaron a reconocer el papel preponderante de la tecnología en la definición del negocio y de la estrategia competitiva. Según Porter (2003), la tecnología es uno de los factores más prominentes que determinan las reglas de la competencia; desempeña un papel de primer orden en el cambio estructural, la creación de nuevas industrias y es un gran igualador, puesto que puede deteriorar la ventaja competitiva de firmas bien consolidadas y empuja otras a la vanguardia.

Para entender el papel de la tecnología dentro de una compañía debemos recurrir a dos conceptos: la cadena de valor y las fuerzas competitivas. La cadena de valor es la herramienta fundamental para conocer la función de la tecnología en la ventaja competitiva, por medio de la comprensión del impacto que los cambios tecnológicos tienen sobre las actividades de valor. Las estrategias genéricas permiten entender dichos cambios, cómo encajan dentro de la estrategia de la organización, diferenciación o costos, y cuál es su impacto estratégico dependiendo de cómo afecta la posición relativa de la empresa frente al mercado.

La tecnología puede estar representada en cualquiera de los eslabones de la cadena de valor (figura 1), no sólo en las actividades primarias sino también en las de apoyo o periféricas. Es esta presencia en todas las actividades de la cadena la que genera en ella nexos tecnológicos fuertes. Cada una de las tecnologías que intervienen en los diferentes procesos tiene una contribución al logro de los objetivos. Dicha contribución puede verse reflejada directamente en el bien o servicio entregado al consumidor final, por ejemplo, las materias primas o la formulación de los productos, o puede no ser apreciada por el consumidor, pero desempeñar un papel determinante para poder entregar el producto correcto para la estrategia, como es el caso de las tecnologías de manejo de materiales o el diseño asistido por computador.



Figura 1: presencia de la tecnología en la cadena de valor.

Los nexos mencionados pueden extenderse hasta los proveedores y clientes generando una interdependencia que puede ser usada como una gran ventaja competitiva frente a la competencia o simplemente ser un requisito esencial para poder competir en el mercado. Es así como los métodos de compra electrónica, pasan de ser un servicio adicional ofrecido como parte del servicio de venta a ser un requisito mínimo de las grandes cadenas.

El otro concepto para entender la importancia estratégica de la tecnología es el diagrama de fuerzas competitivas planteado por Porter (Figura 2), en el cual se explican, de manera sencilla, los factores que intervienen en el mercado y que afectan su estructura y, por tanto, el desempeño de una empresa dentro de éste.

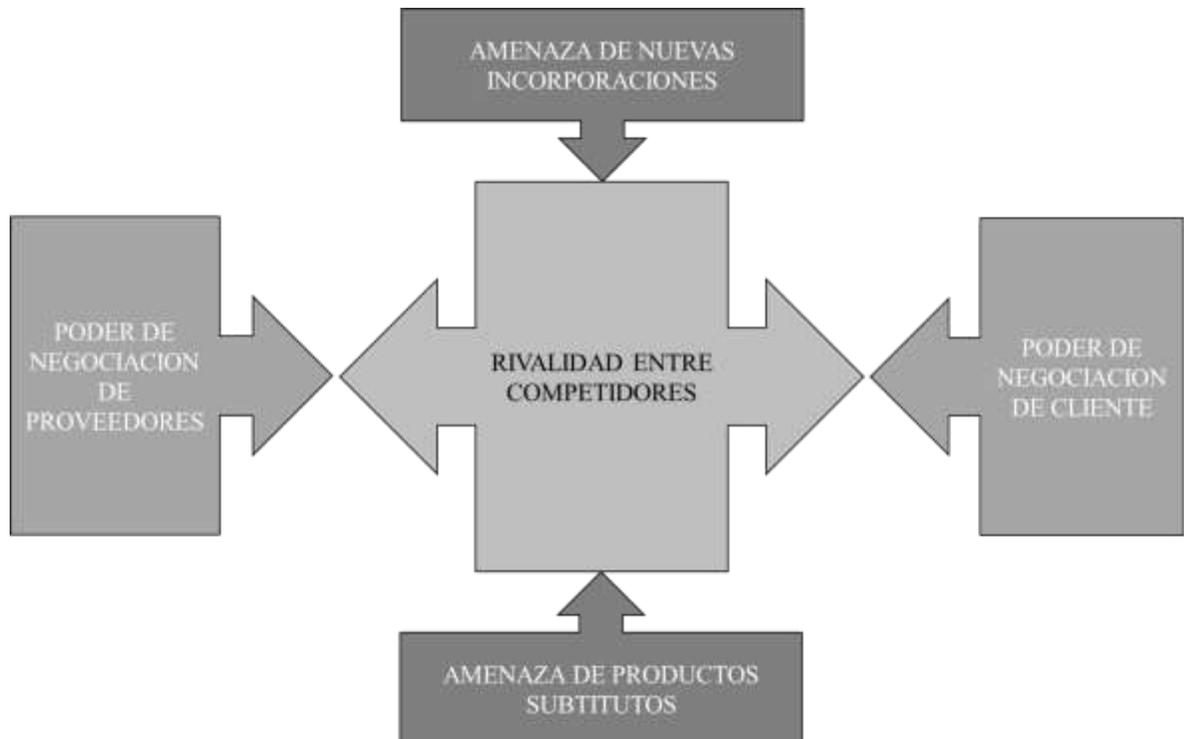


Figura 2: diagrama de fuerzas competitivas.

La tecnología afecta la ventaja competitiva si contribuye decisivamente a determinar la posición relativa de la empresa en el mercado en costos, diferenciación o en ambos. Además de afectar el costo o la diferenciación directamente, la tecnología también puede aportar a la ventaja competitiva incidiendo sobre estos factores de manera indirecta, acrecentando o disminuyendo las economías de escala, creando interrelaciones donde antes era imposible o generando nuevas oportunidades. Independientemente de la influencia que tenga sobre los factores de costo o diferenciación, un cambio tecnológico será exitoso cuando origine una ventaja competitiva sustentable en las siguientes condiciones:

- El cambio tecnológico reduce los costos o mejora la diferenciación y puede ser protegido contra imitación.

- El cambio tecnológico modifica los factores del costo o de la diferenciación, y el impacto sobre la compañía es mayor que en sus competidores aun cuando pueda ser imitado.
- El cambio tecnológico permite ejercer las ventajas del primer participante.
- El cambio tecnológico mejora la estructura global del mercado.

La tecnología es un factor importante en la estructura del mercado; su generalización puede modificar el atractivo del sector o las utilidades generales de los participantes, por ende, una empresa no puede establecer su estrategia sin tener en cuenta los impactos estructurales que podrá tener. En la figura 3 se muestran algunas de las repercusiones que un cambio tecnológico puede provocar sobre cada una de las fuerzas competitivas de la industria.

	Amenaza de nuevos competidores	Poder de negociación del cliente	Poder de negociación de proveedores	Amenaza de productos sustitutos	Rivalidad
Variables influenciadas por un cambio tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> • Economía escala • Curva aprendizaje • Capital necesario • Costos variables • Distribución 	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciación • Costos • Integración de la cadena 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura mercado (monopolio) • Oferta de sustitutos • Independencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Crea productos nuevos • Crea usos nuevos • Modifica relación precio/valor 	<ul style="list-style-type: none"> • Decisiones de precio • Diferenciación • Barreras de salida

Figura 3: efecto cambio tecnológico

2.3.LA EVALUACIÓN ESTRATÉGICA

La determinación de los factores cualitativos para la evaluación de tecnología puede generar un sinnúmero de discusiones acerca de la influencia que cada uno de ellos pueda tener sobre la posición competitiva de una empresa dentro del mercado. El éxito reciente de la competencia internacional, gran parte de la cual se fundamenta en la innovación tecnológica, ha alentado a las compañías a incrementar sus inversiones en tecnología, a veces con poco espíritu crítico y considerando que el solo hecho de realizar un cambio tecnológico generará beneficios sobre los resultados del negocio.

El proceso interno para evaluar una tecnología incluye muchas etapas, desde la identificación de las diferentes opciones y su evaluación técnica hasta la evaluación del impacto financiero que la implementación de una de estas opciones tendrá sobre el negocio establecido. La evaluación técnica es un punto fundamental de toda compra de tecnología y debe ser conducida antes que la evaluación estratégica y financiera, porque está asociada directamente con la capacidad de la empresa para introducirla en su proceso. Dicha capacidad puede o no existir actualmente en la empresa; si no existe, deben generarse las recomendaciones para alcanzarla y estas recomendaciones ser incluidas como puntos para considerar en la evaluación estratégica y financiera.

La evaluación estratégica debe comenzar por definir los factores que desean evaluarse para determinar el impacto de la tecnología sobre la empresa y su peso relativo dentro del resultado. Cada empresa puede determinar de manera independiente los factores y el peso relativo que desea

emplear, sin embargo, dichos factores deben hacer referencia al impacto que sobre la estructura de la industria y sobre la posición relativa de la empresa tendrá la tecnología. Es recomendable incluir dentro de los factores por evaluar la influencia del Gobierno y la política sobre el ambiente competitivo del país.

2.4.LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Sin duda alguna, los procesos de compra, venta, inversión, entre otros, que realizan las empresas tienen, y siempre deben tener, un objetivo único: creación de valor para los accionistas; por tanto, la misión principal de los administradores es la búsqueda de actividades que maximicen este valor percibido; una de estas actividades es la adquisición de tecnología para el mejoramiento de las ventajas competitivas de la organización.

La creación de valor debe manejarse con un enfoque de largo plazo; como tal implica que los administradores deben conocer en detalle cómo funciona la dinámica del negocio en el cual se encuentran. Es importante recordar que todo negocio tiene su propia economía. Planear valor a futuro implica, por tanto, administrar tres tipos de decisiones: inversión, operación y financiación.

Para analizar el desempeño de un negocio se puede recurrir a cualquiera de las herramientas contables y financieras que están al servicio de la administración: contabilidad financiera, análisis de la inversión y economía gerencial. Tanto la contabilidad financiera como la economía gerencial están basadas en un enfoque netamente contable, mientras que el análisis de inversión está basado en la generación de flujo de caja y estrategia.

Todas las decisiones en una compañía implican, con independencia de su tamaño, un intercambio entre capital de trabajo e inversión de largo plazo y tienen un impacto directo en el valor de la compañía. Todas las áreas de la compañía tienen la obligación de conseguir que tales decisiones siempre tengan un impacto favorable en el valor, es decir, son responsables de que todos los flujos de caja sean positivos y crecientes en el tiempo. La forma como se obtiene esto es mediante el equilibrio apropiado de las decisiones vistas. Es indudable que el papel del área financiera dentro de estas decisiones financieras es preponderante, sin embargo, como se mencionó, es vital recordar que la generación de valor para el accionista no es sólo responsabilidad de los financieros ni de sus modelos sino de todas las personas que trabajan en la organización. Cualquiera de las decisiones genera entrada y salida de efectivo, y es por este concepto como éstas comienzan a impactar la creación o destrucción de valor en el largo plazo. Se debe anotar que, en un negocio saludable, el balance entre las entradas y las salidas debe ser positivo en el largo plazo y adicionalmente ese flujo positivo debe ser suficiente para cubrir el costo de capital, de lo contrario el resultado será una destrucción de valor sistemática, sin importar los números que arroje el estado de resultados.

Hasta el momento se ha realizado un repaso de algunos de los puntos más importantes de la teoría financiera moderna, la cual, con algunas críticas, es la más aceptada y empleada en el mundo.

Tradicionalmente los equipos de finanzas han trabajado con escenarios determinísticos para el cálculo de sus indicadores financieros incluyendo opciones de sensibilización y, en el mejor de los casos, corriendo el modelo usando los árboles de decisión (pesimista, probable y optimista); siendo el más completo el último por involucrar dentro del análisis la probabilidad de ocurrencia de otros fenómenos. Sin embargo, este uso de opciones todavía no alcanza a reflejar el comportamiento

totalmente aleatorio de los eventos en el mundo que se conoce; como máximo, dentro de cada opción, se supone un comportamiento dado de todas las variables.

Si bien nadie puede garantizar que las predicciones se cumplan, sí es posible enmarcar esa aleatoriedad dentro de intervalos de confianza que permitan cuantificar la probabilidad de éxito o fracaso que se enfrenta y esto es fundamental para tomar la mejor decisión. El uso de las herramientas estadísticas para conseguir, más que un valor, una función de probabilidad que describa el comportamiento del proyecto, garantizará decisiones mejor informadas y mayores probabilidades de obtener el resultado perseguido que si se tuviera simplemente un valor específico.

En los modelos determinísticos la obtención de los datos para el análisis es más sencilla que en el estocástico, dada la necesidad de determinar tanto los indicadores de la distribución como la distribución misma que se debe emplear para cada tipo de variable. Si bien es posible demostrar por estadística que la mayoría de fenómenos tiene un comportamiento más o menos normal, esto no necesariamente es lo más ortodoxo cuando se analizan inversiones trascendentales por su importancia o por su valor.

Es necesario recalcar que el método determinístico cumple a cabalidad los objetivos de la valoración financiera y resulta relativamente sencillo de aplicar, requiriendo solamente los conocimientos básicos financieros para hacerlo; su uso y aplicación en las empresas puede y debe ser amplio con el fin de evaluar aquellas opciones que, por su valor o cotidianidad, no merezcan el uso extensivo de recursos. Por el contrario, al enfrentar proyectos de gran envergadura, bien sea por su impacto dentro de la estrategia general de la empresa o por el monto económico que implican, es recomendable exigir al máximo los recursos y correr los modelos empleando las herramientas que la estadística brinda; de esta forma la información será más confiable y se dejará cada vez menos campo a la especulación y al análisis subjetivo.

Dejando a un lado la metodología para la realización de análisis, es importante recordar que cuando se evalúan adquisiciones de tecnología uno de los factores más importante que debe tenerse en cuenta es el de los métodos de pago. A diferencia de la mayor parte de las inversiones que se hacen ordinariamente, en las de tecnología se ofrecen métodos variados de pago, incluso heterogéneos entre los diferentes proveedores; dichas formas de pago pueden convertir una inversión muy rentable desde el punto de vista operativo en un desastre financiero para la compañía. Los métodos de pago son únicos para cada transacción que se realice; dependen, en gran parte, del nivel de transferencia de tecnología involucrado y de los participantes; sin embargo, los modelos pueden generalizarse a los siguientes: pago de contado, pago inicial (down payment) más una cuota fija, pago inicial más un porcentaje de ventas o de utilidad.

La labor del equipo negociador es evaluar la tecnología desde dos frentes: operativo y financiero. En el primero se debe llegar a la conclusión de si la tecnología es o no la indicada para suplir las necesidades de la organización y, además, agregar valor estratégico y económico. Ninguna tecnología que destruya competitividad o valor operativo debe ser adquirida. Una vez se seleccionen aquellas tecnologías que cumplen las condiciones anteriores, se debe proceder a evaluar los métodos de pago, tanto los propuestos por el proveedor como aquellos que el equipo negociador determine que serán parte de su contrapropuesta.

2.5. INCERTIDUMBRE

Dentro del área de la psicología y las ciencias del comportamiento, el estudio de la toma de decisiones comprende el análisis de las condiciones y los procesos cognitivo-conductuales que explican cómo y por qué un agente decisor asume un curso de acción en una situación determinada y cuáles son los factores involucrados en la resolución exitosa de un problema (Ranyard, Crozier y Svenson, 1997; Payne, Bettman y Johnson, 1993).

El área de investigación de la toma de decisiones engloba un amplio conjunto de aspectos vinculados con criterios de evaluación, habilidades cognitivas y capacidades socio-ambientales implicadas en los procesos de resolución de problemas (Bodenhausen y Todd, 2010).

En el ámbito económico, la investigación sobre el proceso de toma de decisiones se ha centrado principalmente en desarrollar modelos formales basados en la teoría de la utilidad esperada (Hastie y Dawes, 2010; Plous, 1993). En dichos modelos predomina una visión basada en un agente racional que toma decisiones estimando, mediante un cálculo probabilístico de sus alternativas, las consecuencias dentro de un conjunto fijo de preferencias.

No obstante, la evidencia experimental acumulada en las últimas décadas demuestra que la mayor parte de las decisiones tomadas por los individuos en diversos contextos de intercambio se realizan con un nivel considerable de incertidumbre; casos en los que los modelos estándar de utilidad esperada son difícilmente utilizables, ya que los agentes violan sistemáticamente los axiomas considerados por la teoría de la elección racional (Stein, 1996; Kahneman 2003 y 2011).

2.6. MODELO DE LA UTILIDAD ESPERADA EN LA ECONOMÍA

Dentro del espacio de la teoría económica, los principales modelos explicativos del proceso de toma de decisiones se han centrado en el análisis consecuente de los criterios normativos que constituyen la elección racional (Arthur, 1992; Plous, 1993; Gigerenzer y Goldstein, 2011). Estos desarrollos desembocan en una vertiente de estudio que permea en todos los niveles del análisis económico, denominada teoría de la utilidad esperada, la cual establece una pauta conductual basada en la elección racional como criterio fundamental en la toma de decisiones, lo cual implica un reconocimiento previo y exhaustivo, por parte del agente, de las diversas alternativas para la solución de un problema de decisión, así como la cuantificación sistemática de las mismas en términos de valores numéricos que representan la probabilidad esperada de cada evento (Hastie y Dawes, 2010; Ove Hansson, 2005). En este sentido, el supuesto de elección racional está basado en fuertes condiciones epistémicas sobre la manera en que un agente decisor representa un problema y cómo elige la mejor alternativa dada cierta restricción de recursos.

De acuerdo con este criterio de elección racional, la única posibilidad estratégica de acción para los diversos agentes económicos es la maximización de la utilidad esperada, o bien, su equivalente, la minimización de los costos. Dentro de este marco explicativo, el proceso de toma de decisiones consiste en la identificación exhaustiva de preferencias por parte del agente y su jerarquización con base en la probabilidad que le asigna a cada una de ellas. Por ello, el modelo dominante de toma de decisiones en economía se limita a conceptualizar este proceso como la representación exhaustiva del problema por parte del agente y, por consiguiente, una búsqueda también exhaustiva de las opciones que maximicen su utilidad.

El modelo de elección racional asigna parámetros probabilísticos a las posibles alternativas de decisión, calculados a partir de las preferencias y de las expectativas de ocurrencia asignadas a cada una de ellas. Si las elecciones de un agente satisfacen los axiomas básicos del modelo, entonces es posible derivar una función de utilidad que permite asignar un valor numérico a la correlación entre preferencias y consecuencias probabilísticas de cada una de las alternativas. Ese valor numérico representa lo que se denomina utilidad esperada para cada alternativa.

La elección entre un resultado X y uno Y depende, en última instancia, de cuál de los dos tiene el valor numérico más alto. Si $X > Y$ y $Y > Z$, se asume que la opción X se preferirá ante la opción Z, lo cual se conoce como axioma de transitividad.

En términos generales, esta regla de decisión es conocida en el ámbito económico como maximización de la utilidad esperada. Como se ha mencionado, esta teoría se ocupa sólo de una parte del problema de toma de decisiones: la manera en que el agente representa el problema y la evaluación que lleva a cabo para resolver un curso de acción entre varias alternativas posibles asumiendo racionalidad plena en el proceso.

No obstante, desde mediados del siglo XX, se ha desarrollado una extensa investigación experimental cuyos resultados han demostrado que los agentes individuales violan sistemáticamente los axiomas del modelo de utilidad esperada (Kahneman, Slovic y Tversky, 1982; Payne, Bettman y Johnson 1993; Gigerenzer y Selten, 2001). Se ha planteado, por ejemplo, que en un gran número de situaciones de intercambio los agentes no muestran transitividad en sus preferencias (Lichtenstein y Slovic, 1971); se ha establecido también que al momento de evaluar un problema los agentes no sólo consideran las alternativas a futuro, sino que también evalúan los costos “hundidos” (sunk costs) de sus acciones.

En términos generales, lo que ha demostrado la investigación experimental en el campo de la toma de decisiones es que existe un conjunto de procedimientos y estrategias de decisión que los agentes individuales ponen en práctica al afrontar diversos problemas que se desarrollan en entornos dinámicos y que difícilmente se corresponden con los axiomas de los modelos de utilidad esperada (Ostrom, 2005; Smith, 2008).

La principal conclusión que puede extraerse de estos trabajos es que en situaciones en donde el entorno de decisión es cambiante y la información incompleta el procedimiento de evaluación racional de las alternativas es improcedente.

Dados los avances conceptuales y explicativos referentes al proceso de toma de decisiones mencionados aquí, la teoría económica ha comenzado a sufrir un lento proceso de transición hacia planteamientos más sistemáticos que consideran la naturaleza compleja del agente y de su entorno, así como la gran incertidumbre que implica el intercambio económico.

2.7.EL PROCESO ADAPTATIVO EN SITUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

El término incertidumbre se define como una situación en la que un problema de decisión difícilmente puede ser representado en términos de las consecuencias probabilísticas de cada alternativa posible (Gigerenzer, 2008). La mayor parte de los problemas en contextos de intercambio económico se caracterizan por no propiciar una representación exhaustiva de todas las alternativas de solución (Arthur, 2000 y 1992; North, 2005). Para que puedan aplicarse satisfactoriamente los axiomas que la elección racional estipula, como hemos señalado

previamente, se requiere una representación completa y exhaustiva de todas las alternativas que conforman el espacio de solución a un problema. Comúnmente, los agentes económicos enfrentan problemas más definidos o con información incompleta que impiden inferir las consecuencias probabilísticas correctas (Simon, 1969; Gigerenzer, 2001)

Retomando los puntos mencionados anteriormente, es posible afirmar que una comprensión más exhaustiva de los procesos de toma de decisiones en el ámbito económico implica considerar el modelo estándar de utilidad esperada como un caso particular con aplicación limitada a los problemas poco complejos y bien estructurados, en los que los agentes son capaces de realizar inferencias precisas sobre las posibles soluciones. Es pertinente ampliar el horizonte explicativo y considerar explícitamente las restricciones cognitivas que caracterizan a los agentes económicos, así como las restricciones ambientales que se caracterizan por ser variables y complejas. Resulta necesario entonces explorar otras características que influyen en la solución de problemas de manera exitosa.

La primera característica relevante es que la toma de decisiones implica un proceso adaptativo que se desarrolla en función de la interrelación entre un agente que cuenta con recursos determinados y un ambiente con una estructura específica. (Gigerenzer, Todd y ABC Group, 1999; Simon, 1969)

Una segunda característica de gran importancia en esta discusión es que las capacidades para la toma de decisiones son una función especializada de la estructura de problemas que se quieren resolver y del ambiente de interacción en el que el agente se sitúa, de tal manera que los resultados también dependerán del contexto de aplicación. Uno de los aspectos esenciales de los problemas en situación de incertidumbre es la variabilidad de escenarios de interacción (Cosmides y Tooby, 1994; Tooby y Cosmides, 1992). A una escala evolutiva, la diversidad de problemas de intercambio económico ha implicado considerar estrategias y reglas específicas de decisión para la obtención de resultados dependiendo de circunstancias y factores contextuales muy específicos. Las estrategias que han funcionado bien para la solución de un problema particular podrían no resultar tan eficientes para la solución de otros, o incluso resultar contraproducentes, por lo que no existe una única estrategia óptima para resolver todos los problemas de intercambio económico (Arthur, 1992 y 2000).

2.8. SELECCIÓN DE PORTAFOLIOS DESDE UN ENFOQUE DE MEDIA VARIANZA: MARKOWITZ

La teoría del portafolio tiene como base el artículo publicado por Harry Markowitz titulado Selección de Portafolios en 1952. Previo a la publicación de Markowitz, las decisiones de inversión de portafolios se basaban en el análisis individual de los activos. Inversionistas como John Burr Williams (1938) argumentaban que el valor de un activo era igual al valor presente neto de los dividendos futuros y que para formar un portafolio el único criterio de selección debía ser la rentabilidad histórica de los activos. En contraste Markowitz (1952) argumentaba que dado que los dividendos futuros son desconocidos, el valor de un activo debería ser el valor presente neto de la rentabilidad futura y que para analizar un portafolio no era suficiente considerar las características individuales de los activos que lo componían. Por el contrario, argumentaba que dentro de los criterios para formar portafolios de inversión se debía tener en cuenta los movimientos conjuntos de los activos que conforman el portafolio representados por la covarianza entre los activos. Es

decir, la varianza de un portafolio depende de la varianza de los activos y la covarianza entre los activos; por tal razón, al modelo presentado por Markowitz se le denominó el modelo de Media-Varianza. Este modelo ha servido como base de la teoría moderna del portafolio y es la principal referencia del modelo Black-Litterman.

El modelo Media-Varianza asume que el administrador de portafolio tiene como objetivo encontrar un portafolio óptimo tal que maximice la rentabilidad al mínimo nivel de riesgo posible. Los datos necesarios para formar un portafolio óptimo son las expectativas de rentabilidad de cada activo medido como el promedio histórico de su rentabilidad, las varianzas para cada activo y las covarianzas entre todos los activos del portafolio. La optimización del modelo puede ser formulada de dos maneras distintas pero equivalentes, las cuales se presentarán a continuación junto con su respectiva notación:

$$E[R] = R_1 w_1 + \dots + R_n w_n = R'w$$

$$Var[w] = \sum_{i,j} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j w_i w_j = w' \sum w$$

R se refiere a la rentabilidad que es la variación del precio de un activo entre 2 periodos. Las mejores prácticas de mercado utilizan el logaritmo natural del cociente entre el precio de dos periodos de los activos tal como se observa en la siguiente fórmula:

$$R_t = Ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$

Donde P_t es el precio actual y P_{t-1} es el precio del periodo anterior. La conveniencia de utilizar este rendimiento es expresar el

Para calcular los posibles portafolios óptimos, el inversionista debería resolver cualquiera de los siguientes problemas de optimización:

Minimizando la Varianza:

$$Min_w W^T \sum W$$

$$W^T R = R_p$$

$$\sum_{i=1}^n w = 1$$

O maximizando la Rentabilidad:

$$\text{Max}_w W^T R$$

$$W^T \Sigma W = \sigma_p^2$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Una vez que se minimiza la varianza del portafolio dado un nivel de riesgo, o se maximiza la rentabilidad dado un nivel de riesgo se obtienen todas las posibles combinaciones riesgo y retorno tal como se observa en la siguiente figura

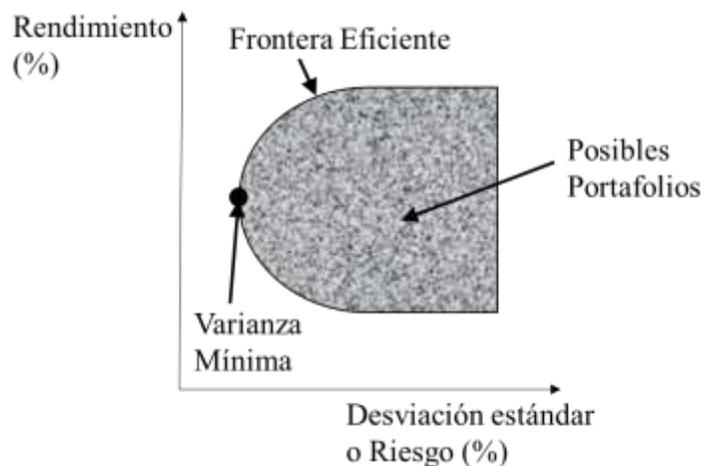


Figura 4: frontera eficiente. Fuente Mankert (2006).

La frontera eficiente se obtiene para el caso de la minimización de la varianza dado un nivel de retorno, optimizando los portafolios de inversión variando el nivel de retorno deseado. El portafolio óptimo se obtiene donde la razón de Sharpe sea mayor.

Todas las combinaciones a la derecha de la curva se podrían obtener, mientras que los portafolios ubicados en la izquierda de la curva no son factibles. A todos los portafolios ubicados sobre la curva se les denomina conjunto de mínima varianza dado que, para cada nivel de retorno esperado, el punto sobre la curva representa la mínima varianza posible de obtener. Sin embargo, los portafolios ubicados en la parte superior de la curva son los únicos considerados como eficientes dado que para los portafolios ubicados en la parte inferior de la curva siempre será posible escoger otro portafolio con mayor retorno esperado y con el mismo nivel de riesgo.

2.9. ÍNDICE DE SHARPE

El índice de Sharpe fue llamado así en honor a su creador, el economista William Sharpe (1970). El índice es una medida del exceso de rendimiento por unidad de riesgo de una inversión, la cual indica cual ha sido el rendimiento promedio que ha obtenido un portafolio por unidad de riesgo adquirido. El índice de Sharpe es calculado de la siguiente forma:

$$S = \frac{R_P - R_F}{\sigma_P}$$

Donde, R_P = Rendimiento mensual del portafolio, R_F = Tasa libre de riesgo, σ_P = Riesgo del portafolio, calculado como la desviación estándar del portafolio, S = Índice de Sharpe.

El índice de Sharpe mide el rendimiento en exceso sobre la tasa libre de riesgo de un portafolio por unidad de riesgo. Por lo tanto, entre mayor sea el índice de Sharpe, mejor desempeño presenta el portafolio. En esta investigación se calculó el índice de Sharpe con una periodicidad mensual.

2.10. MÉTODO DE MONTE CARLO

Bajo el nombre de Método Monte Carlo o Simulación Monte Carlo se agrupan una serie de procedimientos que analizan distribuciones de variables aleatorias usando simulación de números aleatorios. El Método de Monte Carlo da solución a una gran variedad de problemas matemáticos haciendo experimentos con muestreos estadísticos en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico. Generalmente en estadística los modelos aleatorios se usan para simular fenómenos que poseen algún componente aleatorio. Pero en el método Monte Carlo, por otro lado, el objeto de la investigación es el objeto en sí mismo, un suceso aleatorio o pseudo-aleatorio se usa para estudiar el modelo.

A veces la aplicación del método Monte Carlo se usa para analizar problemas que no tienen un componente aleatorio explícito; en estos casos un parámetro determinista del problema se expresa como una distribución aleatoria y se simula dicha distribución.

La simulación de Monte Carlo también fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, para solucionar estas integrales se usaron números aleatorios. Posteriormente se utilizó para cualquier esquema que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas, el cual es usado para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante.

La simulación de Monte Carlo es una técnica que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen los ordenadores para generar números pseudo aleatorios y automatizar cálculos.

2.11. PROYECTOS MINEROS DE LA MACRO ZONA NORTE EN LA ULTIMA DECADA

En los últimos 15 años, la minería nos ha llevado a situaciones que no podemos dejar pasar en alto, es así como en distintos ciclos y súper ciclos, hemos aprendido a sobrellevar aprendizajes de utilización de tecnología e innovación para suplir estos acontecimientos.

Si la industria es tan variable, no tenemos muchas referencias que nos sirvan a estimar el futuro, pero lo que si podemos entender a simple vista es la tendencia a la baja de las leyes de cobre. Estas inclusive han superado los paradigmas de operación, haciendo factibles escenarios que hasta hace más de trece años era impensado. Por ejemplo, en la tabla 1 se observa las leyes en promedio de los principales tipos de procesamiento en Chile, y que las concentradoras actualmente están operando con índices que solamente eran rentables para los casos de lixiviación de los años 2007 o 2008. Esto nos referencia a hacer más esfuerzos para cambiar los paradigmas y entender que siempre las oportunidades serán variables del contexto en el que se plantean. Eso fue la motivación para los próximos proyectos que vamos a describir en cambiar definitivamente los clásicos por lo nuevo en temas que, para muchos, ya estaban al máximo rendimiento.

Operación Ley promedio	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Concentradora	1,05	0,97	0,97	0,92	0,87	0,85	0,89	0,9	0,87	0,81
Lixiviación Dump y/o ROM	0,47	0,29	0,43	0,43	0,43	0,49	0,41	0,43	0,4	0,39
Lixiviación Heap	0,78	0,69	0,68	0,67	0,65	0,66	0,66	0,67	0,64	0,6
Promedio Chile	0,87	0,74	0,76	0,75	0,7	0,72	0,71	0,72	0,69	0,65

Tabla 1: caída de las leyes de cobre por tipo de procesamiento (fuente: mineriaabierta.cl)

2.11.1. SPENCE Y LA BIOLIXIVIACION

Dentro de la gran minería del cobre, en los últimos 15 años se han ejecutado proyectos que han aportado al desarrollo y la innovación, pero, entre ellos, las decisiones sobre la continuidad de estas nuevas ideas, no fueron consideradas. Sin duda, se entiende que cada una de ellas fueron evaluadas en escenarios y tiempos distintos, pero claramente la desconexión fue uno de lo que se aprecia.

Vamos a empezar con el proyecto Spence, minera ubicada en la comuna de Sierra Gorda y que su puesta en servicio se realizó en el año 2007. Desde su concepción, se propuso utilizar la tecnología de punta, sobre todo en temas de seguridad y salud de las personas. Su sistema de control de neblina acida, inédito hasta ese momento en Chile y una maquina 100% despegadora de cátodos 100% automática era una de los orgullos de la planta EW más moderna del mundo en ese momento. Pero sin duda, la gran apuesta de la minera era el proceso. Fue la primera minera en Chile que utiliza la Biolixiviacion de mineral sulfuro secundario en pilas dinámicas, con una operación en paralelo con el clásico circuito de óxido. Todo ello simplificado con la dualidad de un tren de SX con sus dos etapas de extracción y un stripping común.

El hecho de utilizar bacterias en un proyecto minero mayor, con un Capex de más de un billón de dólares, para procesar un mineral sulfurados, que, a esa fecha solo se podía hacer en el método convencional de concentración y flotación, era una apuesta al real quiebre tecnológico.

Esta innovación apostaba con abrir la puerta a nuevas oportunidades de procesamiento para dichos minerales y pretendía satisfacer la necesidad demostrar finalmente esa tecnología a escala industrial. Claramente la decisión de Spence fue un éxito en todos los aspectos, bajando sustancialmente los costos operacionales, además del bajo consumo de agua y energía; sin embargo, el efecto que buscaba nunca se concretó y cada nuevo proyecto de sulfuros mantuvo las tradicionales plantas concentradoras.

2.11.2. DIVISIÓN GABRIELA MISTRAL Y LOS CAMIONES AUTÓNOMOS

Casi en paralelo, BHP Billiton y Codelco desarrollaban dos de los proyectos considerados como los más innovadores de la década. Por un lado, la Biolixiviación de sulfuros y por el otro los fabulosos Camiones Autónomos.

Fue tanto el nivel de cercanía entre ambos proyectos, que prácticamente compartieron la ingeniería básica con la reconocida Aker Kvaerner. Ambas apuestas con pilas de lixiviación dinámicas, y equipos de reclamos tipo rotopala.

No obstante, ambos proyectos tendrían escenarios de factibilidad totalmente distintos. Gaby, con una ley prácticamente marginal de 0,41%, mineralización oxidada de corto ciclo de lixiviación, con una ganga que subían el consumo de ácido a niveles casi dramáticos. Su misión era más simple que la de su competidor en términos de proceso; aumentar tonelaje y utilizar procesos convencionales. Su apuesta para ello era simple; asegurar la continuidad operacional en la mina y en la planta, disminuyendo mano de obra y reemplazarla con tecnologías.

Por lo mismo, en su puesta en servicio 2007 Mina Gaby S.A., era una minera full automatizada en todos sus sub procesos. Sin duda los equipos más destacables eran sus CAEX robotizados de alto tonelaje, los cuales le entregaban el reconocimiento de la primera minera autónoma del mundo.

Además de la mina, la planta contaba con otros equipos 100% autónomos en los que se destacaban el apilador, rotopala, esparcidor radial de rípios, planta de SX con sensores para medir continuidades enlazados a un sistema de control tipo experto que aseguraba la estabilidad y finalmente una nave de electroobtención con puentes de cosecha automáticos asociados con la máquina despegadora totalmente autónoma. Adicionalmente, en el ámbito de energías renovables, fue Gaby quien se aprobó con el primer parque eólico en la región de Antofagasta, el cual era capaz de abastecer casi el 30% de su consumo total; además cuenta con una planta de calefacción solar, la cual reduce en más de un 80% los consumos de combustible fósiles necesarios para operar el patio de estanque de electrolitos.

Sin duda los 1,2 billones de dólares invertidos en la visión de tener la última tecnología hacían de Gaby la minera más moderna del mundo.

Actualmente, aún se reconoce a Gabriela Mistral por lo disruptivo en su propuesta, aportando en la historia de la minería con el próximo paso en las grandes operaciones del mundo. La autonomía es una tendencia clara en la renovación de equipos y estrategia de expansiones, de forma reducir la exposición de personas a los riesgos inminentes de una operación, y desde el punto de vista del negocio, entregando más rendimiento, disponibilidad, confiabilidad a los equipos, además en las operaciones de rajo abierto, entrega la oportunidad de aumentar la pendiente del talud haciendo más eficiente la extracción y explotación del depósito.

2.11.3. CENTINELA Y EL AGUA DE MAR

En el año 2010 el proyecto Esperanza daba los primeros indicios de la envergadura del impacto que generaría en la minería local. Un yacimiento de cobre y oro ubicado a 30 kilómetros de Sierra Gorda, Región de Antofagasta. El cobre sulfurado de baja ley y escasez de agua hacia pensar que podrían seguir el ejemplo de Spence en el desarrollo de un proceso lixivante para abordar el desafío, sin embargo, los planes estaban apuntando a solucionar el problema de una forma totalmente distinto; el uso de agua de mar sin desalar en sus procesos sería su apuesta.

Parte de la estrategia era que en el muelle ubicado a 145km de la mina, en el sector de Michilla, se ubicarían los sistemas de aducción y primera estación de bombeo, tecnologías que hacia posible conducir el agua de mar hacia la mina. También ese era el punto final del concentraducto que poseería una capacidad de almacenamiento de 70.000 ton de mineral para su posterior embarque. Las diferencias de cota entre la mina y el muelle eran 2.300 m.s.n.m.

El gasto en infraestructura asociada al uso de agua de mar correspondió a un 20% de los 2,6 Billones de dólares que costó la minera, sin embargo, fue la mejor opción para rentabilizar el proyecto. Cabe destacar que de los 620 l/s de agua de mar destinados a la mina, sólo un 10% sería desalado y estará destinado para el lavado del concentrado en el muelle de embarque y el sistema de refrigeración del molino. Es decir, esta agua marina está principalmente destinada al proceso de concentración del cobre.

Otra de las innovaciones es el uso de tecnología de relaves en pasta posicionándose como pioneros en su utilización industrial a gran escala. De acuerdo con las condiciones de la zona, esto permitirá un mayor ahorro de agua al tener mayor concentración de sólidos y alta estabilidad física por lo que sísmicamente son más estables que los tranques de relaves convencionales. Además, tienen una emisión de material particulado casi nula y mayor estabilidad, química lo que evita las infiltraciones a las capas subterráneas.

Este proceso se llevaría a cabo en tres espesadores de 60 metros de diámetro de alta densidad y alto torque donde alcanzarán un espesamiento de 67% de sólido para obtener la consistencia de pulpa que es enviada hacia un estanque de distribución donde se disminuye su viscosidad para facilitar su posterior bombeo hacia el depósito de relaves.

2.11.4. MINISTRO HALES DE CODELCO Y EL ARSÉNICO

Mansa Mina, como anteriormente se llamaba este yacimiento, fue uno de los grandes dolores de cabeza para Codelco por casi tres décadas. El nombre referencia un deposito con una gran cantidad de mineral, pero con un problema no menor; Enargita. Nuevamente la solución clave para la viabilidad del proyecto fue la innovación y tecnología, en este caso, para contrarrestar el arsénico contenido en el mineral y se logró mediante una planta de tostación.

División Ministro Hales está ubicada a 2.600 metros de altura, a casi 10 kilómetros al norte de Calama por el camino que une a esta ciudad con Chuquicamata y se encuentra en operaciones desde 2010 con uno de los desarrollos a rajo abierto más extensos de la gran minería.

Actualmente, división Ministro Hales es uno de los complejos productivos de cobre más modernos del país, con una inversión inicial de más de 3 billones de dólares y siendo el proceso de

tostación el que lo distingue del resto de las plantas nacionales. Debido al alto contenido de arsénico que tiene el mineral en origen, debe pasar por el tostador vertical más grande del mundo, para transformarse en calcina, un concentrado de alta pureza con altos porcentajes de cobre y plata, que puede ser fundido en Chuquicamata o vendido directamente a mercados internacionales.

El sello de Ministro Hales está determinado por el uso de la tecnología e innovación en sus procesos, con un funcionamiento verde que respeta la normativa medioambiental y que está en permanente contacto con las comunidades. Además, siguiendo la línea tecnológica, DMH cuenta con una innovación que sin duda ha marcado un precedente sobre las futuras operaciones nacionales; La primera sala de despacho y de control de plantas remota.

2.11.5. SIERRA GORDA SMC Y EL MOLIBDENO

La innovación fue un eje clave en este desafío, entre los que destacan los esfuerzos por optimizar el recurso hídrico en las operaciones. Para esto se apostó, de igual manera que Centinela, por la construcción del acueducto Mejillones – Sierra Gorda, que, a diferencia de la otra faena, esta aportó importantemente para el medio ambiente de la zona de la bahía de Mejillones al recuperar agua de descarte del enfriamiento de turbinas eléctricas de la termoeléctrica AES Gener, aportando cerca de 5.000 m³/h de este recurso a la operación.

Con una puesta en marcha durante el 2013, esta operación de una inversión original de 2 billones de dólares, se transformó en una inversión final de más de 4 billones, por lo que los esfuerzos en temas de innovación fueron una necesidad inminente por los compromisos adquiridos, así otra de las primicias fueron los molinos HPGR (High Pressure Grinding Roller), únicos en Chile, es una tecnología de trituración que minimiza significativamente el gasto de energía y asegura la competitividad de la industria del cobre.

Pero sin vacilación uno de los aspectos que más destaca en Sierra Gorda SCM y en el cual pretenden ser protagonista en el mercado, es en materia de producción de molibdeno. De acuerdo con las proyecciones efectuadas por la minera, en los primeros cinco años de vida se producirá el equivalente al 50% de la producción actual de Chile de este mineral, lo cual sin duda lo hace un actor importante del mercado.

Actualmente se reconoce como la operación de planta cobre-molibdeno más grande del mundo, con una capacidad para producir más de 60 millones de libras de molibdeno anualmente. Es un hecho que esta generación de “co-productos” es la que permite a Sierra Gorda operar en el primer cuartil de costos C1 de la industria.

Otro de las apuestas de la minera fue la decisión de embarcar todo su concentrado por Antofagasta, utilizando la última tecnología contenedores herméticos. Sin titubeo, no fue la mejor jugada. El proyecto contemplaba la construcción de galpones y correas en el puerto de la Capital de la Segunda Región, el cual se encuentra en medio de la ciudad. Inmediatamente la comunidad hizo entender su descontento con esta decisión, realizando campañas y protestas para detener la construcción. Aquí tenemos una experiencia de una mala implementación, de que si bien, el concepto del uso de la tecnología cumplía el rol para lo que se requería, no incluyó uno de los factores más relevantes; el factor comunitario.

2.11.6. SPENCE Y EL CLORURO COMO LA LLAVE PARA LA MEJORA CONTINUA

Si bien desde sus orígenes, la Biolixiviación era la clave para el procesamiento de minerales sulfuros secundarios, fue en el 2012 cuando un proceso de mejora continua seria y sistemática dio sus primeras aproximaciones a lo que se convertiría a un giro radical respecto a este procesamiento. Paradójicamente el cloruro, el cual era un control de impurezas riguroso para el proceso BioLix, sería la mejor técnica para competir con las siempre elevadas recuperaciones en los procesos de concentración. Un salto estratosférico hacia la convicción de que es posible revolucionar el mercado de los sulfuros de cobre con procesos simples y baratos.

Con una inversión de poco menos de 200 millones de dólares, la minera se puso como objetivo principal aumentar sustancialmente su producción, a pesar de la baja sostenida de las leyes y la disminución de sus mixtos. El cloruro mostró todo su potencial y elevó las recuperaciones desde 70% en un proceso bacteriano con 600 días de ciclo, a un impensado 82% en la mitad del ciclo. Sin dudas marca un precedente histórico y además abre la puerta para el próximo salto evolutivo en lo que respecta a la hidrometalurgia; la codiciada lixiviación del sulfuro primario.

2.11.7. ANTUCOYA CONVENCIONAL CON MUY BAJA LEY.

Minera Antucoya comienza la operación en el año 2016, y está ubicada en la Región de Antofagasta, en el límite de las comunas de Mejillones y María Elena, y se constituye como un yacimiento de cobre que extrae minerales oxidados, desde un rajo abierto, los que procesa a través de lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro-obtención. En rigor, es un proceso convencional para ese tipo de mineral, pero al ser un yacimiento de cobre de tipo pórfido de baja ley, del orden del 0,35%, se esforzó en generar un negocio rentable su operación utiliza un modelo de negocios más agresivo, empleando, igual que otras mineras de su alianza, un 100% de agua de mar sin desalar. Su Capex estimado fue de 1,9 Billones de dólares y su producción estimada es de 80 kton de cobre fino tipo cátodo anual.

2.11.8. OTRAS INNOVACIONES EN GENERAL

Dentro de las innovaciones que más destacan podemos mencionar el mega proyecto de Minera Escondida Ltda respecto a su plan de la no dependencia de aguas altiplánicas, por lo que su mega planta desoladora de 2.500 l/sec es sin duda una innovación destacable, así como el costo de los 3.4 Billones para concretarla.

Otro diseño destacable es la realizada por Minera Los Pelambres, perteneciente al grupo Antofagasta Minerals, por su proyecto de innovación de Generación de Energía en Correas Transportadoras de Mineral. La iniciativa consiste en la generación de energía a través del sistema de transporte de mineral desde Chancado-Mina, hasta el sector de Stock Pile en la planta Concentradora. Así, esta innovación le permite a Minera Los Pelambres contar con una potencia instalada de hasta 22 MW, equivalente al consumo promedio de más de 26 mil hogares.

En minera El Teniente ya se ve como una realidad la fortificación mecanizada y la operación total de equipos por tele comando. No sólo es un punto sin retorno, es además un salto cuántico, como cuando se dejó de usar perforadoras manuales y se trajeron jumbos electrohidráulicos. En el futuro la fortificación la van a hacer máquinas, no personas. Y son estas últimas las que se verán beneficiadas por no operar presencialmente en el fondo de mina.

En el mismo contexto esperamos los resultados de las decisiones que se tomaron sobre los mega bloques en la operación de Chuquicamata subterránea.

2.11.9. MINERÍA Y LA ERA DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL

Tal como se expuso anteriormente, fue División Ministro Hales quien comenzó por la carrera de los proyectos con operaciones remotas en Chile y además fue la que abrió las puertas para poner en duda la capacidad de actualización de los sistemas de comunicación y de redes actuales.

Para ello muchas faenas comenzaron hace poco un trabajo exhaustivo para levantar las reales condiciones y proyectar su capacidad de toma de decisión como se esperaría en el siglo 21. Todo aquello de forma de alinearse con otros mercados productivos que actualmente son parte del selecto grupo de la industria 4.0.

Sin embargo, cada minera tiene sus propias definiciones del futuro que espera, por lo que no es simple el estudio para esta etapa del estudio.

Uno de los focos importantes es asegurar la disponibilidad de las actuales redes inalámbricas en faena instalando antenas 4g/LTE, las cuales ayudan a la comunicación formal entre los trabajadores, pero además en temas tan sensibles como los procesos de radares geotécnicos de botaderos, o las futuras salas de control remotas y obviamente la autonomía de los equipos mineros.

Las redes tipo fibra óptica son también parte fundamental de la comunicación entre los datos de la mina con el mundo exterior, por lo que es fundamental garantizar la disponibilidad del sistema de transmisión de información con servidores y data centers expansivos.

También, la necesidad de contar con el dato en tiempo real significa que la generación de plataformas digitales exclusivas de interacción entre un usuario y las bases de datos, un foco interesante de administración y gerenciamiento a distancia reduciendo inclusive los recursos en la reportabilidad no enfocada al valor del negocio.

Finalmente, y solo por nombrar algunos, también se piensa en la evolución de nuevos sensores que primero, aumente la confiabilidad de la información, y segundo, aumente el tipo de información de proceso incorporando más variables críticas que hasta el día de hoy aún no están resultas.

Obviamente el afán de esta información es solamente dar a conocer una pequeña pincelada del escenario actual de la minería, del impacto que ha llevado la globalización y la necesidad de asegurar una competitividad en tecnológica digital según los requerimientos de los inversionistas y los agentes tomadores de decisiones.

2.12. LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS.

Dependiendo del tipo de proyecto y su envergadura, el gerente de este debe ser reflexivo de las limitaciones y posibilidades de cada enfoque especialmente porque los ámbitos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D) tienen un alto nivel de incertidumbre y riesgo.

Esto significa no solo que la ejecución del proyecto y los resultados esperados pueden diferenciarse sustancialmente de los objetivos iniciales trazados, sino que, además, dichos resultados diferentes pueden ser incluso igual o más valiosos si éstos permiten el desarrollo, exploración o validación de nuevas ideas o hipótesis inicialmente no consideradas. En este punto las normas técnicas asociadas a desarrollo mencionan que a veces conseguir algo nuevo, distinto del objetivo previsto, o no conseguir el objetivo, es un resultado apropiado para la I+D.

Este mayor nivel de incertidumbre y riesgo con este tipo de variaciones hace necesario disponer de una gestión de riesgos efectiva para asegurar el cumplimiento del propósito del proyecto en donde la tolerancia al error, y la apertura para tomar resultados contraproducentes como parte del proceso natural de la innovación, serán fundamentales al momento de considerar los planes de acción antes las desviaciones que seguramente se irán presentando durante el desarrollo del proyecto.

Respecto al riesgo e incertidumbre, el PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). A guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBOK). PMI Standards Committee. 2013., mencionan: “sobre la incertidumbre no se puede actuar si no es a través de ganar conocimiento en el propio proyecto de I+D. El riesgo del proyecto, sin embargo, puede gestionarse, es decir, puede ponerse en relación con las oportunidades de negocio que genera y tomar decisiones que, por aproximación y a lo largo del tiempo de desarrollo, acoten los riesgos asumidos al nivel de los aceptables para la empresa”.

Además, de acuerdo al PMBOK, la Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos relacionados con la planificación de la gestión de riesgos, la identificación y el análisis de riesgos, las respuestas a los riesgos, y el seguimiento y control de riesgos de un proyecto; la mayoría de estos procesos se actualizan durante el proyecto.

En el caso concreto de proyectos de desarrollo tecnológico e innovación, un enfoque como el APM (Agile Project Management), ofrece una serie de beneficios que permite mitigar el riesgo dada su capacidad para responder a los problemas en el momento adecuado y en línea con las expectativas de los clientes o usuarios.

Según Gómez y Medina (Escuela de Organización Industrial. eoi.es. 2012.), el riesgo puede clasificarse como riesgo tecnológico y riesgo de mercado. El riesgo tecnológico expresa el riesgo de que el proyecto de I+D no llegue a generar la tecnología esperada y esto depende de la dificultad técnica que encierre. El riesgo de mercado está en que las aplicaciones de la nueva tecnología no sean aceptadas por el mercado, y en nuestro caso particular, cuando las mineras no alcanzan a adoptarlas a la velocidad que el prototipo sale al mercado, por lo que la competencia marca inclusive el riesgo al cambio por la respuesta desconocida en el proceso minero. Este tipo de riesgo depende entonces de la aceptación por parte de los clientes, de cómo la nueva tecnología satisface sus necesidades o expectativas.

Para mitigarlos, el gerente de proyectos tecnológico junto con sus patrocinadores debe ser consciente que los resultados esperados no necesariamente llegarán en el primer intento. Para

innovar sin duda se requiere tener una buena dosis de tolerancia al error, siempre y cuando sea de buena fe, de tal manera que aprender de las equivocaciones capitalizando el error, se constituye en una de las principales virtudes que tiene los gerentes y empresas altamente innovadoras. Este es uno de los grandes paradigmas sobre los cuales deben trabajar las empresas si desean dar el salto hacia una cultura de la innovación.

2.12.1. RIESGO BASADO EN EL GRADO DE MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA.

Una consideración adicional en proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación que incide directamente en el riesgo asociado es el grado de madurez de desarrollo de dicha tecnología. Este grado de madurez o Technology Readness Level (TRL), es un concepto desarrollado por la NASA el cual da una cuantificación subjetiva de 1 A 9 sobre la madurez de las tecnologías.

Desde la investigación básica (TRL-1) hasta la introducción completa de la nueva tecnología al mercado (TRL-9); esta descripción permite determinar diferentes niveles de riesgo considerando que cuanto más bajo es el TRL, mayor será el riesgo por emplear dicha tecnología para el desarrollo de un nuevo bien o servicio, es decir, el riesgo de adoptar una tecnología está dado en función de su grado de madurez.

Es importante también resaltar que debido a que el Agile Project Manager se basa en la capacidad de tomar decisiones con rapidez, existe un riesgo implícito para las organizaciones que tienden a deliberar sobre cuestiones durante un período prolongado o para aquellas cuyas decisiones por pequeñas que sean, dependen de un comité integrado por muchas personas o de solo los líderes o sponsor del proyecto cuyo tiempo o posibilidad de coordinación de agendas es complejo. En ese sentido, la gestión de equipos auto dirigidos, auto organizados y transversal es fundamental para que el proceso fluya de la mejor manera posible garantizando así mayor probabilidad de éxito en el desarrollo de proyectos de innovación.

Pero la desconexión con la velocidad del requerimiento por parte de las empresas mineras que buscan procesos nuevos y que esperan el producto, también puede contribuir a que estas decisiones no sean las más adecuadas. Es ahí cuando la incerteza de la utilización de estas nuevas innovaciones se limita por la prueba más representativa a la realidad requerida por el cliente, y que en resumen estas se encuentran en el TRL 8 o 9

Qué medidas son las que se pueden tomar para que el caso no sea tan demandante del tiempo que por muchas razones es muy limitado, o que ofrece hoy en día la nueva industria tecnológica para acelerar esta demostración, son parte de los desafíos que esta tesis también busca entender, de forma de que quizás si la NASA lo creó con un fin de poder innovar y además, por ejemplo, asegurar el retorno de un tripulante sano y salvo, cuando se mira la innovación sin esa componente de daño a una persona, no sea tan necesario, y la evaluación se considere con otras herramientas estadísticas como la planteada en este trabajo.

La tabla a continuación describe de manera general los proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación

Ciencia Tecnología e Innovación		TRL	Alcance / descripción
CIENCIA	Descubrimiento e investigación	1	Los principios básicos son observables (INVESTIGACIÓN BÁSICA)
		2	Se formula un concepto tecnológico (Investigación aplicada, invención)
TECNOLOGÍA	Desarrollo Tecnológico (Materialización de los resultados de la investigación)	3	Prueba de concepto (Desarrollo experimental)
		4	La tecnología se valida en el laboratorio (Validación)
		5	la tecnología se valida en un entorno relevante (Experimentación)
		6	la tecnología se valida en un entorno relevante (Demostración)
INNOVACIÓN	Innovación y comercialización	7	Existe un prototipo que demuestre la utilidad de la tecnología en un entorno operativo. Fabricación de lotes de prueba.
		8	El sistema está validado y completamente desarrollado (producto)
		9	El sistema está operativo en entorno reales (mercado)

Tabla 2: Technology Readness Level. (TRL).

2.12.2. RIESGO BASADO EN LA INCERTIDUMBRE Y NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN.

Finalmente, y respecto al grado de incertidumbre, Gómez y Medina (Escuela de Org Industrial. eoi.es. 2012.), hacen un análisis muy acertado sobre incertidumbre y nivel de conocimiento que transcribo a continuación.

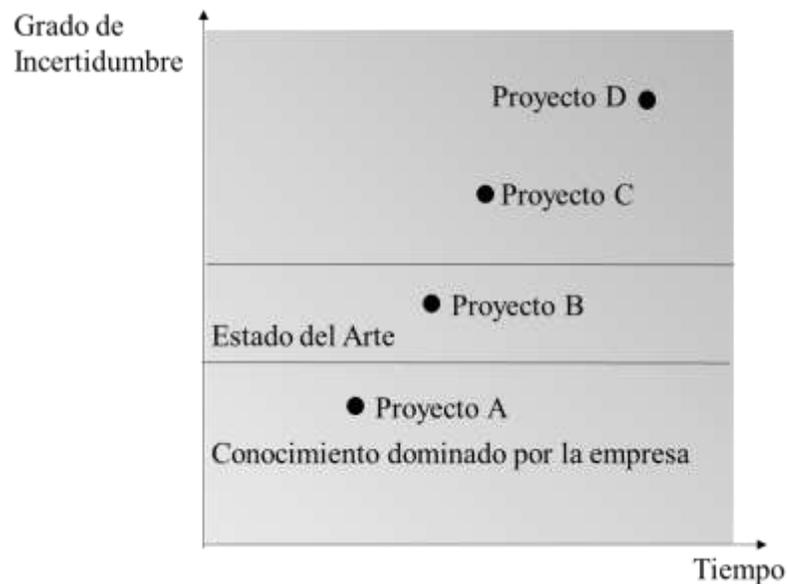


Figura 5: Grado de incertidumbre y nivel de conocimiento. (Escuela Org. Industrial, Sp, 2012)

La Figura 5 representa simbólicamente el nivel de conocimiento disponible en la sociedad, lo que en términos especializados suele llamarse “el estado del arte”. Por encima de esa línea no hay conocimiento real, sino expectativas de conocimiento. Es el área donde hay que buscar el nuevo conocimiento. Por debajo del estado del arte, están los conocimientos y tecnologías disponibles en la sociedad y, como es lógico, muchos de ellos no son manejados o dominados por una empresa determinada. Por ello, una segunda línea horizontal delimita los conocimientos y tecnologías que esa empresa domina. El eje vertical de ordenadas representa el grado de incertidumbre de la empresa en el dominio y manejo del conocimiento.

Un proyecto como el A, situado por debajo de la línea de conocimiento de la empresa, representa una innovación tecnológica con poca incertidumbre y riesgo moderado. Se van a manejar teorías, conceptos y tecnologías en los que la empresa tiene experiencia con lo que se puede tener una razonable seguridad de alcanzar los objetivos de desarrollo previstos, sin invertir demasiado tiempo.

Si el proyecto se sitúa en la zona de conocimiento existente pero no dominado por la empresa, (Proyecto B de la Figura) la incertidumbre crece, pero el hecho de que éste exista en otras empresas, en centros de investigación en la universidad, etc., hace posible acceder a él. El acceso será más o menos difícil, pero es posible adquirir esas tecnologías y conocimientos y aprenderlos.

El proyecto, sin embargo, requerirá más tiempo porque se carece de experiencia de uso de los nuevos conocimientos y, posiblemente, entrañe mayor incertidumbre y riesgo que en el caso anterior. Por encima del estado del arte, un proyecto de I+D debe generar conocimiento estrictamente nuevo. Predecir la probabilidad de éxito se vuelve más incierto a medida que la distancia al eje del estado del arte es mayor. La sensación de riesgo crece y el tiempo de desarrollo también. (Proyectos C y D de la Figura 5).

Finalmente, y basado en el riesgo asociado según el grado de innovación tecnológica, los mismos autores resumen en la tabla siguiente de acuerdo al tipo de innovación (Incremental o disruptiva), el riesgo asociado para cada una de ellas. Se entiende como innovación incremental la creación de valor sobre un producto o servicio que ya existe, añadiéndole nuevas mejoras; mientras que la innovación disruptiva se produce cuando se logra incorporar al mercado productos o servicios que en sí mismo son capaz de generar nuevas categorías que no se conocía antes, representando así un punto de inflexión que se enfoca en la base de un concepto absolutamente nuevo.

TIPO DE INNOVACIÓN	RIESGO ASOCIADO
<p><i>INNOVACIÓN INCREMENTAL:</i> se refiere a pequeños avances en el concepto o en la aplicación de una tecnología. Suelen ser limitados avances tecnológicos en alguno de sus componentes de conocimiento que conforman esa tecnología o en el conjunto de ellos, que producen una mejora de las características, un aumento de las prestaciones de la tecnología o un ahorro de costes.</p>	<p>La innovación incremental supone una estrategia de defensa y mejora de la cartera de productos con los que se compete. El coste y el riesgo asociados a la innovación incremental son aceptables y controlables, fundamentalmente, porque el tiempo necesario para su desarrollo no es largo, el cambio generado pequeño y el coste tampoco es, financieramente hablando, comprometedor para la empresa.</p>
<p><i>INNOVACIÓN RADICAL:</i> Se trata de un cambio profundo en el concepto y aplicación de la tecnología. A diferencia de la innovación incremental, la base de conocimientos y tecnologías de la empresa no es suficiente para el propósito de innovación que se acomete. Se necesita nuevo conocimiento para la empresa. Puede que ese conocimiento esté disponible en la sociedad, bien en universidades y centros de investigación, bien en otras empresas y sectores industriales.</p>	<p>Se comprende que el riesgo tecnológico de estos procesos es elevado. La I + D puede no llegar a generar los nuevos y necesarios conocimientos, pero en el caso de que se consigan, con ellos se van a sacar productos nuevos con características y propiedades desconocidas en el mercado. Junto al riesgo tecnológico, existe, pues, un importante riesgo de mercado que expresa la incertidumbre asociada a que el producto innovador satisfaga realmente a los clientes. Si los nuevos productos fracasan, las pérdidas económicas serán cuantiosas. Si tienen éxito, la diferenciación conseguida y los altos márgenes que proporciona la innovación, distinguirán a la empresa.</p>

CAPÍTULO III

3. METODO PROPUESTO

3.1. DEFINICION DEL METODO

El método sugerido primeramente necesita organizar los tipos de tecnologías disponibles en la industria minera dispuestos en la Segunda Región de Chile, estos considerado como tecnologías digitales y las tecnologías no digitales, o que están involucradas directamente en las operaciones unitarias del proceso minero; estos deben ser clasificadas en 3 parámetros que son considerados para determinar algún nivel de incerteza.

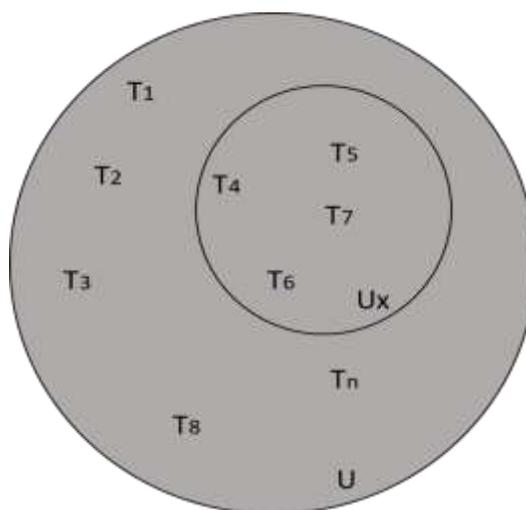


Figura 6: Esquema del Universo de Tecnologías disponibles y selección de un subconjunto.

El primer parámetro es el rango de inversión, el otro es la duración de la implementación y finalmente que tan riesgoso puede significar su implementación. Esta clasificación pasa de una estimación cuantitativa a una cualitativa y viceversa dependiendo de la etapa que se encuentre dentro del método. Primeramente, se discrimina que todas las tecnologías con un riesgo de inversión medio/alto son los necesarios para abordar el peor escenario, siempre y cuando no se detecte algún caso en particular que se quiera incorporar. En este ejemplo se descarta la T7.

Tecnología	Rango de Inversión	Implementación	Riesgo de Inversión
T4	Bajo/Medio/Alto	Corto/Medio/Largo	Bajo/Medio/Alto
T5	Bajo/Medio/Alto	Corto/Medio/Largo	Bajo/Medio/Alto
T6	Bajo/Medio/Alto	Corto/Medio/Largo	Bajo/Medio/Alto
T7	Bajo/Medio/Alto	Corto/Medio/Largo	Bajo/Medio/Alto

Tabla 3: esquema de clasificación de tecnologías.

Ahora es muy útil discriminar por tecnología in-house o alguna desarrollada por algún vendor de forma de adicionar otro factor relevante a la evaluación de tecnologías no maduras. En el ejemplo no lo estamos considerando.

Con esta etapa desarrollada, se puede considerar los datos empíricos de los costos de implementación o inversión para comenzar a fabricar un árbol de decisión con algunos supuestos y consideraciones solo en los casos de que no existan suficientes datos. La primera que se pueda considerar es que la distribución puede ser triangular, con valores Mínimos, Medios (el dato conocido) y Máximos.

Tecnología	Min CAPEX (\$)	Media CAPEX (\$)	Max CAPEX (\$)
T4	X-a	X	X+b
T5	Y-c	Y	Y+d
T6	Z-e	Z	Z+f

Tabla 4: Esquema distribución triangular para tecnologías seleccionadas

Esta es la base de datos necesarias para comenzar la implementación de la varianza media de Markowitz; como primer paso aumentamos la cantidad de datos haciendo una cantidad razonable de simulaciones manteniendo la distribución gracias a Montecarlo.

Para estos datos reales y simulados se procede a calcular la rentabilidad o rendimiento entre ellos por cada una de las tecnologías, aplicando la ecuación anteriormente descrita. Con estos valores, se calcula la Varianza, desviación estándar y el rendimiento medio de cada uno de los tipos de tecnologías los que servirán para graficar la frontera eficiente en el gráfico de Sharpe. Los valores se organizan en una tabla similar a la siguiente, haciendo el eje horizontal la desviación estándar o riesgo.

	T4	T5	T6
Rendimiento Medio	G%	J%	M%
Varianza	H%	K%	N%
Desviación Estándar	I%	L%	P%

Tabla 5: Esquema sobre valores de resultados de rendimiento y desviación a graficar

A los mismos puntos graficados se calcula la covarianza y las correlaciones entre los distintos tipos de tecnologías. Una vez con esta información hacemos las ponderaciones iguales para encontrar el punto que estará dentro de la frontera eficiente de Sharpe. En este caso, como se trata de 3 Tecnologías, cada ponderador es 33,33% originalmente.

Luego se hacemos la matriz de Markowitz haciendo el ponderador al cuadrado por la covarianza. La sumatoria de todos esos valores corresponde a la varianza del portafolio, la que ayuda para calcular la desviación estándar del portafolio. El retorno esperado se calcula como la

sumatoria de todos los rendimientos o retornos medios multiplicado por la ponderación o peso de la tecnología. En este caso, se describe en el siguiente grafico como una estrella ubicada aleatoriamente dentro de la zona de posibles portafolios.

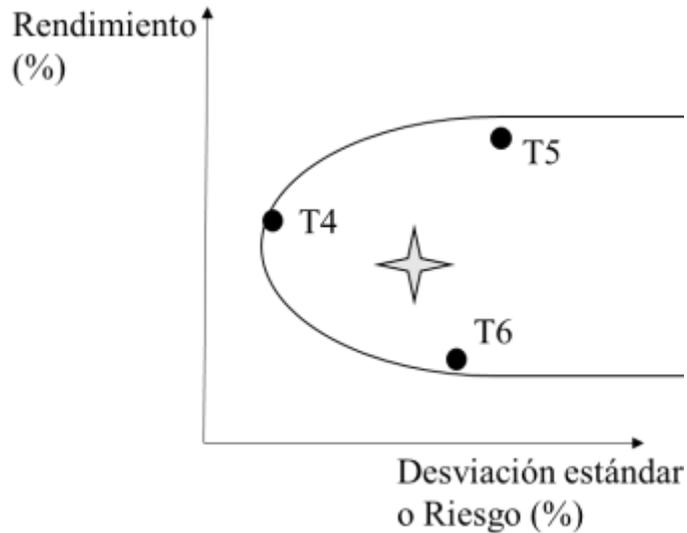


Figura 7: Representación de valores en la frontera eficiente de Sharpe con ponderación base.

Posteriormente se puede optimizar este punto ya sea minimizando el riesgo o la desviación estándar del mismo punto calculado o maximizando rendimiento del portafolio. Para esto, a través de Excel solamente se deja como valores de salida los ponderadores de las tecnologías, con ello se asegura que una u otra tecnología puede influir en el objetivo optimo buscado. En resumen, a medida que se optimiza el método, las opciones de selección de las distintas tecnologías van variando en peso o distribución, lo que hace que cada escenario distinto sean algunas tecnologías más atractivas para la selección que otras con menos peso.

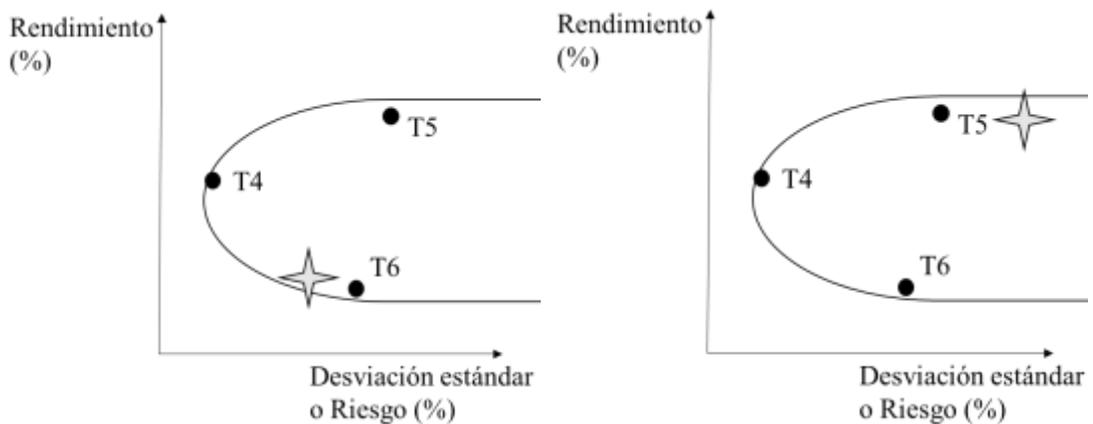


Figura 7: Representación de la optimización de la cartera del portafolio, Izquierda con mínimo Riesgo, Derecha maximizando el Rendimiento.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADO

4.1.RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL METODO

La metodología propuesta, se inicia realizando un levantamiento de los tipos de tecnologías que se encuentran en las distintas operaciones de la gran minería en la segunda región. Este levantamiento se realiza consultando contactos en cada faena y seleccionando los más relevantes, que tengan relación con las faenas más recientes y que involucren innovaciones fuera del marco normal esperado.

Como resultado de este estudio se obtiene el siguiente resumen, obteniendo dos grandes grupos de tipos de tecnologías: las tecnologías digitales y las no digitales.

Tipo de Tecnología	Rango de Inversion	Implementacion	Riesgo de Inversion
Digital			
○ Salud, Higiene y Seguridad	bajo	corto	bajo
○ Proceso			
▪ Sensing	medio	medio	bajo
▪ Inteligencia Artificial	medio	medio	medio
▪ Control Automático	medio	medio	bajo
○ Software – Sistemas			
▪ planificación	medio	corto	bajo
▪ gestión/administracion	medio	medio	bajo
▪ Modelamiento	bajo	bajo	bajo
▪ Base de datos	medio	largo	bajo
○ Comunicación			
▪ Radial	bajo	corto	bajo
▪ Telefonica	bajo	corto	bajo
▪ GPS	medio	medio	bajo
▪ Internet	bajo	medio	bajo
▪ Redes	medio	largo	bajo
No Digital			
○ Salud, Higiene y Seguridad	bajo	corto	bajo
○ Proceso			
▪ Mining y extraccion	media	corto	bajo
▪ Trasporte	media	medio	alto
▪ Procesamiento	alto	largo	alto
▪ Trasporte del producto	media	corto	alto
▪ Shipping	bajo	corto	medio

Tabla 6: tipos de tecnologías y niveles de inversión

Además de la clasificación por tipo de tecnología, se identifica que estas pueden ser aplicadas en áreas específicas dentro del negocio minero, en donde se destaca, por ejemplo, para la tecnología

digital, las áreas de comunicación, que sin duda es cada día más necesario para acelerar la toma de decisión y que con ello aporta sustancialmente a la administración de una faena. Todo esto, sin olvidar el contexto en el que las mineras de la segunda región se emplazan en el mapa, las cuales normalmente alejadas de las grandes ciudades y con dotaciones entre propio y externos, de más de mil personas.

Siguiendo en el mundo digital, también se destaca todos los desarrollos para ayudar y controlar la salud de las personas. Utilizando sistemas de control en línea de ritmos cardiacos o fatiga de las personas, haciendo control de riesgo inclusive en equipos móviles, con sensores de control de bermas o burbujas de interacción equipo-equipo.

Después de recolectar la mostrada en la tabla 1 información se realiza una clasificación estimada de cuáles son los rangos de inversión, los pazos de implementación y el riesgo de inversión, las cuales son especificadas en la siguiente tabla:

	Rango de Inversion MUS\$	Implementacion meses	Riesgo de Inversion %
Bajo/Corto	menos de 20	6	menos de 20
Medio	20 a 199	7 a 24	21 a 79
Alto/Largo	200 o +	25 o +	80 o +

Tabla 7: clasificación sobre implementación de distintas iniciativas tecnológicas

Comenzaremos con el plazo de implementación, entendiendo que una implementación corta involucra a lo más 6 meses, y por consiguiente, mucho de estas son de bajo nivel de inversión y los resultados no involucran un riesgo considerable por los posibles efectos que esto podría conllevar. En esa línea, normalmente esos tipos de implementación son utilizados en áreas de salud o en comunicación.

Para proyectos digitales con periodos de implementación media, normalmente se esperaría un nivel de inversión más elevado, principalmente por los costos que ameritan proyectos de este estilo, pero su riesgo de inversión, normalmente son bajas.

Los niveles de riesgo bajos principalmente se pudiesen explicar por la dependencia normalmente de este tipo de implementación a empresas externas o vendedor, las cuales vienen con estrategias probadas en otras industrias. El escenario cambia cuando el desarrollo es interno, lo cual discutiremos más adelante.

No se identificaron niveles de inversión altos, por lo que el riesgo de inversión nunca supera el nivel medio para esta clase de tecnología.

Por otro lado, tenemos el tipo de tecnología no digital, y normalmente este tipo está más asociado a la operatividad del negocio. El involucramiento de áreas externas e internas de las compañías es la primera característica de este tipo de desarrollos, en donde, si la innovación es interna hay un proceso mucho más exhaustivo para la validación de los posibles beneficios, más que cuando se compra el servicio por la implementación, la cual normalmente está probada en otra industria y más que todo se apuesta por resultados similares en el contexto minero del cobre. En la tabla se puede ver que esta clase se aplica en toda la cadena de valor del negocio minero, destacando que en el proceso los procesos de implementación son largos, con un alto nivel de inversión y un riesgo que nunca será medio o bajo. Todo esto debido tema estratégico de las empresas, en donde,

la disponibilidad de equipos o líneas de procesos son escasas y en rigor, una modificación independiente del tamaño involucra a toda la organización.

Una vez realizado el estudio se realiza el levantamiento de los casos reales y con información accesible en los reportes de sustentabilidad de las compañías inversoras, desde el año 2006 cuando minera Spence comienza este proceso de crecimiento de explotación en la segunda región involucrando tecnologías no probadas hasta ese momento, intentando demostrar que se puede obtener resultados distintos haciendo cosas que hasta ese momento no estaban probados a nivel industrial. Al año siguiente División Gabriela Mistral parte con otra iniciativa disruptiva, generando un tipo de carrera tecnológica en la región, en los proyectos nuevos como en las operaciones existentes. Ese espíritu es también parte de los beneficios que generan cuando la innovación se hace con sentido y responsabilidad pensando como objetivo final la reducción de costos en post de un negocio sustentable y competitivo al mismo tiempo.

En la siguiente tabla se muestran el resultado de este levantamiento,

	P Marcha	c1	Capex	Capex 2018	Cu Fino	Capex/ton	1° Tecnología	2° Tecnología	3° Tecnología
	año	cUS\$/lb	MUS\$	MUS\$	kton/año	MUS\$/kton			
Minera Spence	2006	140	\$ 990,00	\$ 1.259,00	150	\$ 8,39	BioLix Sulfuros	Tren SX Multi Procesos	Captadores Neblina H+
Division Gabriela Mistral	2007	119	\$ 1.200,00	\$ 1.484,00	150	\$ 9,89	Camiones Autonomos	Energia Renovable	
Minera Centinela	2011	136	\$ 2.600,00	\$ 2.827,00	228	\$ 12,40	Agua de Mar	Concentrado	
Division Ministro Hales	2013	100	\$ 3.300,00	\$ 3.645,00	176	\$ 20,71	Abatimiento Arsenico	Sala Remota	
Minera Sierra Gorda	2014	150	\$ 4.200,00	\$ 4.566,00	220	\$ 20,75	Chancador Rotatorio	Agua de Mar	Embarque Puerto
Minera Antucoya	2015	168	\$ 1.900,00	\$ 2.098,00	80	\$ 26,23	Lix Acida Oxidos	Planta Convencional	
Proyecto Spence FullSal	2016	110	\$ 199,00	\$ 209,00	50	\$ 4,18	Lix Cloruro Sulfuros		

Tabla 8: proyectos de los últimos trece años en la segunda región

Del total de 7 proyectos ejecutados desde el 2006 en adelante en la segunda región de Antofagasta, los cuales fueron descritos en el capítulo anterior, se proceden a ordenar por fecha y se trabaja en la obtención del C1 o costos de directo por libra de cobre; la idea principal es no incluir en este estudio el beneficio por otros commodities o subproductos de algunas operaciones. Además, se lleva al presente el costo de la inversión inicial o Capex considerando para ello herramientas financieras.

Todo este trabajo finalmente nos entrega un término de Inversión por tonelada de cobre producido que referencie cada operación y nos permita comparar en algún punto que tan competitivo es este proyecto.

Nuestra primera observación es un proyecto con un nivel de medianamente logrado y se traduce en el alto costo considerando que no se realizan desarrollos de innovación destacables, haciendo nulas las oportunidades por reducir costos operativos. Es este el caso en que la alternativa por un proceso convencional es cuestionada y que pudo haber utilizado tecnologías previamente probadas para bajar los costos de explotación. Por ejemplo, en un informe emitido por Cochilco (Cochilco 2015) se entiende que el 50% de los gastos entre el 2005 al 2014 eran principalmente en remuneraciones y otros servicios, por lo que, si atendemos esos puntos con utilización de automatización o quizás una incorporación de sistemas de administración utilizando inteligencia artificial, estos costos bajarían. Haciendo más concreto el comentario, si este proyecto hubiera incluido en su marco exploratorio la utilización de camiones autónomos, por ejemplo, el costo mina podría reducirse entre un 15 a un 20%. (Caroca, S. 2016)

Ahora si nos fuéramos más allá y seleccionamos un proceso que no está implementado aún en alguna operación con las características similares, como es el caso de minería In Situ, haríamos de este yacimiento una suerte de súper proyecto enfocado y optimizado para el tratamiento de muy bajas leyes de minerales oxidados en un polo con muy baja densidad poblacional.

Por otro lado, destacamos los casos en donde el resultado de la innovación no fue logrado. El caso de los contenedores encapsulados de la minera Sierra Gorda con puerto de embarque la ciudad de Antofagasta. Este proyecto fue duramente criticado por la ciudad, realizando manifestaciones que fueron comentadas en todo el país, incluso con una orden judicial de detención de construcción de su galpón principal de acopio en dicho puerto. Si bien, en términos de inversión respecto a producción de cobre se encuentra en el rango superior, fue este evento comunitario el que terminó por cuestionar el éxito de esta iniciativa. En efecto, esta paralización afectó económicamente la construcción haciendo que la minera invirtiera más de dos billones de dólares americanos para acelerar la construcción una vez que volvió a tener la autorización para continuar la ejecución del cuestionado galpón.



Imagen 1: noticias de la prensa local de Antofagasta donde se observa manifiesto de la comunidad

Finalmente mencionaremos un caso de éxito rotundo; Minera Centinela, el cual marcó un precedente en el uso de agua de mar si desalar y, con ello, los paradigmas operacionales al respecto. Una tendencia marcada en el reporte público de una página de minería abierta (mineriaabierta.cl), muestra cómo impacta esta decisión y como el resto de los nuevos proyectos comienzan se suman a reducir el consumo de aguas superficiales y privilegiar el consumo marino.

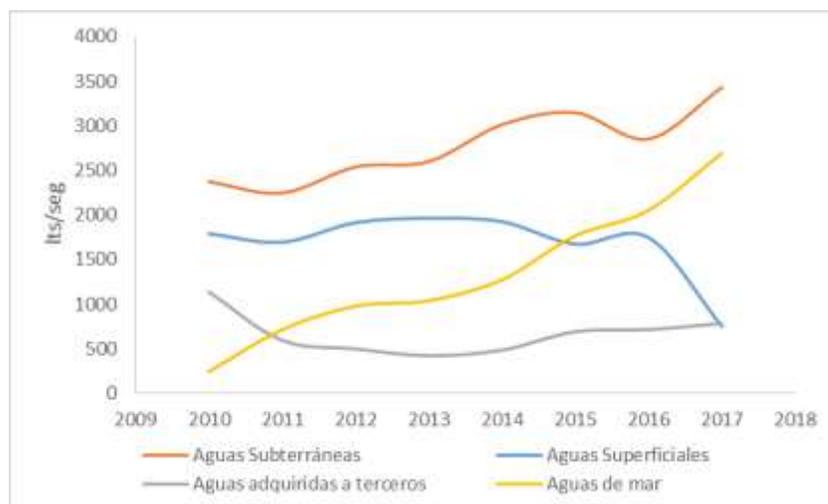


Figura 8: tendencia de utilización de agua de mar para operaciones mineras en región de Antofagasta.

Siguiendo con la metodología, se realiza un detallado y argumentado análisis de cada una de las innovaciones registradas en la tabla 6, haciendo que en total existe un nivel de satisfacción y/o cumplimiento de un 80% de los casos, 13% medianamente cumplidos y un 7% de no logrado.

Con ello y con la tabla numero 1 podemos identificar cuáles son los tipos de tecnologías que más impactan actualmente a los proyectos mineros y definiremos estas clases como sigue

Tipo de Tecnología	Rango de Inversion	Implementacion	Riesgo de Inversion
Digital			
○ Salud, Higiene y Seguridad	bajo	corto	bajo
○ Proceso			
▪ Sersing	medio	medio	bajo
▪ Inteligencia Artificial	medio	medio	medio
▪ Control Automático	medio	medio	bajo
○ Software – Sistemas			
▪ planificación	medio	corto	bajo
▪ gestión/administración	medio	medio	bajo
▪ Modelamiento	bajo	bajo	bajo
▪ Base de datos	medio	largo	bajo
○ Comunicación			
▪ Radial	bajo	corto	bajo
▪ Telefonica	bajo	corto	bajo
▪ GPS	medio	medio	bajo
▪ Internet	bajo	medio	bajo
▪ Redes	medio	largo	bajo
No Digital			
○ Salud, Higiene y Seguridad	bajo	corto	bajo
○ Proceso			
▪ Mining y extracción	media	corto	bajo
▪ Transporte	media	medio	alto
▪ Procesamiento	alto	largo	alto
▪ Transporte del producto	media	corto	alto
▪ Shipping	bajo	corto	medio

Tabla 9: identificación de tipos de tecnologías con mayor impacto.

Este impacto se realiza observando que todos tienen un rango de inversión de medio a alto y un riesgo de inversión medio o alto. Solamente el caso de Shipping queda fuera de esta lógica, pero a su vez, fue el caso en donde el proceso de implementación de innovación no fue exitoso.

De estos tipos de tecnologías se identifican los dos escenarios normales de la implementación también descritas anteriormente, como lo son un desarrollo interno o propio de la empresa interesada en utilizarlo, o simplemente la adquisición de este conocimiento o tecnología a través de un proveedor interno o externo. Con toda esa información se hace un árbol de decisión y considerando una distribución triangular procedemos a entregar los valores presentes netos basados en información experimental propia más consulta de los reportes de sustentabilidad disponibles en la web.

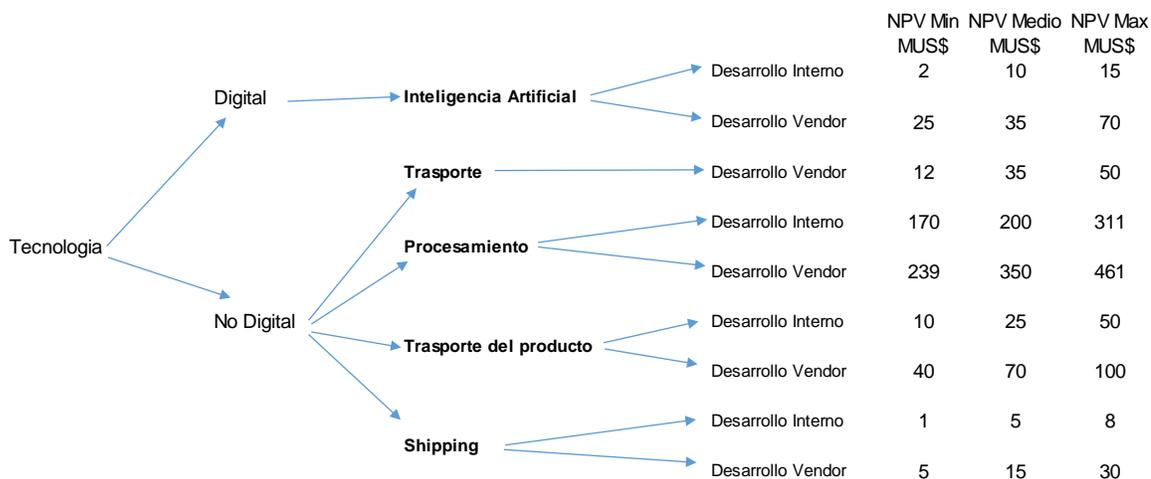


Figura 9: árbol de decisión de proyectos por tipo y desarrollo.

Es esta la información que utilizaremos para proceder con la metodología de la media varianza de Markowitz intentando buscar el mejor portafolio de inversión para un caso hipotético de inversión más adelante.

Por lo que nuestro primer paso fue realizar Montecarlo de forma de aumentar la cantidad de datos conservando la distribución señalada anteriormente y sus valores estadísticos. Se realizan más de 450 simulaciones de forma de asegurar una base de información sólida para el próximo paso del método, en donde cada simulación corresponde a un proyecto ejecutado por esa tecnología con su respectivo NPV. Entendiendo que entre cada proyecto existía una variación respecto al contexto en donde se estaba ejecutando, se procede a entender esta variación como los posibles variaciones o fluctuaciones que podríamos utilizar para el cálculo de los posibles rendimientos.

	IADI	IADV	T DV	P DI	P DV	TP DI	TP DV	SH DI	SH DV
Rendimiento medio	0,08%	0,14%	0,07%	0,09%	0,06%	0,14%	0,07%	0,10%	0,14%
Varianza	1,57	0,37	0,76	0,13	0,14	0,89	0,29	1,64	1,12
Desviación	1,25	0,61	0,87	0,36	0,38	0,94	0,54	1,28	1,06

Tabla 10: tabla de rendimientos, varianza y desviación estándar

Esta información además es útil para poder graficar la frontera eficiente del gráfico de Sharpe para después poder identificar, con el índice de Sharpe el óptimo de los ponderadores de los distintos tipos de tecnologías.

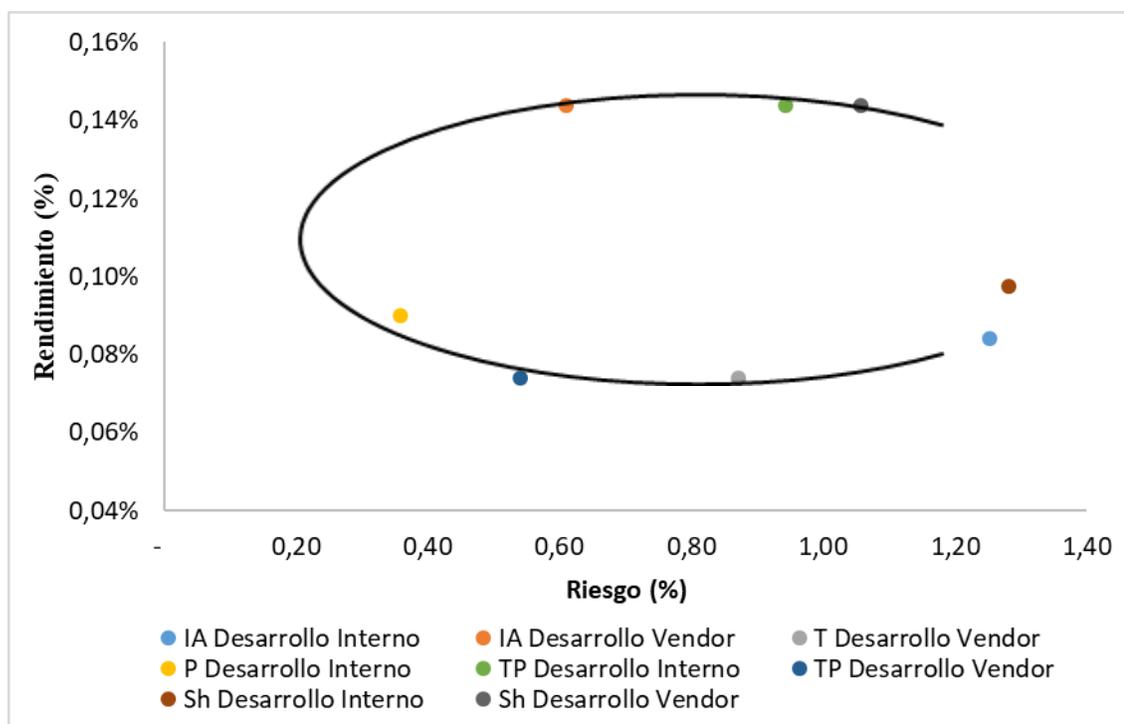


Figura 10: Frontera eficiente de Sharpe

Estos los calculamos por el método tradicional del rendimiento a través del Logaritmo Natural y de ello nos suplimos para encontrar los valores estadísticos necesarios para nuestro próximo paso como es la construcción de la matriz de covarianzas entre todas los tipos de tecnologías y su respectiva matriz de correlaciones.

Covarianza	Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9
Column 1	1,567531								
Column 2	0,656129	0,372463							
Column 3	1,089533	0,47004	0,759295						
Column 4	0,370336	0,218175	0,266439	0,128275					
Column 5	0,457207	0,219783	0,32185	0,126359	0,141604				
Column 6	1,141996	0,552347	0,80439	0,317798	0,354676	0,888468			
Column 7	0,66148	0,311561	0,46473	0,17867	0,203007	0,508264	0,291433		
Column 8	1,602371	0,681089	1,115233	0,385267	0,470382	1,175264	0,679861	1,639085	
Column 9	1,294775	0,608911	0,909525	0,349124	0,397093	0,99416	0,570116	1,330655	1,115301

Tabla 11: tabla de covarianzas entre tipos de tecnologías

Correlaciones	Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9
Column 1	1								
Column 2	0,858696	1							
Column 3	0,998682	0,883869	1						
Column 4	0,825879	0,998143	0,853732	1					
Column 5	0,970435	0,957003	0,981545	0,937553	1				
Column 6	0,967688	0,960173	0,979355	0,941367	0,999938	1			
Column 7	0,978677	0,945653	0,98793	0,924086	0,99932	0,998847	1		
Column 8	0,999664	0,871689	0,999677	0,840215	0,976364	0,973898	0,983672	1	
Column 9	0,979243	0,944748	0,988356	0,923023	0,999214	0,99871	0,999996	0,984167	1

Tabla 12: tabla de correlaciones entre tipos de tecnologías

Haciendo las ponderaciones iguales para cada uno de las nueve opciones, se puede llegar a la obtención de la matriz de Markowitz, el rendimiento promedio esperado y con el riesgo o desviación estándar. Eso nos ayuda para conocer el ratio de Sharpe el que será optimizado más adelante.

Rendimiento Esperado	0,105%
Riesgo	0,7967
Ratio de Sharpe	0,0013

Tabla 13: resultado del portafolio con ponderadores iguales, caso base.

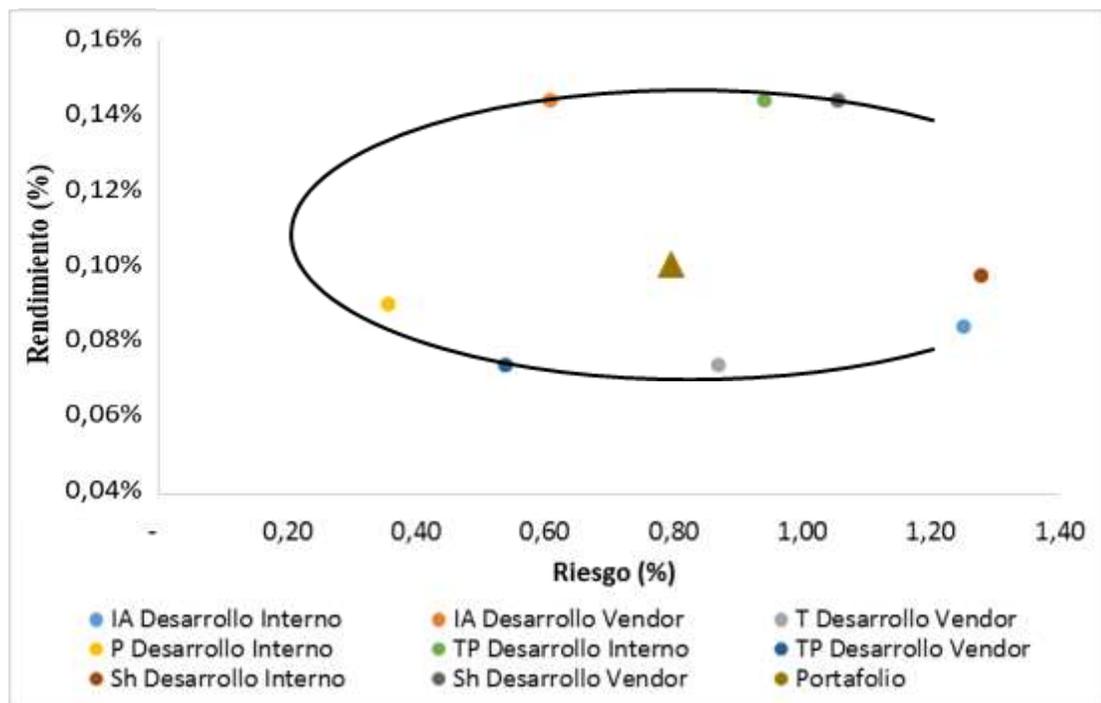


Figura 11: ponderaciones similares muestran portafolio de origen sin optimizar

Posterior a esta etapa, hacemos optimización del método, llevando al mínimo el riesgo o la desviación estándar y maximizando el rendimiento del portafolio. Esto hace que los ponderadores

de muevan según estas restricciones y haciendo más atractivo la toma de decisión del inversionista. Abajo se muestran cuáles son ambos escenarios y cuáles podrían ser las interpretaciones de esta optimización.

Ahora la implementación de esta optimización dependerá de que es lo que el inversionista espera de esta decisión, ya que la interpretación de ese deseo será si en el optimizador del software hacemos una maximización o una minimización acercándonos a la frontera eficiente de Sharpe.

Al foco de que el inversionista ande buscando más rendimiento del proyecto y con ello aumente las ganancias por el retorno, el ejercicio se vuelve en una Maximización y en este caso es evidente que está dispuesto a correr ciertos riesgos con la implementación de esta tecnología. Este tipo de casos por lo general apuntan a procesos productivos nuevos, los cuales pueden generar un alto impacto en reducción de costos operativos o aumento de eficiencia de extracción. Un ejemplo que pudiera ser considerado son los nuevos procesos de lixiviación para sulfuros; los cuales normalmente utilizan instalaciones existentes utilizadas para los óxidos y que a medida que los insolubles aumentan, generan aumento de costo de producción por cada tonelada de mineral procesado. Estos nuevos procesos de Lixiviación podrían bajar esos costos aumentando la recuperación de minerales que hasta anterior a la implementación de esta, inclusive no eran contabilizados dentro de los balances. En resumen, generan un alto impacto en el retorno con un riesgo asumido ya que hay una reutilización de equipos que, de otra forma, serían detenidos.

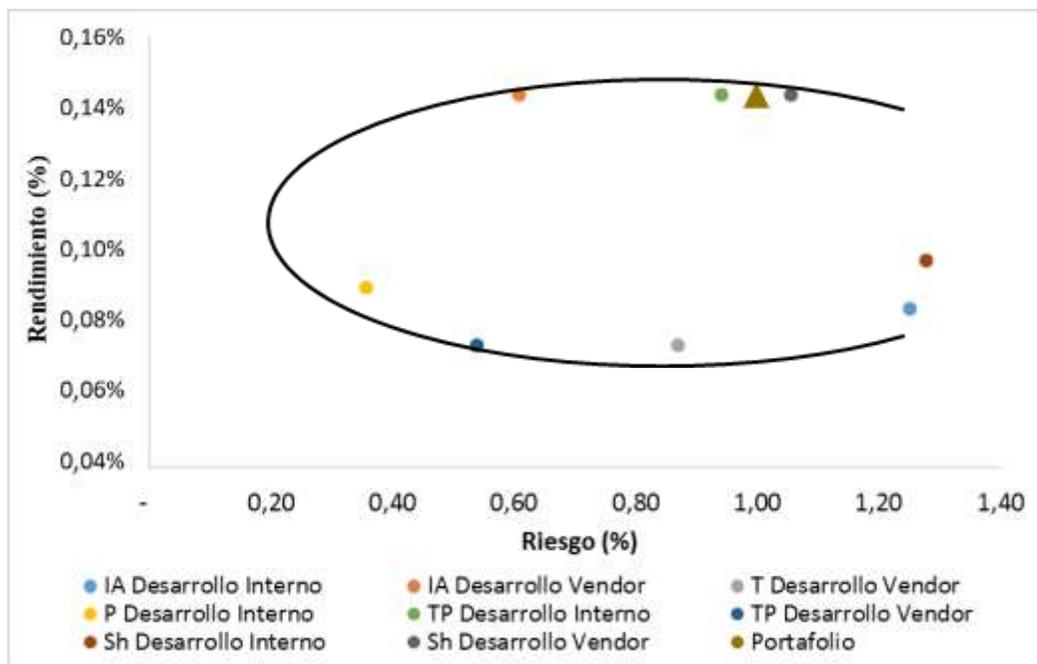


Figura 12: maximización del rendimiento

Contrariamente al ejercicio de maximización, están los motivos por la que el inversionista decidiera enfocarse más en bajar el riesgo de la toma de decisión sobre en que invertir el dinero que en el valor del retorno que este pudiera generar. En ese caso, básicamente el ejercicio es inverso, haciendo una Minimización del valor del Riesgo previamente calculado llevándolo al límite de la frontera de Sharpe. Las razones por la que el inversor pudiera considerar esta opción, muchas

veces están ligadas a la estrategia corporativa del crecimiento de la compañía, en donde sólo son atractivos los proyectos de muy bajo riesgo y que tengan un retorno positivo “aceptable”. Ejemplo de ello podrían ser los desarrollados con Inteligencia Artificial, en donde, normalmente son inversiones no tan altas como las involucradas en cambios disruptivos de procesos, que buscan reemplazar capital humano por entes que tomen decisiones o ejecuten actividades previamente pensadas, ordenadas y/o ejecutadas. El riesgo en este tipo de implementaciones se esperaría sea lo más bajo posible ya que la apuesta de la implementación por sobretodo puede abarcar una transformación organizacional y el perjuicio en la toma de decisiones pudiera crear el impacto cultural y en el retorno monetario, más que la inversión propiamente tal.

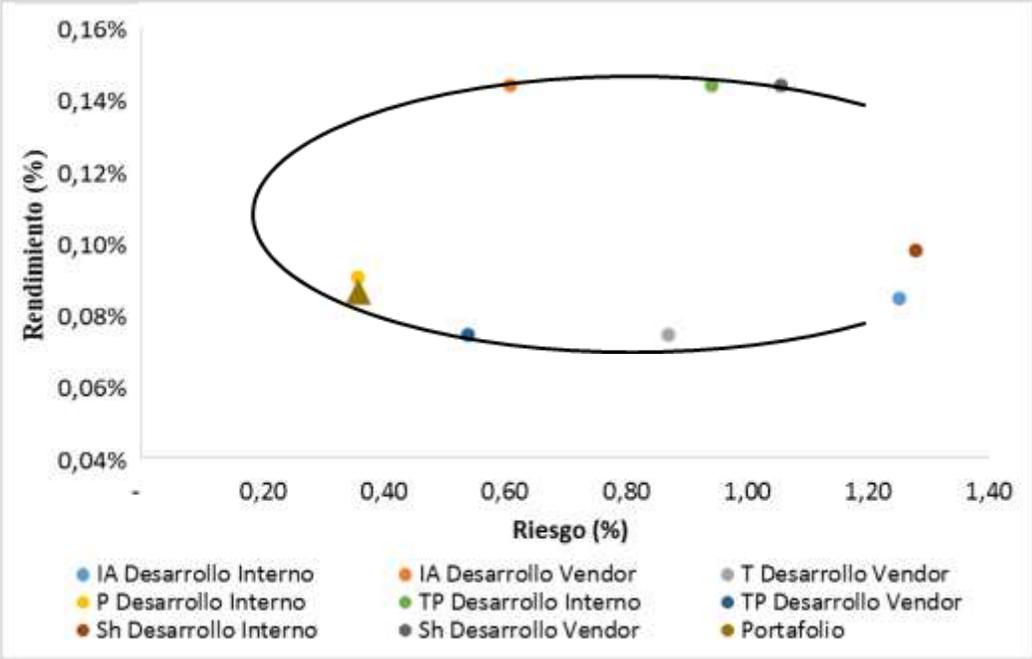


Figura 13: minimización del riesgo

Como resultado sobre la definición del modelo se puede destacar que el método ayuda a estimar la mejor cartera de inversión para nuevas iniciativas tecnológicas. Esto se entiende por el resultado obtenido en el capítulo anterior, en donde una vez realizado la optimización arrojó valores de las ponderaciones más estratégicas por clases, que si bien, no entregan hasta ahora un valor por si solo, si puede ayudar a tener una referencia del impacto que podría llevar a su implementación.

En la optimización, el mínimo riesgo se movió a ponderaciones con mayor peso en la Inteligencia Artificial externa y después la interna, haciendo el tercer lugar el procesamiento interno. Sin embargo, cuando hacemos mayor retorno, el 50% del peso se lo llevo la tecnología de proceso interna, posteriormente, el procesamiento interno y por último el shipping interno.

	Estandar	Optimo
Rendimiento Esperado	0,105%	0,144%
Riesgo	0,7967	0,3579
Ratio de Sharpe	0,0013	0,0040

Tabla 14: resultados de optimización por método Sharpe

CAPÍTULO V

5. CASO ESTUDIO

5.1.APLICACIÓN CASO ESTUDIO EN SPENCE S.A.

Nuestro caso estudio se basa en representar con el escenario de la toma de decisión cuando minera Spence S.A. decide realizar su proyecto de expansión SGO incluyendo una nueva tecnología en Flotación nunca antes probada a nivel industrial llamada Staged Flotation Reactor (SFR) de Woogrove Technologies y descartando un proceso alternativo de lixiviación de hipógenos desarrollada internamente.

El proyecto SGO desbloquea la gran base de recursos de sulfuro primario en Spence. Utilizará una mollienda y concentración convencionales para procesar el recurso primario de sulfuro para producir cobre a altas recuperaciones (~ 88%), así como molibdeno, oro y subproductos de plata.

El alcance del proyecto incluye un sistema de trituración y transporte, planta concentradora y de filtro, planta de molibdeno, instalaciones de relaves, y contratos de servicios de terceros para el suministro de agua (planta de desalinización, transporte), transporte de concentrado y puerto.

La ejecución comenzó en septiembre de 2017 con la primera producción de cobre en septiembre de 2020 y la producción en estado estacionario en abril de 2021. El capital de ejecución es de US \$ 2,458 millones (más compromisos adicionales para contratos de agua, transporte y puertos a largo plazo)

La aprobación de este proyecto permitirá a BHP convertir inmediatamente 1.3Bt de Recursos en Reservas especificados como 1.3Bt @ 0.46% CuT, 157ppm Mo; 6 Mt de cobre contenido

5.1.1. NUEVA PLANTA CONCENTRADORA

El circuito de trituración incluye un chancador giratorio primario, una correa de 3 km aproximadamente, una sola línea de mollienda con un molino SAG de 40 ' de diámetro (28 MW) y dos molinos de bolas de 27' de diámetro (40 MW)

El circuito de flotación utilizará tecnología de flotación avanzada con las células del Reactor de flotación por etapas (SFR) la cual apuesta por reducir significativamente la huella en 50% y los costos operativos de flotación en 40% en comparación con las celdas mecánicas convencionales

Los relaves se deshidratarán en dos espesantes de alta velocidad (99 m de diámetro) y se depositarán en una instalación de almacenamiento de relaves en la Propiedad de Spence capaz de almacenar 50 años de producción en el sitio de fase 1, y el resto en una extensión de fase 2

Los concentrados de Cu y Mo serán filtrados en el sitio y luego transportados por ferrocarril y / o camiones al Puerto de Mejillones.



Figura 14: diagrama planta concentradora SGO

5.1.1.1.NUEVA TECNOLOGÍA

El circuito de flotación utilizará la tecnología de punta de las células del Reactor de flotación por etapas (SFR de la sigla en inglés, Staged Flotation Reactor). La tecnología SFR ha sido operada con éxito durante varios años en otras aplicaciones de minería; sin embargo, SGO será la primera flotación totalmente integrada en circuito para cobre y molibdeno, y además implica un nuevo equipamiento para BHP, debido a que ninguna de sus operaciones en el mundo tiene actualmente esta tecnología. El uso de SFR dará como resultado un 50% menos de huella con ahorros de capital significativos, costos operativos 40% menores y mejores recuperaciones de molibdeno debido a su mayor selectividad.

Se ha realizado un volumen significativo de pruebas de escala y pruebas piloto en una variedad de minerales Spence, validando el rendimiento de las celdas con mineral Spence para la producción de concentrados de cobre y molibdeno, y la recuperación de plata y oro como subproductos. Estos resultados fueron ratificados a través de revisiones externas e independientes. El plan de la fase de ejecución continúa con pruebas para garantizar una planificación detallada de la puesta en marcha, la aceleración y la producción en estado estacionario.

5.1.1.2.EL SFR

El reactor de flotación por etapas (SFR) de Woodgrove Technologies divide el proceso de flotación en tres cámaras.

El hecho de que dicho dispositivo no solo exista, sino que tenga 50 instalaciones operativas, atestigua la presión sobre la industria para encontrar nuevas soluciones frente a los desafíos modernos. Los bajos grados, los minerales complejos y el aumento de los costos de energía han

impulsado el desarrollo de recipientes de flotación completamente nuevos, mejoras en la tecnología existente y nuevas ideas sobre diagramas de flujo de flotación.

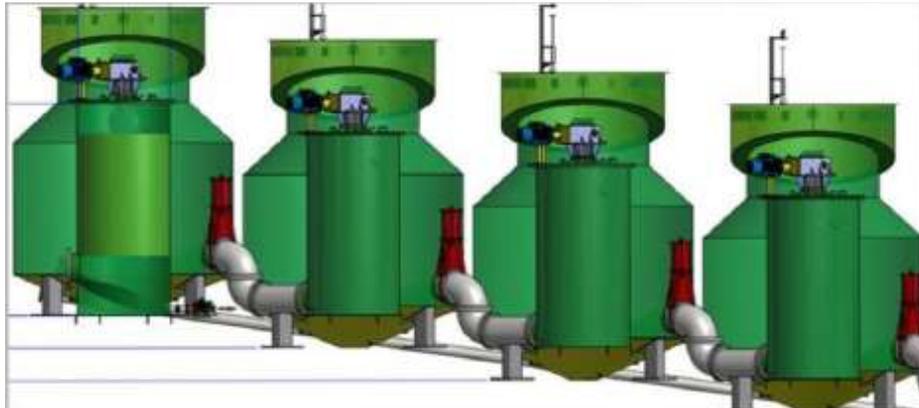


Figura 15: diagrama de equipos de flotación SFR

El recipiente de flotación sin espuma viene a través de la División de Flotación Eriez, que lo patentó en 2002 y lo comercializó bajo el nombre de HydroFloat. Está diseñado específicamente para un diagrama de flujo innovador que aborda uno de los mayores problemas que enfrentan las operaciones mineras: con más tonelajes para procesar y más mineral de grano fino, la trituración exige cada vez más energía. Si los circuitos de flotación pudieran manejar partículas más gruesas, entonces se podría ahorrar energía en el circuito de conminución.



Figura 16: equipos de flotación SFR en operación

El Reactor de Flotación por Etapas (SFR) se desarrolló regresando a los principios básicos de flotación y examinando la mejor forma de optimizar las diversas fases de flotación sin restricciones preconcebidas. El resultado es una máquina que optimiza las tres etapas de flotación dentro de tres zonas separadas, de manera que, cada zona se excluye mutuamente de las necesidades de las otras

zonas. La "caída" de espuma está estrechamente controlada. La zona de recuperación de espuma restringida permite un control de nivel mucho mejor en un Scavenger SFR, dando como resultado una mejor recuperación y mejora.



Figura 17: varias cámaras de flotación de SFR

5.1.2. LIXIVIACION DE LA CALCOPIRITA – INSTALACIONES EXISTENTES

Después de SGO, la ruta de crecimiento actual para Spence asume el Proyecto de lixiviación de calcopirita ("Cpy leach") como un mecanismo de aprovechamiento de la capacidad latente en el circuito SX / EW que estará disponible una vez que se haya agotado el material supérgeno:

La lixiviación de la calcopirita es una tecnología interna novedosa y patentada por BHP para lixiviar el material de sulfuro primario, que no puede procesarse bajo el diagrama de flujo existente. El proyecto se encuentra actualmente en la fase de selección, con la finalización de la demostración de tecnología prevista para finales del año fiscal 19, considerando una recuperación global de cobre sobre 60% para minerales con mayor a 70% de contenido de calcopirita. Sin duda, esta es la gran disrupción del mercado minero, pero que aún no se ha podido posicionar competitivamente con los otros procesos convencionales principalmente por no cumplir con todos los requisitos expuestos por el TRL.

La lixiviación del material de sulfuro primario podría usarse potencialmente en paralelo con el concentrador SGO para procesar un grado inferior material.

Si tiene éxito, la operación sería en paralelo y complementaria el diagrama de flujo de concentración y lixiviación en Spence agregando una importante flexibilidad al plan minero, procesamiento y comercialización.

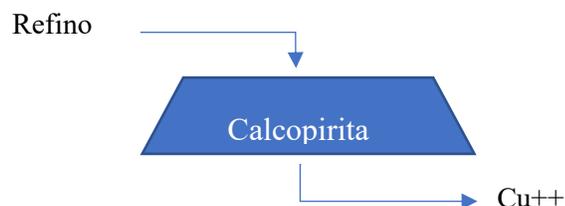


Figura 18: Esquema de un proceso de Lixiviación de la Calcopirita.

5.2. DATOS ECONÓMICOS DE LAS INICIATIVAS Y RESOLUCIÓN DEL MÉTODO

Se hace mención que toda la información económica considerada en esta parte del capítulo, será considerada como de naturaleza sensible explicada en la referencia de este documento.

Las evaluaciones determinísticas del proyecto SGO entregaron en el caso medio un NPV de US\$1,148M haciendo sensibilidades en los precios del cobre y la recuperación de cobre obtenemos nuestra variación del NPV con la distribución triangular considerada para el caso base;

Unidad/Rango	Bajo	Medio	Alto
Precio del Cobre US\$/lb	2,62	3,27	4,14
Recuperación %	82	88	93
NPV US\$B	0,825	1,148	2,76

Tabla 15: resumen de análisis tornado para caso SGO

Como ya se mencionó anteriormente, esta iniciativa tiene como una de las claves del procesamiento, la utilización de un sistema tecnológico nunca antes operado a esta escala con un desarrollo externo de la compañía y con una cierta incertidumbre por el real beneficio de la innovación.

Por lo tanto, dentro de nuestro árbol de decisión, este caso puede ser considerado como una tecnología no digital de procesamiento con un desarrollo externo o a través de Vendor.

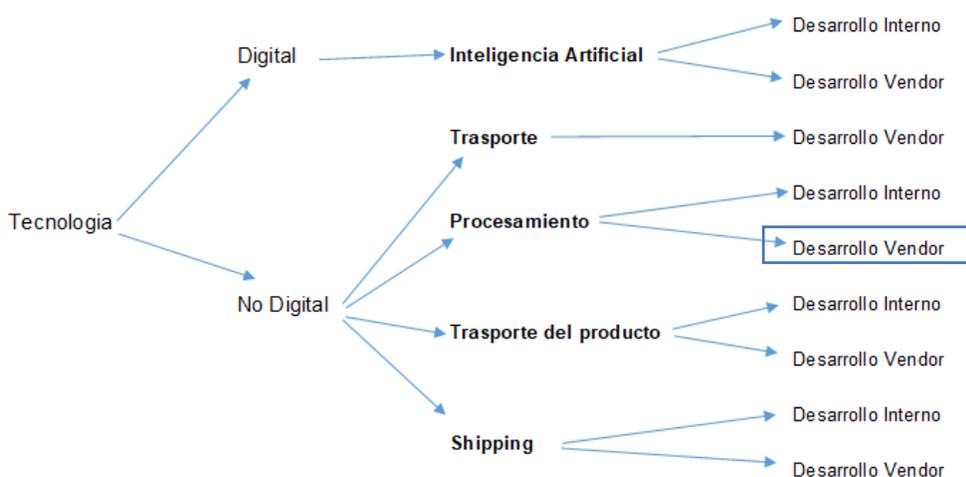


Figura 19: caso estudio en árbol de decisión de proyectos por tipo y desarrollo.

A pesar que existen más innovaciones dentro del proyecto, como por ejemplo la utilización de agua de mar filtrada como agua de proceso, o una remolienda vertical, considero que, para poder clarificar el método, vamos a centrarnos en la toma de decisión sobre esta tecnología y la otra disponible en la empresa, la cual, caracterizada según el árbol de decisión, pueda hacer más interesante el análisis.

Por lo cual, ahora vamos a considerar los económicos del proyecto por separado de la lixiviación de la calcopirita con las instalaciones existentes, pero con una tecnología que aún está en etapa de demostración, terminando esta fase recién este año 2019, pero considerando este riesgo hace dos años atrás cuando se aprobó el financiamiento del SGO.

Las evaluaciones determinísticas del proyecto de lixiviación de calcopirita entregaron en el caso medio un NPV de US\$310M haciendo sensibilidades en los precios del cobre y la recuperación de cobre obtenemos nuestra variación del NPV con la distribución triangular considerada para el caso base;

Unidad/Rango	Bajo	Medio	Alto
Precio del Cobre US\$/lb	2,62	3,27	4,14
Recuperación %	45	60	67
NPV US\$B	0,232	0,31	0,36

Tabla 16: resumen de análisis tornado para caso lixiviación de calcopirita

Como ya se mencionó anteriormente, esta iniciativa es totalmente disruptiva y radical, mostrando que por complejo que pueda ser el problema en el mundo minero, existen equipos especializados en las compañías que pueden resolverlos, sin embargo, muchas veces no son lo suficientemente convincentes para que puedan vender de la forma profesional, y a veces con una cuota de agresividad, que los fabricantes y empresas de ingeniería pueden llegar a ser.

Solo como antecedente, note que hace dos años el valor ofertado por este desarrollo era de 67% como extracción máxima esperada; en los dos últimos años se ofertan más de 5 puntos porcentuales de ese valor marcando sin duda el máximo histórico para este tipo de proceso, todo esto apoya la idea que actualmente hay un caso de estudios de utilizarlo como proceso complementario de la concentradora. Pero aún queda la incertidumbre de que hubiera sido si haya sido este último proceso el seleccionado hace dos años atrás, sin la información correspondiente a la demostración requerida por el TRL.

Pero volviendo al caso, se puede referir que este proyecto dentro de nuestro árbol de decisión, es el tipo de una tecnología no digital de procesamiento con un desarrollo interno, pero que sin embargo no ha sido probado a nivel industrial, por lo que además calza con la definición del concepto del riesgo a la inversión.

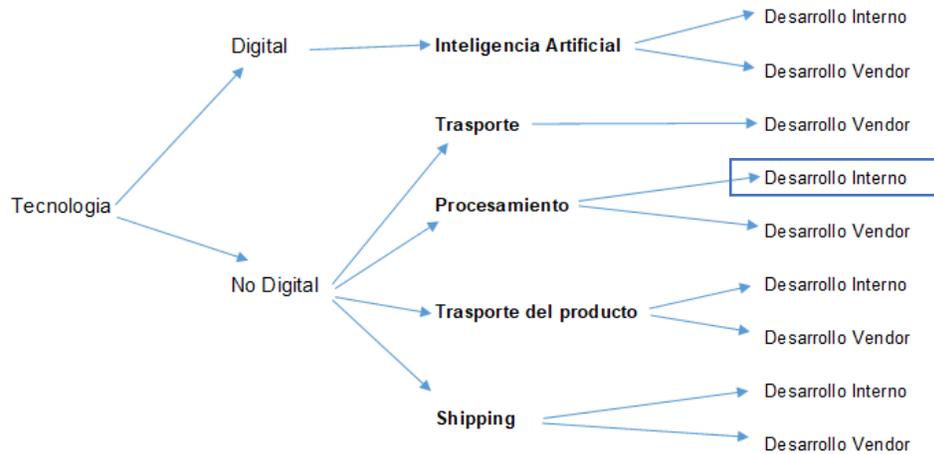


Figura 20: caso estudio en árbol de decisión de proyectos por tipo y desarrollo.

Resolviendo el método con los valores de NPV mostrados en la tabla 15 y 16, se obtiene los siguientes resultados de Rendimiento esperado y del Riesgo, haciendo mínimo la desviación estándar y máximo el rendimiento:

	Optimo	
	Minimo Dev Estandar	Maximo Rendimiento
Rendimiento Esperado	0,06%	0,07%
Riesgo	0,2473	0,7478
Ratio de Sharpe	0,0043	0,0010

Tabla 17: resultados del caso estudio por método Sharpe

Lo que se representa gráficamente en la figura a continuación, entregando para cada uno de los casos, distintas distribuciones del portafolio de inversión.

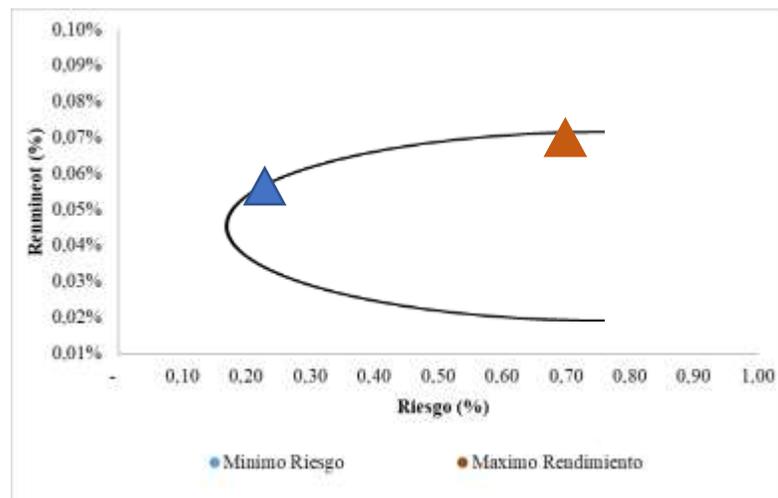


Figura 21: Frontera eficiente de Sharpe para caso de estudio

Para el caso cuando se maximiza el rendimiento, dejando fuera del ejercicio las otras tecnologías que no pertenecen al procesamiento de minerales, se observa que el portafolio prácticamente está apostando al 100% en la tecnología relacionada con la concentración de minerales. En definitiva, este resultado es muy concordante con las justificaciones que el proyecto tuvo al momento de la evaluación financiera, por lo que el poder aumentar la cantidad de procesamiento, considerando mayores recuperaciones de cobre y menos incertezas sobre el proceso, hacen que el rendimiento esperado sea el mayor posible.

P Desarrollo Interno	P Desarrollo Vendor
0%	100%

Tabla 18: resultados del caso estudio cuando se maximiza el rendimiento

Haciendo el ejercicio de minimizar la desviación estándar o también llamado el riesgo, también dejando fuera del ejercicio las otras tecnologías que no corresponden a procesamiento de minerales, se observa que el punto en el gráfico se desplaza hacia la varianza mínima de la frontera eficiente de Sharpe, haciendo que el proyecto muestre una tendencia esperada para el caso particular del estudio, al minimizar la incertidumbre y llevando el portafolio a invertir en 100% en el desarrollo interno. Este ejercicio también hace sentido cuando se evalúan las otras incertidumbres que tiene el proceso de concentración, principalmente con mayor dependencia del precio del cobre, ya que este incide directamente en los costos operativos C1 de un proceso de concentración ya que son mucho más sensible al cambio del precio que los mismos costos para el proceso de lixiviación.

P Desarrollo Interno	P Desarrollo Vendor
100%	0%

Tabla 19: resultados del caso estudio cuando se minimiza el riesgo.

CAPÍTULO IV

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

Se puede destacar que el método ayuda a estimar la mejor cartera de inversión para nuevas iniciativas tecnológicas. Esto se entiende por el resultado obtenido en el capítulo anterior y por el resultado del caso estudio, donde en base ha seleccionado el mejor escenario dependiendo del punto de vista sobre el tipo de negocio que estoy interesado generar. Una vez realizado la optimización arrojó valores de las ponderaciones más estratégicas por clases, que si bien, no entregan hasta ahora un valor por sí solo, si puede ayudar a tener una referencia del impacto que podría llevar a su implementación.

En la primera optimización, el mínimo riesgo se movió a ponderaciones con mayor peso en la Inteligencia Artificial externa y después la interna, haciendo el tercer lugar el procesamiento interno. Sin embargo, cuando hacemos máximo retorno, el 50% del peso se lo llevo la tecnología de proceso interna, posteriormente, el procesamiento interno y por último el shipping interno.

	Estandar	Optimo
Rendimiento Esperado	0,105%	0,144%
Riesgo	0,7967	0,3579
Ratio de Sharpe	0,0013	0,0040

Tabla 20: resultados de optimización por método Sharpe

En la segunda iteración, para nuestro caso de estudio en Minera Spence en base al proyecto SGO, cuando se comparan dos tecnologías de procesamiento, los dos escenarios óptimos muestran que depende del cual será el foco del negocio que se requiere hacer.

	Optimo	
	Minimo Dev Estandar	Maximo Rendimiento
Rendimiento Esperado	0,06%	0,07%
Riesgo	0,2473	0,7478
Ratio de Sharpe	0,0043	0,0010

Tabla 21: resultados de optimización por método Sharpe

Para el primer caso, cuando se hace mínimo el riesgo, el resultado del portafolio mostró que es más conveniente invertir en un desarrollo interno, lo que se entiende por el bajo costo capital y la inversión que este significa a la minera; además si lo miramos desde el punto de vista estratégico, normalmente estos tipos de desarrollos pueden significar una ventaja competitiva respecto a los otros negocios mineros, ya que estos desarrollos internos administrados por propiedades intelectuales tienen los conocimientos de implementación y control internos, por lo que el desconocimiento del proyecto básicamente se entiende como el impacto que este puede tener en mayor escala o en estado estacionario en la minera, más que el performance del proceso,

particularmente en este caso, químico-metalúrgico. Además, el proceso es menos dependiente de costos operacionales y del precio del cobre en los mercados internacionales, por lo que la lixiviación en este punto es sin duda el ganador.

Para el segundo caso optimo, a medida que se maximiza el rendimiento, el negocio cambia su portafolio, llevándolo a un escenario más ligado con la construcción de una concentradora.

La estrategia de comprar en el mercado un paquete de procesamiento que pueda aumentar el retorno en el menor tiempo posible haciendo el proceso estable y de rápida implementación. Si bien, el Capex asociado es mucho mayor que el caso anterior, el NPV de este asegura que en el caso de que el caso medio sea asegurado, el rendimiento de este puede ser sustancialmente mucho mayor que la otra alternativa.

Por lo que también tiene mucho sentido que el resultado del ejercicio se haya manifestado como finalmente fue, y que a medida que vamos buscando un óptimo entre los dos procesos, probablemente el escenario vaya tendiendo al 50% de la cartera, escenario que ya se entiende la minera está realizando, con un estudio en SPS del trabajo en paralelo de la lixiviación de la Calcopirita en el año 2025 aproximadamente.

Además, desde el punto de vista social, el impacto de la construcción de una concentradora versus un proceso similar al existe puede originar escases de agua en el sector, por lo que la empresa ha decidido trasladar el agua desde el mar; esto entendiendo los actuales escenarios de descontento de la comunidad respecto al uso de las aguas superficiales y subterráneas en la región de Antofagasta- Por lo que si bien, este caso en particular no fue evaluado en nuestro segundo ejercicio si fue considerado como un efecto en la disrupción anterior de mineras del sector, y ahora pueden verlo como un aprendizaje de las experiencias previas. Sin embargo, aún se tiene que esperar la reacción por la fuente de relaves en el sector, la cual en el corto plazo se han instalado, con esta incluida, tres solo en la comuna de Sierra Gorda.

Finalmente Se entiende que cada desarrollo tecnológico tiene una razón que se traduce en un mayor valor o NPV, haciendo potencialmente más atractivo el proyecto, pero sin duda, hay una cuota de incerteza a la inversión versus la potencialidad estratégica del éxito que, si no es bien evaluada, se puede dejar de ser competitivo. Esta herramienta muestra en una manera simple una forma de poder bajar esta incerteza generando estas cuotas de valor maximizados para asegurar el éxito de esas implementaciones en base a desarrollos o experiencias pasadas.

5.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Incorporar el resto de las operaciones de la región, país, polo minero continental en el análisis de las tecnologías no convencionales o disruptivas que han impactado en la minería, con el objetivo de confirmar los resultados en los tipos de tecnologías, el nivel de inversión y el nivel de riesgo que puedan significar. Para esto, además es necesario identificar correctamente las correlaciones existentes entre la estructura de costos y las variables de inversión como los son los CAPEX y las tasas de retornos informados por los reportes de sustentabilidad de cada compañía, las cuales pueden tener distintas interpretaciones y un gran impacto en distintas corporaciones dependiendo de la magnitud de estas respecto a otra.

Realizar simulaciones con un software más robusto, enfocándose primeramente en aumentar la base de datos de proyectos en la región, país, continente, otros commodities haciendo más dinámica la forma de medir la incertidumbre o el nivel de retorno del proyecto con dicha implementación.

Hay tecnologías que actualmente se están implementando en otras partes del mundo que podrían justificar un análisis posterior.

Incluir en el análisis los derechos de autor, los cuales pueden impactar el retorno de una iniciativa independiente de su nivel de madurez, esto sin duda, podría adicionar más incertidumbre a la hora de implementación de tecnologías de vendor externas pero disruptivas.

Seguir explorando con tipos de tecnologías, las cuales quizás no fueron consideradas en esta tesis, pero que perfectamente pueden incluirse por la necesidad de reflejar su aporte al desarrollo de la minería. Esto para poder poblar con mayor número de datos la frontera eficiente de Sharpe. Un ejemplo de ello son las tecnologías de exploración, de las cuales se podría entender como sensing, pero sin duda están ligadas con el proceso del desarrollo productivo de la cadena de valor de la industria. En otros commodities como el petróleo, crucial para bajar los costos operativos.

Validar el uso de este ejercicio con simulaciones de estudios que desarrolle la universidad con la industria, inclusive en casos de mejoramiento continuo, en donde, en base a varias alternativas se pueda optar por la menos convencional y evaluar las diferencias entre el resultado real con lo sugerido por el modelo.

Finalmente, creo que una actividad futura debería además considerar el impacto más allá del monetario, debido a que las disrupciones no solamente modifican el valor directo de la implementación, sino que también, todo el entorno que con ella interactúan; hago mención del ejemplo del agua de mar, que si bien fue más bien un tema estratégico, hubo un ganancial por parte de las comunidades, además con el compromiso ambiental y de cierta medida, una independencia del abastecimiento dependiente de las lluvias, lo cual garantiza continuidad operacional y aseguramiento del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

Arthur, B. (1992). On learning and adaptation in economy [SFI Working Paper no. 1992-07-038]. Disponible a través de: Santa Fe Institute Economics Research Program <<http://www.santafe.edu/media/workingpapers/92-07-038.pdf>>.

Arthur, B. (2000). Cognition: The black box in economy. En: D. Colander (ed.). *The Complexity Vision and the Teaching of Economics* (pp. 19-28). Northampton: Edward Elgar Publishers.

Bodenhausen, G. y Todd, A. (2010). Automatic aspects of judgment and decision making. En: B. Gawronsky y B.K. Payne (eds). *Handbook of Implicit Social Cognition. Measurement, Theory, and Applications*. Nueva York: The Guilford Press

Burgelman, Robert; MAIDIQUE, Modesto and WHEELWRIGHT Steven. *Strategic management of technology and innovation*. New York: McGraw Hill, 2001. pp 3-8

Caroca, Sergio; Metodología de análisis para evaluar la potencia competitiva de compañías mineras basada en sus costos operacionales.

Cochilco. (2015). *Caracterización de los costos de la gran minería del cobre*. Santiago de Chile.

Cosmides, L. y Tooby, J. (1994). Origins of domain specificity: The evolution of functional organization. En: L. Hirschfeld y S. Gelman (eds.) *Mapping the mind; Domain Specificity in Cognition and Culture*. Nueva York: Cambridge University Press.

Ferraro, Ricardo y LERCH, Carlos. *¿Qué es qué en tecnología?* Buenos Aires: Cuadernos Gránica, 1997. 148 p.

Garelli, Stéphan. *World Competitive Report 2002*

Gigerenzer, G. (2001). The adaptive toolbox. En: G. Gigerenzer y R. Selten (eds.). *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox* (pp. 37-50). Cambridge, MA: MIT Press.

Gigerenzer, G. (2008). *Rationality for Mortals. How People Cope with Uncertainty*. Oxford: Oxford University Press.

Gigerenzer, G., Todd, P. y ABC Research Group (1999). Simple Heuristics that Make us Smart. Oxford: Oxford University Press.

Gómez, D. Medina, S. Escuela de Organización Industrial. eoi.es. 2012.

Hamel, Gary and VÄLIKANGAS, Liisa. The quest for resilience. Harvard Business Review. September 2003, p. 52

Hastie, R. y Dawes, J. (2010). Rational Choice in an Uncertain World: The Psychology of Judgment and Decision Making. California: Sage.

Kahneman, D., Slovic, P. y Tversky, A. (eds.) (1982). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. Cambridge: Cambridge University Press.

Lichtenstein, S. y Slovic, P. (1971). Reversals preference between bids and choices in gambling decisions. Journal of Experimental Psychology, 89(1), pp. 46-55.

Ostrom, E. (2005). Understanding Institutional Diversity. New Jersey: Princeton University Press.

Payne, J., Bettman, J. y Johnson, E. (1993). The Adaptive Decision Maker. Cambridge: Cambridge University Press.

Piedrahita, Francisco. Notas de clase Gestión Tecnológica. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Porter, Michael. La ventaja competitiva de las naciones. Buenos Aires: Ediciones B. Argentina. 1.053 p.

Porter, Michael. Ventaja competitiva. México: Continental, 2003. pp. 165-201.

Mankert, Charlota. 'The Black-Litterman Model - mathematical and behavioral finance approaches towards its use in practice'. Royal Institute of Technology. 2006.

Montoya, Natalia, PIEDRAHÍTA, Esteban. Modelo de simulación para evaluar tecnología, su adquisición y su pago MSETAP. Envigado, 2003. Trabajo de grado (Ingeniero Administrador). Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Markowitz, H (1952) “Portfolio Selection”. Journal of Finance 7 (1): 77-91

Markowitz, H (1959) “Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment”, John Wiley, Nueva York,

Palacio, J. Ruata, C. Navegápolis: Prácticas ágiles en Gestión de Proyectos. SafeCreative. 2009.

Ritcher, G. El riesgo de innovar. AEER. Asociación Española de Expertos en la relación con Clientes.

Sánchez, M. Agile Project Management. Maestría de dirección de proyectos. Universidad Tecnológica de México.

Sharpe W. (1970, “Portfolio Theory and Capital Market”, Mc Graw-Hill. Nueva York, 1970

Simon, H. (1969). A behavioral model of rational choice. The Quarterly Journal of Economics, 1(1), pp. 99-118.

Smith, V. (2008). Rationality in Economics. Constructivist and Ecological Forms. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Stein, E. (1996). Without Good Reason. The Rationality Debate in Philosophy and Cognitive Science. Oxford: Clarendon Press.

Tooby, J. y Cosmides, L. (1992). The psychological foundations of culture. En: J.H. Barkow, L. Cosmides y J. Tooby (eds.). The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture (pp. 19-136). Nueva York: Oxford University Press.

Ranyard, R., Crozier, W.R. y Svenson, O. (1997). Decision Making: Cognitive Models and Explanations. Nueva York: Routledge.

INFORMACIÓN OBTENIDA EN LA WEB

<https://www.afr.com>

<https://www.mineriaabierta.cl>

<https://www.amsa.cl> – Presentación para Inversionistas 30 Nov 2018

<https://www.cochilco.cl> – Observatorio de Costos – Dirección de Estudios y Políticas Públicas

<https://www.kghm.com> – Investor Presentation May 2014

<https://www.codelco.cl> – Capitalización de Codelco: una oportunidad y desafío para la industria 2014

BHP Bibliografía interna:

Descargo de responsabilidad: debido a la naturaleza sensible de la información que incluye Propiedad Intelectual, no se pueden proporcionar más detalles sobre estas referencias en este documento

Directrices de BHP y documentos a nivel de grupo

https://www.bhp.com/-/media/documents/media/reports-and-presentations/2017/171018_bhpoperationalreviewforthequarterended30september2017.pdf?la=en