

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y MINAS

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE EXPLORACIÓN DE
MINERALES Y ESTRATEGIAS DE ADQUISICIÓN.



Que para obtener el Título de:
INGENIERO MINERO

Presentan:

LUIS ROBERTO FÉLIX OCHOA
FRANCISCO JAVIER CAÑIZARES MORENO

Hermosillo, Sonora

Junio del 2018

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Operaciones Mineras

14 de mayo de 2018.

P.I.M. FRANCISCO JAVIER CAÑIZARES MORENO
P.I.M. LUIS ROBERTO FÉLIX OCHOA
Presente.-

Por este conducto le informo que después de presentar ante los miembros de la **ACADEMIA DE OPERACIONES MINERAS**, su solicitud de aprobación del Tema de Disertación: "**COMPARACIÓN ECONÓMICA DE EXPLORACIÓN DE MINERALES Y ESTRATEGIAS DE ADQUISICIÓN**", que usted propone para obtener el título de **INGENIERO MINERO**, me es grato hacer de su conocimiento que hemos acordado **APROBAR** la propuesta que nos ha enviado, a fin de brindarles la oportunidad de presentar su Examen Profesional según lo establecido por la normatividad vigente.

Asimismo, les informo que la Academia Revisora quedó integrada como sigue:

DIRECTOR:	DR. SERGIO ALAN MORENO ZAZUETA
ASESOR:	ING. BRENDA MARÍA QUIJADA MAYORQUIN
ASESOR:	M.A. MANUEL EMILIANO QUIROZ JUÁREZ

Aprovecho la oportunidad para desearle el mayor de los éxitos y solicitarle su mejor esfuerzo para el bien del trabajo académico de nuestra institución.

ATENTAMENTE,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

DR. SERGIO ALAN MORENO ZAZUETA
PRESIDENTE DE ACADEMIA



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Operaciones Mineras

04 de junio de 2017.

P.I.M. FRANCISCO JAVIER CAÑIZARES MORENO
P.I.M. LUIS ROBERTO FÉLIX OCHOA
Presente.-

Por medio de la presente, informo a usted que después de analizar su solicitud de aprobación del tema de Disertación: **"COMPARACIÓN ECONÓMICA DE EXPLORACIÓN DE MINERALES Y ESTRATEGIAS DE ADQUISICIÓN"**, hemos tenido a bien emitir un dictamen satisfactorio del contenido del mismo, después de revisar cuidadosamente el trabajo desarrollado y verificar que los objetivos propuestos se hayan alcanzado, según lo establecido con anterioridad.

Por tal motivo, la Comisión extiende su autorización para proceder a la edición e impresión final del documento y, posteriormente, presentar el examen profesional en la fecha que de común acuerdo se convenga.

ATENTAMENTE,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

DR. SERGIO ALAN MORENO ZAZUETA
PRESIDENTE DE ACADEMIA

DR. SERGIO ALAN MORENO ZAZUETA
PRESIDENTE DEL JURADO
(DIRECTOR)

ING. BRENDA MARÍA QUIJADA MAYORQUIN
SECRETARIO DEL JURADO
(ASESOR)

M.A. MANUEL EMILIANO QUIROZ JUÁREZ
VOCAL DEL JURADO
(ASESOR)

AGRADECIMIENTOS:

Francisco Javier Cañizares Moreno.

Primeramente, doy gracias a Dios nuestro señor, por esta oportunidad que me ha brindado de darme la vida, agradezco a la Universidad De Sonora por pertenecer a esta gran academia de estudios donde pude culminar mis estudios de la carrera Ingeniero Minero, que con el apoyo de todos los maestros de la carrera Ingeniero Minero pude aprender todos los conocimientos necesarios que me han formado como todo un profesional.

A mis padres Elvira Eulalia Moreno Rodríguez y Francisco Javier Cañizares López que con su apoyo incondicional me brindaron esta hermosa experiencia, y en especial al Profesor M.C. Víctor Manuel Calles, al D.R Tomas Villegas que me llevo lo mejor de ellos enseñanzas y conocimientos.

Muchas Gracias.

Luis Roberto Félix Ochoa.

Quiero agradecer principalmente a mis padres por el esfuerzo realizado para así poder culminar la Universidad. Así también, especial agradecimiento a mis tres hermanos que han sido pilares importantes en mi formación como persona, a mis maestros de la carrera por su empeño y vocación en sus enseñanzas. A mi universidad por haberme dado los mejores años de mi vida en lo académico y en lo humano, esperamos con esta disertación devolverle un poco de lo mucho que nos dio nuestra casa de estudios.

INTRODUCCIÓN:

La Siguiete Disertación está basada en un trabajo de R.L. Robinson y B.W. Mackenzie presentado en APCOM 87 Symposium, Johannesburgo, octubre 1987, y en la tesis M.Sc. de R.L. Robinson.

Tiene como finalidad la obtención del Título De Ingeniero Minero, la cual se hizo una traducción sobre el tema "Comparación Económica de Exploración de Minerales y Estrategias de Adquisición", un tema del cual será de mucha ayuda como herramienta de aprendizaje para los alumnos de la Carrera De Ingeniero Minero, como en Evaluación De Proyectos Mineros.

INDICE

1.1 Introducción:	1
1.2 Importancia Relativa de las Estrategias Alternativas.	2
1.3 Situación de la Compañía Minera.	3
II- EL MERCADO DE ADQUISICIÓN.	9
2.1 Delineando los Parámetros Económicos.	10
2.2 Costos.....	11
Estrategia de Exploración.....	11
2.3 Estrategia de Adquisición.....	13
III- RIESGOS.....	15
3.1 Estrategia de Adquisición.....	15
3.2 Retornos	16
Estrategia de Exploración.....	17
Estrategia de Adquisición.....	17
3.3-. Representación del Árbol de Decisiones.	17
Estrategia de Exploración.....	18
3.4-. Estrategia de Adquisición.	19
3.5-. Resumen de las Estrategias de Reserva de Mineral.	20
3.6 Criterios Económicos.	21
3.7 Valor Actual Neto Esperado.	21
Estrategia de Exploración.....	21
Estrategia de Adquisición.....	22
IV- RENDIMIENTO EESPERADO POR UNIDAD DE INVERSIÓN.....	23
Estrategia de Exploración.....	24
4.1-. Riesgo Organizacional.	24
Estrategia de Exploración.....	25
Estrategia de Adquisición.....	25
4.2-. Caso de estudio Ilustrativo.....	26
4.3-. Comparación de Retornos para Depósitos Económicos.	26
4.4-. Comparación de Estrategia de Reserva de Mineral.	27
4.5-. Estimación de Parámetros – Estrategia de Exploración.....	27
4.6-. Estimación de Parámetros – Estrategias de Adquisición.	31
4.7-. Criterio Económico – Estrategia de Adquisición.....	33
4.8-. Comparando los Resultados de Exploración y Adquisición.	33

V-. CONCLUSIÓN.	37
5.1-. Resumiendo.	37
5.2-. Referencias.....	38

FIGURAS Y TABLAS

I.- Comparación Económica De Exploración De Minerales y Estrategias De Adquisición.....	1
Tabla 1-.	
IMPORTANCIA RELATIVA DE EXPLORACIÓN Y ADQUISICIÓN; 70 DEPÓSITOS DE CLASE MUNDIAL DESCUBIERTOS DESDE 1950.....	4
Tabla 2-.	
IMPORTANCIA RELATIVA DE EXPLORACIÓN Y ADQUISICIÓN: 141 GRANDES DEPÓSITOS MINERALES CONTROLADOS POR 15 GRANDES EMPRESAS MINERAS EXISTENTES DESDE 1900.....	4
Tabla 3-.	
IMPORTANCIA RELATIVA DE 45 GRANDES DEPÓSITOS MINERALES CONTROLADOS POR 9 EMPRESAS DE ENERGÍA DESDE 1975.....	5
Figura 1. Marco de Planificación de Empresas Mineras.	
II.- EL MERCADO DE ADQUISICIÓN.	9
FIGURA 2. LA OFERTA DE OPORTUNIDADES DE ADQUISICIÓN.....	11
III.- RIESGOS.....	15
FIGURA 3.ÁRBOL DE DECISIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE EXPLORACIÓN.....	18
FIGURA 4. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ADQUISICIÓN.	19
IV.- RENDIMIENTO ESPERADO POR UNIDAD DE INVERSIÓN.....	23
FIGURA 5. VISIÓN GENERAL DE ÁRBOL DE DECISIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESERVA DE MINERAL.	
Tabla 4.....	28
CARACTERÍSTICAS DE RETORNO PROMEDIO DE LOS DEPÓSITOS DE METALES BÁSICOS EN CANADA: COMPARACIÓN DE TODOS LOS DESCUBRIMIENTOS ECONÓMICOS CON DESCUBRIMIENTOS ECONÓMICOS OBTENIDOS POR LA ADQUISICIÓN.	
Tabla 5.....	34
RETORNO ESPERADO POR DEPÓSITO ECONÓMICO: ADQUISICIÓN EN EL SECTOR DEL METAL BASE CANADIENSE	
Tabla 6.....	34
VALOR ACTUAL NETO ESPERADO PARA LA ESTRATEGIA DE ADQUISICIÓN: SECTOR DE METALES BASE CANADIENSES	
Tabla 7.....	35
RETORNO ESPERADO POR UNIDAD DE INVERSIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ADQUISICIÓN: SECTOR DE METALES BASE CANADIENSES.	

I-. COMPARACIÓN ECÓNOMICA DE EXPLORACIÓN DE MINERALES Y ESTRATEGIAS DE ADQUISICIÓN.

1.1 Introducción:

La evaluación de proyectos mineros de inversión puede definirse como el conjunto de acciones que permiten juzgar cualitativa y cuantitativamente las ventajas e inconvenientes que presentan las asignaciones de recursos económicos a una iniciativa.

Se trata pues de llevar a cabo una valoración sistemática de la rentabilidad comparada de diversas opciones para a cabo un proyecto. Proyecto que en el sector minero puede consistir en el desarrollo completo de una explotación, la ampliación de una mina ya existente, en la compra o sustitución de nuevos equipos de producción, en la adquisición de una propiedad minera, etc.

Las diversas alternativas posibles pueden presentar diferencias en aspectos tales como: beneficios o ahorros en el tiempo, vida útil, recursos económicos necesarios, riesgo de no alcanzar los resultados previstos, etc.

Se formula un marco analítico para ayudar a las empresas mineras a evaluar los méritos relativos de exploración de minerales y estrategias de adquisición. Los costos anticipados, los riesgos y los retornos de cada estrategia son conceptualizados utilizando árboles de decisión. El criterio económico - el valor actual neto esperado, el retorno por unidad de inversión esperada y la probabilidad de éxito - para cada estrategia son derivados de la apropiada red de árboles de decisión. La aplicación del marco analítico es ilustrada utilizando el ejemplo de una empresa de talla media en el sector metalúrgico canadiense.

1.2 Importancia Relativa de las Estrategias Alternativas.

Cada compañía que está activa en el sector de los minerales tiene objetivos, recursos limitados, estrategias, y una estructura organizacional. Opera dentro de un ambiente económico, social y político complejo.

Depósitos minerales económicos - inicialmente desconocidos y sujetos a agotamiento durante el minado- son centrales para la planificación de la empresa minera. La habilidad de una empresa minera para realizar sus objetivos a largo plazo depende en el éxito que tenga al obtener depósitos económicos. Así, el desarrollo de las reservas minerales es una cuestión clave para la planificación.

Dos estrategias básicas están disponibles para la empresa minera para el reemplazo y crecimiento de las reservas de mineral:

- descubrimiento y delineación de los depósitos minerales económicos a través de exploración mineral exitosa;
- compra de depósitos minerales económicos a través de un programa exitoso de adquisición de depósitos.

Cook (1983) ha analizado el récord histórico de exploración y adquisición para determinar la importancia relativa de cada estrategia. La tabla 1 resume sus descubrimientos por 70 depósitos de "clase mundial" descubiertos en 1950. La importancia relativa de exploración y adquisición de 15 grandes empresas mineras en existencia desde 1900 que han controlado 141 depósitos minerales "mayores" se describe en la tabla 2. Finalmente, la tabla 3 muestra la clasificación de 45 depósitos "mayores" obtenidos por 9 empresas de energía desde 1975.

Las principales tendencias de tiempo evidentes a partir del análisis de Cook son las siguientes:

- 1900 a 1950 fue principalmente un período de adquisición por parte de la industria minera, que resultó en el desarrollo de la mayoría de las grandes compañías mineras actuales.
- 1950 a 1975 fue una era de exploración la cuál representa el principal método de crecimiento de estas compañías. Con la creciente competencia, el suministro de propiedades minerales disminuyó. Así, empresas mineras fueron alentadas a establecer departamentos de exploración para mantener su crecimiento;
- 1975 a principios de 1980 fue el más reciente periodo de adquisición. Empresas de Energía que entraron al negocio minero en este tiempo lo hicieron principalmente a través de la adquisición de empresas mineras.

Las conclusiones de Cook también señalaron diferencias en las estrategias de reserva de mineral entre las grandes compañías mineras. Algunas empresas han tenido éxito primordialmente a través de exploración mineral. Otras Han prosperado al adquirir depósitos minerales ya conocidos.

La importancia de la cuestión de la reserva de mineral dentro de las grandes empresas mineras, las tendencias históricas del tiempo y la amplia gama de experiencias corporativas sugieren que se debe prestar más atención a la evaluación objetiva y la comparación de los atributos económicos de las estrategias de exploración y adquisición de minerales. El propósito de esta disertación es ayudar a estructurar el proceso de pensamiento a lo largo de estas líneas. La intención es ayudar en la toma de decisiones dentro de las empresas mineras y de su grupo interdisciplinario de planeación corporativa.

1.3 Situación de la Compañía Minera.

El proceso de planeación de la empresa minera, representado en la figura 1, consiste en:

- establecer objetivos;
- desarrollar recursos corporativos

Tabla 1-

Importancia Relativa De Exploración y Adquisición; 70 Depósitos De Clase Mundial Descubiertos desde 1950

	Número de Depósitos	Como se Obtuvieron los Depósitos			
		Exploración		Adquisición	
		Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
África	8	7	88	1	12
Australia	8	8	100	-	-
Canadá	14	8	57	6	43
Latinoamérica	12	4	33	8	67
Estados Unidos	22	18	82	4	18
Otro	6	4	67	2	33
Total	70	49	70	21	30

Fuente: Cook (1983).

Tabla 2-

IMPORTANCIA RELATIVA DE EXPLORACIÓN Y ADQUISICIÓN: 141 GRANDES DEPÓSITOS MINERALES CONTROLADOS POR 15 GRANDES EMPRESAS MINERAS EXISTENTES DESDE 1900

Empresa Minera	Número de depósitos	Como se obtuvieron los depósitos			
		Exploración		Adquisición	
		Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Anglo American	13	-	-	13	100
BHP	4	-	-	4	100
Phelps Dodge	7	-	-	7	100
Noranda	17	2	12	15	88
Rio Tinto Zinc	9	2	22	7	78
Gold Fields	12	3	25	9	75
Inco	8	2	25	6	75
Amax	7	2	29	5	71
Newmont	14	4	29	10	71
Homestake	6	2	33	4	67
Cominco	12	5	42	7	58
Western Mining	7	3	43	4	57
Asarco	16	7	44	9	56
Placer Development	6	4	67	2	33
Freeport-McMoran	3	3	100	-	-
Total	141	39	28	102	72

Tabla 3-.

IMPORTANCIA RELATIVA DE 45 GRANDES DEPÓSITOS MINERALES CONTROLADOS POR 9 EMPRESAS DE ENERGÍA DESDE 1975.

Empresa de Energía	Empresa Minera Adquirida	Como se obtuvieron los depósitos			
		Exploración		Adquisición	
		Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Amoco	Cyprus	-	-	4	100
Atlantic	Anaconda	-	-	6	100
Richfield	Selection	-	-	5	100
BP	Trust	-	-	12	100
Fluor	St. Joe	-	-	4	100
Pennzoil	Duval	-	-	5	100
Sohio	Kennecott	-	-	2	100
Union Oil	Moly Corp.	1	33	2	67
Exxon	-	4	100	-	0
Getty	-				
Total			5	11	40
89					

- canalizar recursos a través de estrategias a áreas de oportunidad ambiental;
- evaluar, seleccionar e implementar la alternativa de inversión identificada.

Las interrelaciones entre objetivos, recursos y condiciones ambientales guían la formulación de estrategias corporativas.

Los objetivos de la empresa minera son similares a aquellos de otras empresas - beneficio, crecimiento y supervivencia. El beneficio se genera por la minería y la venta de minerales a precios que cubren al menos la inversión inicial ajustada en función del tiempo y los costos de operación subsiguientes. El beneficio también se puede realizar mediante la venta de depósitos de minerales. El crecimiento se genera del éxito de la empresa en generar y reinvertir utilidades. La supervivencia es una condición previa necesaria para ambos, beneficio y crecimiento. La minería convierte las reservas de mineral finita y en agotamiento de la compañía en efectivo y otros activos. Para sobrevivir, la empresa debe invertir con éxito parte de estos nuevos recursos en la sustitución de sus reservas de mineral que se están agotando. Un hilo común subyacente entre los objetivos de beneficio, crecimiento y supervivencia es el reemplazo de reserva de mineral y crecimiento.

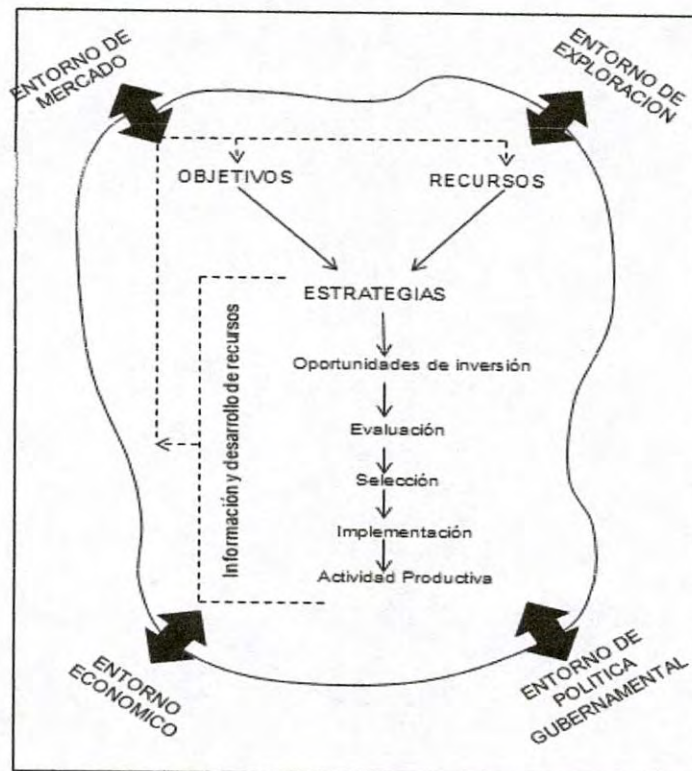
Recursos financieros, humanos y de capital son invertidos por la empresa minera para realizar objetivos. Los recursos financieros tienen grados variables de liquidez. Los recursos líquidos existentes son importantes para el presupuesto actual. Para la planeación financiera a largo plazo, el potencial para recaudar fondos de capital y deuda es crítico. El aumento en la base de activos de la empresa a través de la adición de depósitos minerales económicos aumenta la capacidad de endeudamiento de la empresa, así como su atractivo para nuevos valores de las acciones.

Recursos humanos, incluyendo capacidades directivas y técnicas, tienen una fuerte influencia en las estrategias adoptadas. A medida que la empresa evoluciona, la gama de habilidades empleadas se extiende, y las estructuras y procedimientos internos se forman alrededor de esas habilidades.

El recurso capital consiste en los activos fijos de la empresa y en las instalaciones productivas. El recurso capital más importante es el valor de reservas de mineral de la empresa, su fuente básica de ingresos. Las reservas de mineral deben ser reemplazadas por lo menos tan rápido como la tasa de agotamiento para que la compañía mantenga su capacidad existente.

La empresa minera opera en un entorno cambiante que debe ser objeto de una revisión continua. La interacción entre el medio ambiente y la empresa es crítica para la formulación de estrategias corporativas. Cambios en condiciones ambientales pueden resultar en cambios de estrategia y cambios en la estructura de la empresa. Algunos elementos del entorno de la empresa minera son:

Figura 1. Marco de Planificación de Empresas Mineras.



- el entorno del mercado de minerales, incluyendo las relaciones mundiales de oferta-demanda-precio y posición competitiva;
- el entorno económico, incluidos los ciclos económicos, la inflación y los tipos de cambio, las fuentes externas de recursos y la disponibilidad de recursos humanos;
- entorno de políticas gubernamentales que brinda importantes oportunidades y limitaciones para la planificación corporativa;

Entorno de exploración minera que produce las reservas de mineral necesarias para las utilidades corporativas, crecimiento y supervivencia mediante el descubrimiento y delineación de depósitos minerales económicos.

La función de planificación corporativa dentro de las empresas mineras puede resumirse en una pregunta esencial - ¿cómo debe invertir la empresa sus recursos financieros, humanos y de capital dentro de estas condiciones ambientales para realizar mejor sus objetivos de ganancia, crecimiento y supervivencia?

II-. EL MERCADO DE ADQUISICIÓN.

El descubrimiento y delineación de depósitos minerales económicos es la última fuente de reservas de mineral. Sin embargo, existe un grado de interdependencia entre los diversos tipos de empresas del sector de los minerales.

Esta interdependencia incrementa las oportunidades de adquisición.

En primer lugar, es necesario definir lo que se entiende por el término "adquisición". Los diferentes tipos de oportunidades mineras, pueden ser la adquisición de compañías mineras, minas que están operando, oportunidades de desarrollo de minas, proyectos en exploración o derechos o denuncios mineros. (La adquisición de la compañía minera en sí es realmente una mezcla porque la compañía adquirida normalmente comprende el depósito mineral y un equipo de exploración.) A medida que el foco de atención cambia de minas en operación a derechos o denuncios mineros, el componente de exploración aumenta. En el extremo de este rango, la adquisición de derechos mineros no es muy diferente de la exploración misma. Para mantener la distinción entre las dos estrategias tan clara como sea posible, aquí se define la "adquisición" como la obtención de reservas de mineral que se han encontrado y delimitado parcialmente, en o cerca del punto de decisión de desarrollo de la mina.

El mercado de adquisición consta de la oferta y la demanda de depósitos minerales. La adquisición ocurre cuando se negocia un precio mutuamente aceptable para la transacción. Las empresas mineras tienen diferentes objetivos, fortalezas y debilidades. Bajo condiciones de incertidumbre, las compañías tendrán inevitablemente percepciones variables del potencial geológico, perspectivas del mercado, costos del capital y operación, factores de recuperación y dilución y perspectivas de política gubernamental, pertenecientes a la valoración de determinadas propiedades mineras. Estos factores explican la existencia de un mercado de adquisición de reservas de mineral.

La razón base por la que se llevan a cabo las transacciones de adquisición es que los depósitos minerales particulares se perciben como de menor valor para el vendedor que para el comprador. La posición de adquisición dentro del sector de minerales se representa en la figura 2. La oferta de oportunidades de adquisición se deriva del descubrimiento de depósitos minerales que se perciben como económicos para algunas empresas de la industria. Muchas de estas situaciones, por supuesto, son desarrolladas y minadas por sus descubridores. El resto está disponible para su adquisición.

Un vendedor puede disponer de un depósito de minerales a través de una venta directa, un acuerdo de socio conjunto o un acuerdo de interés. La propiedad de algunos depósitos puede cambiar más de una vez antes de que sus reservas de mineral se agoten a través del minado.

Las razones para la transferencia de depósitos de minerales entre las empresas, como se indica en la figura 2, incluyen tanto como las diferencias reales y las percibidas en el valor económico. El vendedor puede carecer de las habilidades, la tecnología o la infraestructura regional necesaria para una explotación rentable. Puede haber fondos insuficientes para desarrollar el proyecto y, en algunos casos, una empresa puede verse obligada a vender sus reservas de mineral para fines de supervivencia.

Una empresa minera puede vender un depósito porque no se ajusta al plan corporativo. Puede considerarse demasiado marginal, pequeño o arriesgado. Por otra parte, el depósito puede ocurrir en el lugar o país equivocado, o puede producir productos que no se ajustan a la estrategia de mercado actual de la compañía.

2.1 Delineando los Parámetros Económicos.

Todas las grandes empresas mineras exploran y adquieren reservas de minerales. Por lo tanto, el asunto es uno de los énfasis estratégicos. Como destaca la encuesta de Cook (tabla 2), existe una amplia diversidad de experiencia en la minería en este respecto.

Lo atractivo de las estrategias de exploración y adquisición de minerales depende de sus respectivas características de costo, riesgo y retorno. Estos parámetros se combinan en el proceso de evaluación para valorar los criterios económicos generales. A continuación, se presenta una descripción inicial de los respectivos parámetros de costo, riesgo y rendimiento.

2.2 Costos.

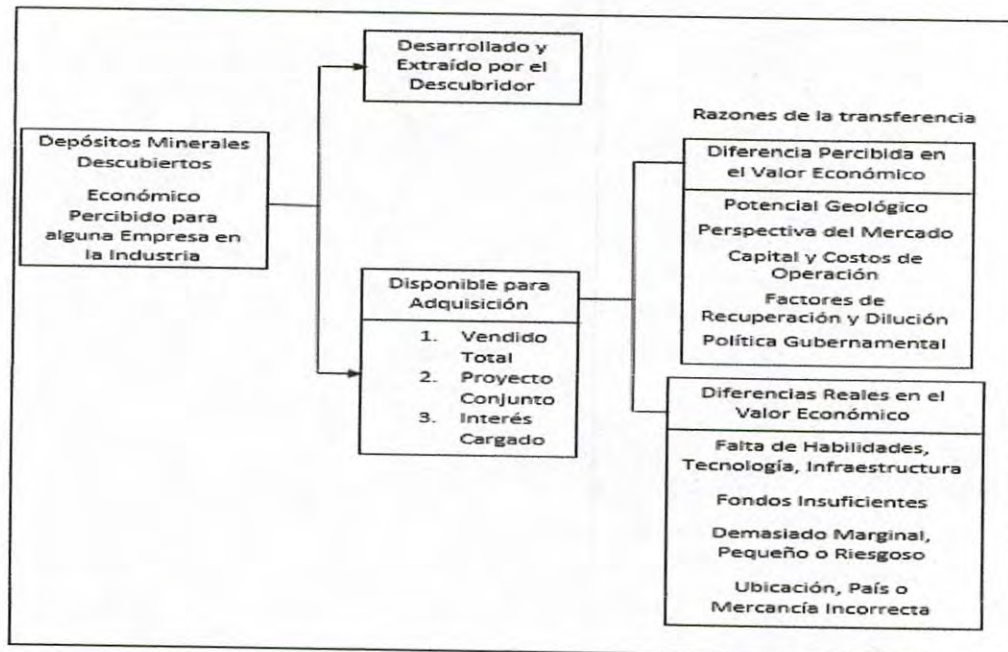
Estrategia de Exploración.

La ocurrencia física de los depósitos minerales en la naturaleza y la demanda de productos minerales en la economía proporcionan los estímulos básicos para la exploración minera. Las percepciones favorables de los geólogos de exploración y los investigadores de mercado con respecto a estos factores se combinan para guiar la selección de ambientes para la exploración.

La exploración minera es un proceso secuencial de recolección de información que comprende dos etapas principales: exploración primaria y delineación. En la etapa de exploración primaria, las áreas de tierra potencialmente favorables se seleccionan inicialmente en un ambiente de interés y, a continuación, se someten a una serie de pruebas geológicas, geofísicas, geoquímicas y de perforación.

El resultado exitoso de la exploración primaria es el descubrimiento de fenómenos minerales o, en otras palabras, encontrar indicios positivos de mineralización de leyes potencialmente económicas a través de anchos minables normalmente por barrenación. Este resultado constituye un éxito técnico o geológico. En esta etapa, el tamaño final y el valor de cada ocurrencia mineral son desconocidos.

Figura 2. La Oferta de Oportunidades de Adquisición.



El descubrimiento de una ocurrencia de minerales suele ser de interés suficiente para justificar al menos la primera ronda de delineación. La etapa de delineación de la exploración consiste en perforar y muestrear un descubrimiento sobre un patrón sistemático con el fin de establecer las dimensiones de los depósitos, la geometría y la ley.

Mientras los resultados se consideren favorables, la delineación avanza hacia los márgenes externos del descubrimiento para proporcionar estimaciones más completas y de intervalos más amplios a menos espaciados para proporcionar estimaciones más confiables.

Eventualmente, si la perforación continúa, la información del depósito se convierte lo suficientemente confiable como para proporcionar una base para el estudio preliminar de viabilidad lo que conduce a una decisión de desarrollo de la mina. Este resultado - un posible descubrimiento económico para la evaluación - representa el éxito de la etapa de delineación de la exploración.

Los costos de exploración se pueden resumir como se muestra a continuación:

c_e	=	costo de exploración primario típico o promedio asociado con el descubrimiento de una ocurrencia de minerales;
c_d	=	costo promedio de delineación por ocurrencia de minerales descubiertos;
C_{ej}	=	gasto de exploración primaria en el décimo año;
g_j	=	número de ocurrencias minerales descubiertas en el décimo año;
E_{ej}	=	presupuesto de exploración en el décimo año;
p	=	probabilidad de un depósito mineral económico dado el descubrimiento de una ocurrencia de minerales;
E_e	=	costo promedio de exploración requerido para encontrar y delinear un depósito mineral económico;
g_j promedio	=	C_{ej}/c_e ;
E_{ej}	=	$C_{ej} + g_j(c_d)$;
E_e	=	$(c_e + c_d) / p$.

2.3 Estrategia de Adquisición.

Un equipo de adquisición con conocimientos geológicos, mineros, procesamiento de minerales, comercialización y habilidades de evaluación económica es requerido para buscar e identificar oportunidades, y para inicialmente seleccionar posibles adquisiciones. Varios depósitos estarán disponibles para la empresa minera cada año para adquisición.

Para cada depósito disponible que se considere de interés suficiente para la empresa, se requiere que un equipo de evaluación o consultores externos evalúen la posible adquisición. La evaluación del valor económico de la oportunidad proporciona una base para decidir si la empresa desea o no hacer una oferta sobre el depósito y, en caso afirmativo, para formular una estrategia de oferta y con límites apropiados.

Como se mencionó anteriormente, hay varias maneras en que un depósito mineral puede ser adquirido. Un vendedor puede disponer de un depósito a través de una venta directa, una empresa conjunta, o un contrato de interés. El método final de transferencia y los términos del acuerdo se determinan en última instancia por la naturaleza del depósito, la percepción del comprador y del vendedor del entorno externo: las fortalezas y debilidades relativas de las partes y sus habilidades de negociación.

Los costos de adquisición pueden resumirse de la manera siguiente:

C_{aj}	=	costo de equipo de adquisición en el décimo año;
h_j	=	número de oportunidades de adquisición identificados en el décimo año;
c_v	=	costo promedio de establecer una oferta para una oportunidad de adquisición;
p_m	=	probabilidad de realizar una oferta dada una oportunidad de adquisición;
B	=	valor económico de la oferta;
p_b	=	probabilidad de que se acepte una oferta;
E_{aj}	=	presupuesto de adquisición
E_a	=	costo promedio requerido para adquirir un depósito mineral económico;
E_{aj}	=	$C_{aj} + h_j(c_v) + p_m(B)(p_b)$
E_a	=	$E_{aj}/h_j(p_m)(p_b)$

Cabe señalar que existe una relación directa entre el tamaño de una oferta (B) y la probabilidad de que sea aceptada (p_b).

III-. RIESGOS.

Estrategia De Exploración.

Los cuatro tipos de riesgos asociados con la estrategia de exploración mineral son los siguientes.

1. El riesgo de descubrimiento, o, la probabilidad de un depósito mineral económico, dado el descubrimiento de una ocurrencia de minerales (p). Debido al alto riesgo de descubrimiento que caracteriza la exploración mineral (típicamente $p = 0,01$ a $0,02$), la aplicación de fondos organizacionales limitados no asegura la realización de los valores esperados y los recursos de exploración a menudo se gastan sin éxito.
2. Riesgo geológico, o, la variabilidad de la recuperación económica dado el descubrimiento de un depósito mineral económico. El riesgo a la baja y el potencial al alza asociado con la variabilidad de los parámetros geológicos entre los descubrimientos económicos tienen implicaciones importantes para la planificación de la exploración.
3. El riesgo de mercado asociado con el mercado de materiales para los productos minerales producidos en última instancia. Existe un alto nivel de incertidumbre asociado con la previsión de las fluctuaciones a corto plazo y las tendencias a largo plazo de los precios de las materias primas minerales, incluidos los riesgos cambiarios. Las características de la recuperación económica de los descubrimientos son altamente sensibles a los precios anticipados.
4. Riesgo del proyecto asociado con el desarrollo de depósitos económicos a la etapa de producción. Este riesgo engloba las incertidumbres asociadas con las estimaciones específicas de depósitos, incluyendo el tonelaje y la ley, el capital y los costos operativos, los factores de recuperación y dilución de minas, y las recuperaciones de procesamiento de minerales.

3.1 Estrategia de Adquisición.

Los riesgos comparativos asociados con la estrategia de adquisición se describen a continuación.

1. El riesgo de disponibilidad, o la probabilidad de que un depósito económico que ha sido descubierto se ofrecerá en el mercado de adquisición.

2. Riesgo de deseabilidad, o, la probabilidad de que la empresa haga una oferta dada la disponibilidad de una oportunidad de adquisición (p_m).
3. Riesgo de aceptación o probabilidad de aceptación de una oferta condicionada a la disponibilidad de un depósito económico y de interés para la empresa (P_b). La probabilidad de aceptación depende de la relación entre el valor económico de la oferta y el valor percibido del depósito, el grado de competencia que existe entre los compradores potenciales y el poder de negociación del vendedor.
4. Riesgo de mercado.
5. Riesgo de proyecto.

Los dos últimos riesgos son similares a los descritos anteriormente para la estrategia de exploración.

3.2 Retornos

Estrategia de Exploración.

Como consecuencia de la variabilidad en el tonelaje, ley y otras características geológicas entre los depósitos económicos, típicamente hay una amplia gama de posibles retornos (R) distribuidos alrededor del promedio o valor medio de retorno.

Las características de retorno para cada posible descubrimiento económico están determinadas por las características estimadas del flujo de efectivo de la fase de desarrollo y producción.

A partir de esta distribución del flujo de caja se derivan una serie de medidas de valor económico, incluyendo el ingreso total de ventas generadas, la tasa de rendimiento y el valor presente neto.

Aquellos descubrimientos que satisfagan condiciones mínimas aceptables de ingresos totales (tamaño) y tasa de rendimiento (rentabilidad) se consideran económicos.

El histograma de los valores actuales netos para todos los depósitos económicos descubiertos puede utilizarse para caracterizar las características de retorno de los descubrimientos económicos.

El valor medio de esta distribución puede ser adoptado por simplicidad, pero, teniendo en cuenta la amplia gama de retornos inherentes a la minería, no existe realmente un depósito "típico".

Estrategia de Adquisición

La distribución de los rendimientos de los depósitos económicos que se ponen a disposición en el mercado de adquisición es un subconjunto de la distribución de retorno para todos los descubrimientos económicos. Es discutible si este subconjunto de retornos es inferior o superior a la distribución de retorno global.

3.3-. Representación del Árbol de Decisiones.

Los parámetros de costo, riesgo y retorno asociados con las alternativas de exploración y adquisición de minerales para obtener reservas de mineral pueden ser mejor enlazados usando redes de árboles de decisión.

Estrategia de Exploración.

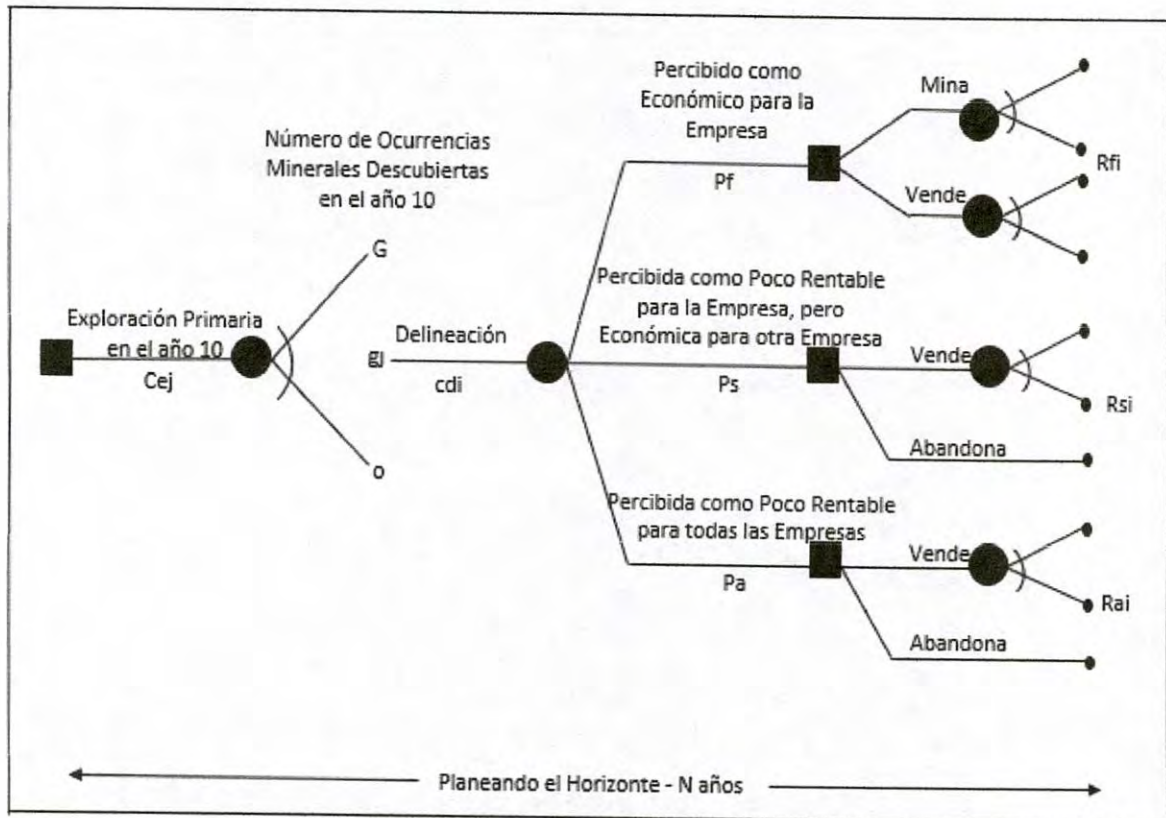
La representación en árbol de decisión de la alternativa de exploración mineral se presenta en la figura 3 y se resume como sigue.

1. El horizonte de planificación corporativa es de N años.
2. Un gasto de exploración primario de C_{ej} se invierte en el año j.
3. Se descubren una serie de fenómenos minerales, g_j , como resultado de la inversión de C_{ej} en la exploración primaria. Este número varía de cero a G con:

$$g_j \text{ promedio} = C_{ej}/c_e$$

4. Un coste de delineación c_{di} se asocia con cada uno de los i ocurrencias minerales descubiertos.
5. Uno de los tres resultados posibles se asocia con cada ocurrencia de minerales delineada:
 - el descubrimiento puede ser percibido como económico para la empresa;
 - el descubrimiento puede ser percibido como poco rentable para la empresa, pero económico para alguna otra empresa de la industria;

Figura 3. Árbol de Decisión para la Estrategia de Exploración.



- el descubrimiento puede ser percibido como poco rentable para todas las empresas.
- Las probabilidades asociadas con estos resultados son p_f , p_s , y p_a respectivamente:
-

$$p_f + p_s + p_a = 1.$$

La probabilidad de un depósito mineral económico dado el descubrimiento de una ocurrencia de minerales (p en general) es p_f para la empresa afectada y $(p_f + p_s)$ para la industria si las percepciones mantenidas con respecto a las ocurrencias minerales delineadas son correctas.

6. Si la ocurrencia de mineral delineada es percibida como económica para la empresa, la empresa decide si desarrolla y extrae el depósito o lo vende. La compañía consideraría la venta del depósito si recibió una oferta mayor que el valor percibido del descubrimiento. Una gama de rentabilidades posibles, R_{fi} , se asocia con la alternativa de minar o de venta.

7. Si la ocurrencia de mineral delineada se percibe como poco rentable para la empresa, pero económica para alguna otra empresa, se intentaría vender la propiedad. Si se vende el depósito, se obtendrá una gama de posibles rendimientos, R_{sj} . De lo contrario, la propiedad sería abandonada.

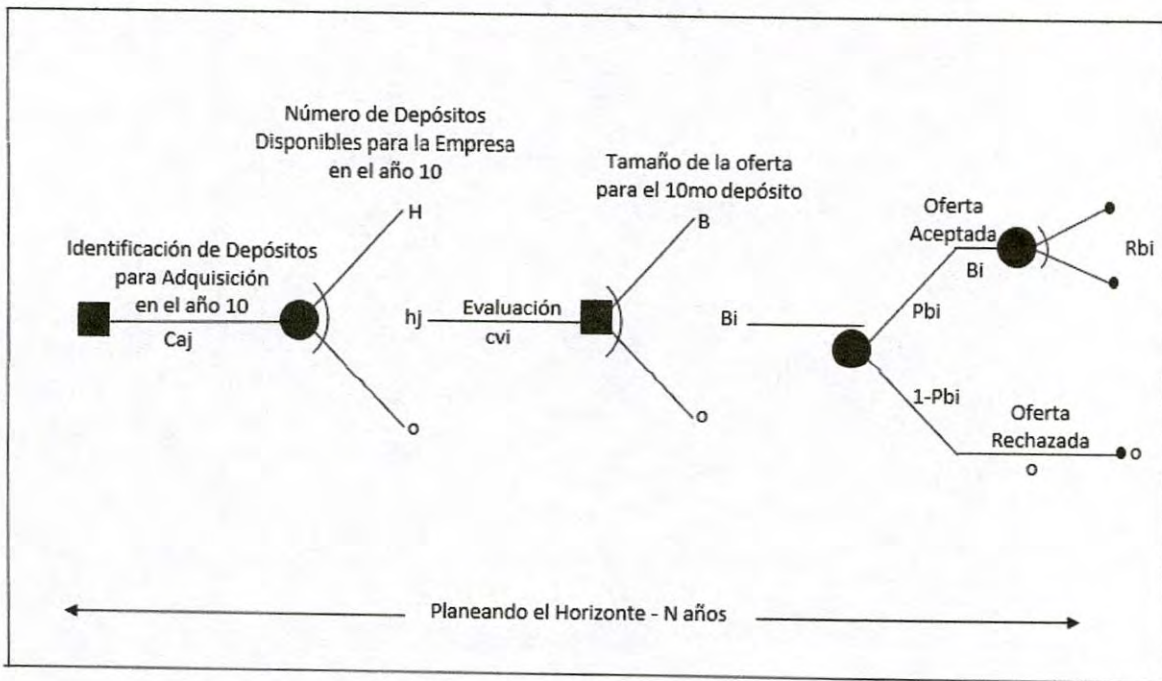
8. Si la ocurrencia de minerales delineada es percibida como poco rentable para todas las empresas, la empresa puede intentar vender la propiedad. Si se vende, se realizaría una gama de retornos posibles, R_{ai} . Sin embargo, el descubrimiento probablemente tendría que ser abandonado.

9. Los tres tipos de opciones de venta representan las fuentes potenciales de oportunidades de adquisición.

3.4- Estrategia de Adquisición.

La red de árbol de decisión para la alternativa de adquisición se muestra en la figura 4 y se resumen a continuación.

Figura 4. Árbol de Decisión para la Estrategia de Adquisición.



1. El horizonte de planeación corporativa nuevamente es de N años.
2. Como se muestra en la figura 3, existe probabilidad de que cada depósito económico descubierto esté disponible en el mercado de adquisición. Además, se ofrecen depósitos no rentables para la adquisición.
3. Un equipo de adquisición busca e identifica posibles oportunidades. C_{aj} es el costo de operar el equipo de adquisición en el año j .
4. En consecuencia, se identifican una serie de oportunidades de adquisición, h_j , en el año j . Este número varía de cero a H .
5. Se incurre en un costo, c_{vi} , para evaluar cada una de las i oportunidades de adquisición identificadas y para establecer una estrategia de licitación.
6. A la luz de este trabajo de evaluación, la compañía decide si debe o no licitar en cada una de las i oportunidades de adquisición disponibles. Si no hace una oferta, el tamaño de la oferta es efectivamente cero. De lo contrario, se ofrece una oferta, B_i .
7. Hay una probabilidad, p_{bi} , de que cada oferta sea aceptada. En este caso, el costo de adquirir el depósito es B_i . Un rango de rentabilidades posibles, R_{bi} , está asociada con la adquisición de un depósito mineral.
8. De lo contrario, hay una probabilidad $(1-p_{bi})$ de que la oferta sea rechazada. En este caso, no se incurre en ningún costo fuera del costo de evaluación (c_{vi}), y no se obtiene retorno.
9. La relación entre B_i y p_{bi} es crítica. A medida que B_i se eleva en relación con R_{bi} , p_{bi} aumenta hacia la unidad.

3.5-. Resumen de las Estrategias de Reserva de Mineral.

Los árboles de decisión para las estrategias de exploración y adquisición de minerales para el reemplazo y crecimiento de reserva de mineral se resumen en la figura 5. Las opciones de venta para la alternativa de exploración mineral constituyen la base para la estrategia de adquisición. El número de descubrimientos realizados en el año j que potencialmente pueden ser vendidos representan las oportunidades de adquisición que pueden ser identificadas por el equipo de adquisición.

3.6 Criterios Económicos.

La evaluación de alternativas de planeación estratégica debe emplear criterios económicos relacionados con los objetivos de la empresa minera. Los criterios económicos miden el atractivo general de las respectivas estrategias de reserva de mineral. Estas medidas se derivan de los parámetros de costo, riesgo y retorno relacionados en las figuras 3 y 4.

Los tres criterios siguientes se utilizan en nuestra comparación de las estrategias de exploración y adquisición de minerales para el reemplazo y el crecimiento de reservas de mineral.

1. Valor actual neto esperado, una medida del potencial de ganancias de cada alternativa, que refleja tanto su tamaño como sus características de rentabilidad.
2. Rendimiento esperado por unidad de inversión, una medida de rentabilidad que relaciona el valor esperado con el requerimiento de inversión asociado
3. Riesgo organizacional, midiendo la probabilidad de que la empresa minera tenga éxito en obtener al menos un depósito económico o, alternativamente, el nivel de financiamiento requerido para asegurar el éxito.

3.7 Valor Actual Neto Esperado.

El valor actual neto estimado evalúa el valor promedio que las alternativas respectivas de reserva de mineral producen a largo plazo, cuando se consideran los éxitos y fracasos asociados con un número muy grande (teóricamente infinito) de inversiones.

Estrategia de Exploración.

El valor actual neto esperado al inicio del horizonte de planeación de las actividades de exploración en el año j es:

$$\left[\sum_{i=1}^{g_j} P_f(R_f^i) + p_s (R_{sj}) + p_a (R_{ai}) - c_{di} \right] - C_{ej}$$

Así, el valor actual neto esperado de la estrategia de exploración sobre la planificación horizonte de N años.

EV (Estrategia de Exploración) =

$$\sum_{j=1}^N \left[\left[\sum_{i=1}^{g_j} P_f (R_{f_i}) + P_s (R_{s_j} + P_a (R_{a_i}) - c_{di}) \right] - C_{ej} \right].$$

Estrategia de Adquisición.

El valor presente neto esperado al inicio del horizonte de planeación de las actividades de adquisición en el año j es:

$$\left[\sum_{i=1}^{h_j} P_{bi} (R_{bi} - B_i) - c_{vi} \right] - C_{aj}.$$

Así, el valor actual neto esperado de la estrategia de adquisición sobre el horizonte de planeación de N años,

EV (Estrategia de Adquisición) =

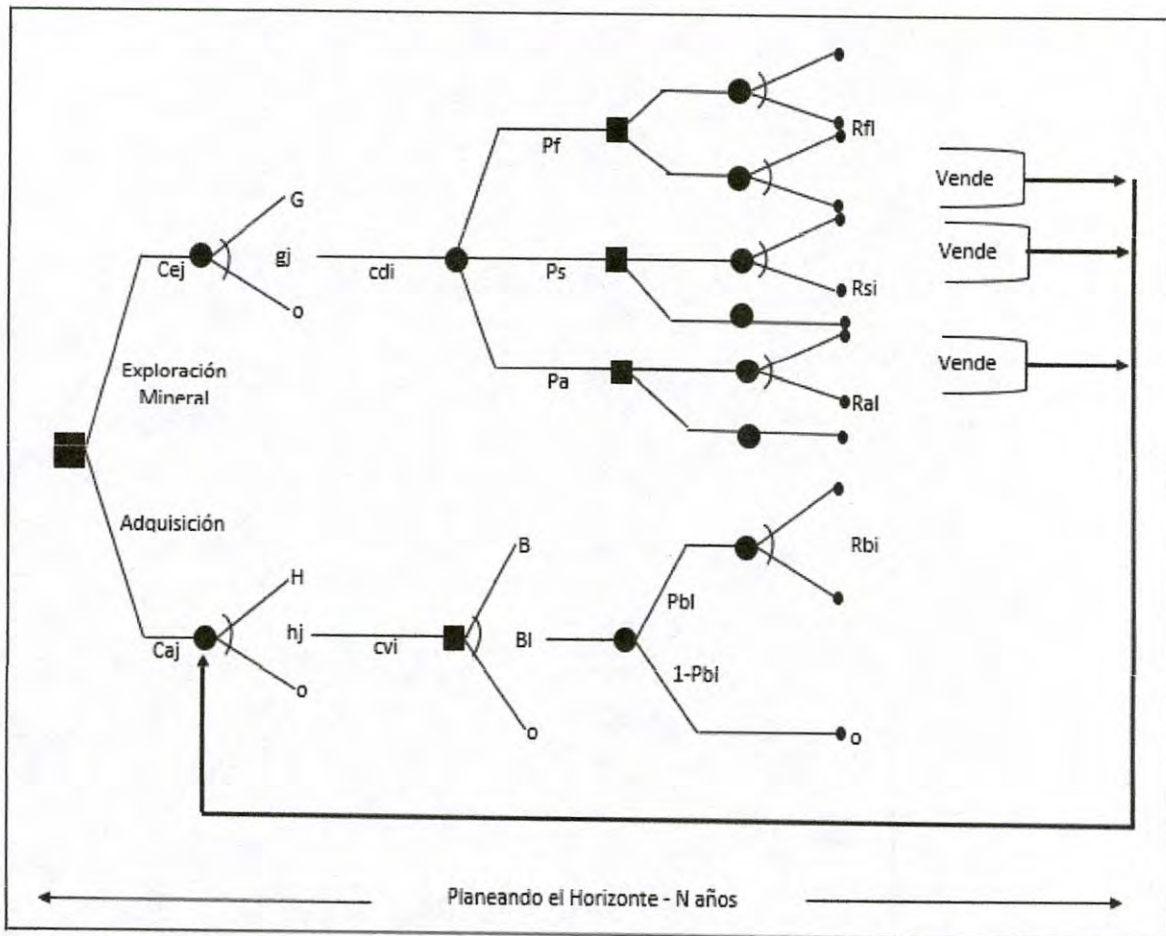
$$\sum_{j=1}^N \left[\left[\sum_{i=1}^{h_j} P_{bi} (R_{bi} - B_i) - c_{vi} \right] - C_{aj} \right].$$

IV-. RENDIMIENTO EESPERADO POR UNIDAD DE INVERSIÓN.

El valor actual neto esperado mide la ganancia potencial de las estrategias de reserva de mineral. Dado que las estrategias que se comparan probablemente incorporan requisitos de inversión diferentes, el beneficio no es lo mismo que la rentabilidad - la relación entre el beneficio y la inversión necesaria para su realización. Por lo tanto, la estrategia con el mayor valor actual neto esperado no es necesariamente la alternativa más rentable; puede representar una inversión mayor pero menos rentable. Para superar esta dificultad, el valor actual neto esperado (o, en otras palabras, el rendimiento esperado) asociado a cada estrategia debe expresarse por unidad de inversión.

El costo de capital para desarrollar un depósito económico, C_{fi} para la estrategia de exploración y C_{ai} para la estrategia de adquisición, se incluye con los costos de exploración y adquisición para obtener las inversiones totales respectivas.

Figura 5. Visión General de Árbol de Decisión de las Estrategias de Reserva de Mineral



Estrategia de Exploración.

El rendimiento esperado por unidad de inversión para la exploración es:

$$\text{EV (Estrategia de Exploración)} \\ \sum_{j=1}^N \left[\left[\sum_{i=1}^{g_j} P_f (C_{fi}) + c_{di} \right] - C_{ej} \right]$$

Esta formulación hace la suposición simplificada de que la empresa minera que descubriera un depósito económico la desarrollaría y extraería.

Estrategia de Adquisición.

Para la adquisición, el rendimiento esperado por unidad de inversión es:

$$\text{EV (Estrategia de Adquisición)} \\ \sum_{j=1}^N \left[\left[\sum_{i=1}^{h_j} P_{bi} (C_{ai} + b_i) - c_{bi} \right] - C_{aj} \right]$$

4.1-. Riesgo Organizacional.

Debido a los riesgos asociados con las estrategias de exploración y adquisición, la aplicación de fondos corporativos limitados no garantiza la realización de los valores esperados y los recursos pueden ser gastados sin éxito. Esto significa que hay una gran diferencia entre el costo promedio requerido para obtener un depósito mineral económico y los fondos necesarios para asegurar el éxito.

Las relaciones pertinentes son como se muestra a continuación:

$$P_1 = 1 - e^{-m}$$

$$A_r = E[\ln(1 - P_1)]$$

$$m = A/E$$

donde, P_1 = probabilidad de obtener al menos un depósito económico;

A_r = fondo necesario a través una adecuada planeación de horizonte para garantizar el éxito;

A = fondo disponible a través del horizonte de planeación apropiado;

E = costo promedio requerido para obtener un depósito económico;

e = 2.71828;

\ln = logaritmo natural.

Por ejemplo, los fondos necesarios para estar 90 por ciento seguros de obtener al menos un depósito económico son 2.3 veces el costo promedio asociado con un depósito económico:

$$A = -E [\ln(1 - .90)] = -E [-2.3] = 2.3E.$$

Estrategia de Exploración.

Los siguientes parámetros de exploración se tienen en cuenta en las relaciones generales de riesgo organizacional descritas anteriormente.

$$A_e = N (E_e j)$$

$$E_e = \left[\frac{c_e + c_d}{P_f} \right]$$

$$m_e = \left[\frac{A_e}{E_e} \right] = \left[\frac{N(E_e j) (c_e + c_d)}{P_f} \right]$$

$$A_{er} = -E_e [\ln(1 - P_1)].$$

Estrategia de Adquisición.

Los siguientes parámetros de adquisición se tienen en cuenta en las relaciones generales de riesgo organizacional.

$$A_a = N(E_{aj})$$

$$E_a = \left[\frac{E_{aj}}{H_j(Pbi)} \right]$$

$$m_a = \left[\frac{A_a}{E_a} \right] = \frac{N(E_{aj})(H_j)(Pbi)}{E_{aj}} = N(H_j)(Pbi)$$

$$A_m = -E_a [1n(1 - P_1)].$$

4.2-. Caso de estudio Ilustrativo.

El marco analítico desarrollado se aplica aquí al caso ilustrativo de una empresa minera de tamaño mediano en el sector canadiense de metales básicos. Las estimaciones se basan en la experiencia de exploración y adquisición en este entorno durante el período 1946-77. Todos los valores se expresan en dólares canadienses constantes de 1980. Los resultados se evalúan sobre un valor potencial, antes de impuestos.

Durante el período de estudio, se descubrieron 211 depósitos de metales básicos importantes en Canadá. De éstos, 64 se hicieron disponibles para la adquisición. De acuerdo con la definición de "adquisición" adoptada en este estudio, 42 de los depósitos fueron confirmados como adquisiciones por las empresas mineras afectadas y los otros 22 fueron reconocidos como adquisiciones utilizando otras fuentes de información.

4.3-. Comparación de Retornos para Depósitos Económicos.

Un depósito económico para alguna empresa en la industria se define como un descubrimiento que genera un ingreso total de al menos \$20 millones y alcanza una tasa de retorno de al menos el 5 por ciento.

Los 211 depósitos de metales básicos en la base de datos se evalúan para un conjunto estandarizado de condiciones económicas y tecnológicas actuales. Dado que el precio de los productos básicos minerales es la variable más importante y más incierta en la evaluación, los flujos de efectivo se evalúan en función del precio. Así, para cada producto mineral, una perspectiva de precios esperada está limitada por los precios límite superior e inferior.

Las características de retorno de todos los depósitos económicos en la base de datos se promedian para comparar con los rendimientos promedio de los depósitos económicos en la muestra de adquisición. Los resultados comparativos se muestran en la tabla 4.

Las evaluaciones son sorprendentemente similares. Los depósitos de metales básicos que se han adquirido tienen al menos una calidad tan alta como la población total de descubrimientos económicos.

4.4-. Comparación de Estrategia de Reserva de Mineral.

La empresa minera de tamaño mediano utilizada en la ilustración tiene flujos de efectivo anuales antes de impuestos del orden de \$50 millones de los cuales se provee financiamiento para su programa de reemplazo de reserva de mineral. Los criterios mínimos aceptables de la compañía para un depósito económico son un ingreso total de al menos \$50 millones y una tasa de retorno de por lo menos 10 por ciento. Debido a las limitaciones de la base de datos empíricos, se hacen varias simplificaciones con respecto al enfoque analítico previamente desarrollado.

4.5-. Estimación de Parámetros – Estrategia de Exploración.

Se hacen las siguientes suposiciones y estimaciones.

1. Suponga que el presupuesto anual de exploración de la compañía permanece constante. Por lo tanto, el total de los fondos de exploración invertidos en el horizonte de planeación $= N [C_{ej} + g_j \text{ promedio } (c_d)] = N [E_{ej}]$.
2. Supongamos que $R_{ai} = 0$; P_f and P_s se calculan sobre la base de descubrimientos económicos solamente (suponiendo que las percepciones iniciales coinciden con la realidad eventual); y que los descubrimientos percibidos como económicos para la empresa se desarrollan y extraen.
3. Se considera que un horizonte de planeación adecuado a largo plazo, N , es de 20 años.
4. Se utiliza un presupuesto de exploración anual óptimo de \$2.5 millones. En el horizonte de planeación de 20 años, el valor actual del flujo de gastos de exploración descontado en un 10 por ciento es de \$21.3 millones.
5. De los resultados empíricos, el gasto de exploración promedio requerido para encontrar y delinear un depósito económico, E_e , se estima en \$25 millones.
6. La probabilidad de un descubrimiento económico para la industria que cumpla con los criterios mínimos aceptables de la empresa se estima en 0.9 basada en la experiencia histórica. Por lo tanto, la probabilidad de un descubrimiento económico para la industria que no cumple los criterios de la empresa es $(1 - 0.9) = 0.1$.
7. El rendimiento esperado por descubrimiento económico retenido por la compañía, descontado al inicio del horizonte de planeación, R_f , se estima en \$60.7 millones. Se requiere un costo de capital de desarrollo esperado, C_f , de \$13.7 millones para realizar este rendimiento.

8. El rendimiento esperado por descubrimiento económico vendido, R_s , se estima a partir de resultados empíricos de \$2.1 millones. Esto supone que la compañía recibiría el 20 por ciento del valor estimado del depósito al vender oportunidades marginales.
9. De los típicos programas de exploración de metales básicos, $c_e = \$350,000$ y $c_d = \$150,000$. Por lo tanto, combinando estas estimaciones, el costo promedio de exploración asociado con el descubrimiento de una ocurrencia de minerales es de \$500.000.

Tabla 4

CARACTERÍSTICAS DE RETORNO PROMEDIO DE LOS DEPÓSITOS DE METALES BÁSICOS EN CANADA: COMPARACIÓN DE TODOS LOS DESCUBRIMIENTOS ECONÓMICOS CON DESCUBRIMIENTOS ECONÓMICOS OBTENIDOS POR LA ADQUISICIÓN.

	Posible Economía	Depósito Económico	VP de Costo Capital de Desarrollo a 5% (\$ millón)	Valor No Presente al 5% (\$ millón)	Tasa de Valor Presente Relación al 5%	Retorno (porcentaje)
Precios Límite más Bajos						
Descubrimientos	211	67	87	221	2.3	23
Adquisiciones	64	30	95	236	2.1	22
Precios Esperados						
Descubrimientos	211	124	79	356	3.7	32
Adquisiciones	64	47	87	427	4.1	34
Precios Límite más Altos						
Descubrimientos	211	175	71	644	7.0	51
Adquisiciones	64	59	88	837	8.4	56

10. La probabilidad de que una ocurrencia de mineral sea económica para la industria, p , se estima en 0.02.

Criterio Económico – Estrategias de Exploración.

1. Gasto de exploración primaria en el año j:

$$\begin{aligned} C_{ej} &= E_{ej} \left[\frac{c_e}{c_e + c_d} \right] \\ &= 2.5 \left[\frac{350,000}{350,000 + 150,000} \right] = \$1.75 \text{ millón} \end{aligned}$$

2. Número promedio de ocurrencias minerales descubiertas en el año j:

$$g_j \text{ promedio} = \left[\frac{C_{ej}}{c_e} \right] = \frac{1,750,000}{350,000} = 5.0$$

3. Presupuesto de exploración en el año j:

$$\begin{aligned} E_{ej} &= C_{ej} + g_j \text{ promedio} (c_d) \\ &= 1,750,000 + 5.0(150,000) \\ &= \$2,500,000. \end{aligned}$$

4. Total de fondos de exploración invertidos en el horizonte de planeación:

$$= N[E_{ej}] = 20 [2.5] = \$50 \text{ millones.}$$

5. Costo de exploración promedio requerido para encontrar y delinear un depósito mineral económico:

$$\begin{aligned} E_e &= \left[\frac{c_e + c_d}{P} \right] = \frac{350,000 + 150,000}{0.02} \\ &= \$25 \text{ millones.} \end{aligned}$$

6. Promedio de depósitos económicos descubiertos en el horizonte de planeación:

$$= \frac{N[E_{ej}]}{E_e} = \frac{50}{25} = 2.0 .$$

7. Rendimiento esperado por descubrimiento económico:

$$\begin{aligned} &= 0.9(60.7) + 0.1(2.1) \\ &= \$54.8 \text{ millones.} \end{aligned}$$

8. Rendimiento esperado por presencia de minerales descubiertos:

$$\begin{aligned} &= p_f (R_{fi}) + p_s (R_{sj}) + p_a (R_{ai}) \\ &= 0.02(0.9) (60.7) + 0.02(0.1) (2.1) + 0.98 (0) \\ &= 1.093 + .004 = \$1.097 \text{ millón.} \end{aligned}$$

9. Valor presente neto esperado de la estrategia de exploración:

$$\begin{aligned} &EV (\text{Estrategia de Exploración}) \\ &= 20 [5.0(1.097)] - 21.3 \\ &= \$88.4 \text{ millones.} \end{aligned}$$

10. Rendimiento esperado por unidad de inversión:

$$= \frac{EV (\text{Estrategia de Exploración})}{1.0 (C_f) + 21.3} = \frac{88.4}{27.4 + 21.3} = 1.82$$

11. Probabilidad de hacer al menos un descubrimiento económico sobre el horizonte de planeación de 20 años:

$$\begin{aligned} m &= A_e = 50 = 2.0 \\ &E_c \quad 25 \\ P_1 &= 1 - e^{-m} = 1 - e^{-2.0} = 0.86. \end{aligned}$$

12. Fondos requeridos a lo largo del horizonte de planeación estarán 90% seguros de descubrir al menos un depósito económico:

$$A_{er} = -E_c [\ln (1 - 0.90)] = \$57.5 \text{ millones.}$$

4.6- Estimación de Parámetros – Estrategias de Adquisición.

Se hacen las siguientes suposiciones y estimaciones.

1. Las distribuciones de tiempo del número de oportunidades de adquisición, h_j , y, en consecuencia, la distribución de tiempo del presupuesto anual de exploración, E_{aj} , son imposibles de predecir. Así, como se hizo para la estrategia de exploración, se supone que estos parámetros permanecen constantes durante el horizonte de planeación de N años.
2. El valor económico o costo de una oferta, B_i , y la probabilidad de que una oferta sea aceptada, P_{bi} , también son muy difíciles de estimar. El efecto de estos parámetros clave sobre el atractivo económico de la estrategia de adquisición se examina para rangos de valores posibles utilizando el análisis de sensibilidad.
3. El costo promedio anual de operación del equipo de adquisición, C_{aj} , basado en un personal permanente de dos empleados de alto nivel, se estima en \$400,000. Se supone que este equipo de adquisición identificará un promedio de seis oportunidades de adquisición cada año, requiriendo una evaluación detallada de cuáles uno o dos son llevados a la etapa de negociación. El costo promedio de evaluar cada oportunidad, establecer una estrategia de licitación y entrar en negociaciones donde sea apropiado, c_v , se estima en \$100,000. Así, el costo promedio anual de adquisición e identificación, E_{aj} :

$$= C_{aj} + h_j(c_v) = 400,000 + 6(100,000)$$

$$= \$1,000,000.$$

En el horizonte de planeación de 20 años, el valor actual de este costo a un 10 por ciento asciende a \$8,5 millones.

4. Se supone además que la empresa puede esperar tener éxito con las ofertas en dos adquisiciones durante el horizonte de planeación.
5. El rendimiento promedio asociado a la adquisición de un depósito económico, R_b , se evalúa en \$260 millones, expresado como valor presente en el momento de la adquisición. El valor equivalente descontado al inicio del horizonte de planeación depende del momento en que se realiza la adquisición. Suponiendo que las adquisiciones se realicen en un promedio de 10 años, la rentabilidad descontada al inicio sería de \$100.2 millones. Se requiere un costo de capital de desarrollo de la mina esperado, C_a , de \$20.4 millones para realizar este retorno.
6. El valor promedio de la oferta ganadora, B , se expresa como una proporción del valor actual neto esperado del depósito económico adquirido. Se consideran las siguientes tres variantes: 25 por ciento, 50 por ciento y 75 por ciento.
7. La probabilidad de que se acepte una oferta dada la identificación de una oportunidad de adquisición, p_b , se deriva de la siguiente manera.

Número promedio de oportunidades de adquisición identificadas por año, $h_j = 6$.

Número de oportunidades de adquisición identificadas durante el horizonte de planeación, $N(h_j) = 20(6) = 120$.

Número de ofertas realizadas durante el período de planeación = $20(1) = 20$.

Número de ofertas exitosas sobre el horizonte de planeación = 2.

Se supone que las ofertas exitosas resultan en la adquisición de depósitos minerales económicos:

Así, $p = 2/120 = 0.017$.

Además, tenga en cuenta que p_m , la probabilidad de hacer una oferta dada una oportunidad de adquisición = $20/120 = 0.17$.

4.7-. Criterio Económico – Estrategia de Adquisición.

1. La rentabilidad esperada por depósito económico adquirido se determina en la tabla 5.
2. Los resultados del valor actual neto esperado de la estrategia de adquisición durante el horizonte de planeación de 20 años, EV (Estrategia de Adquisición), se muestran en la tabla 6. Se prevé que la empresa obtendrá con éxito dos ofertas durante este período.
3. Los rendimientos esperados por unidad de inversión se resumen en la tabla 7.
4. Probabilidad de adquirir al menos un depósito económico en el horizonte de planeación de 20 años:

$$m = \frac{A_a}{E_a} = \frac{20}{10} = 2.0.$$

$$P_1 = 1 - e^{-m} = 1 - e^{-2.0} = 0.86$$

5. Fondos requeridos a lo largo del horizonte de planeación para estar 90 por ciento seguros de descubrir al menos un depósito económico:

$$A_{ar} = -E [I_n (1 - P_1)]$$

$$= -10 [I_n (1 - 0.90)] = \$23 \text{ millones.}$$

4.8-. Comparando los Resultados de Exploración y Adquisición.

Se ha demostrado que el sector canadiense de metales básicos ofrece un buen potencial de inversión para las empresas que deseen aplicar estrategias de exploración y adquisición. Las características de retorno de los depósitos económicos que se han adquirido son tan buenas, si no mejores, que los rendimientos promedio asociados con la población total de descubrimientos económicos. Los indicadores de retorno promedio de los dos grupos de depósitos económicos son notablemente similares.

La inversión promedio asociada con la estrategia de exploración, expresada en términos de valor actual por depósito económico descubierto, incluye alrededor de \$11 millones en gastos de exploración y un costo de capital de desarrollo de minas de \$14 millones, totalizando aproximadamente \$25 millones.

En el caso de la estrategia de adquisición, la inversión promedio asociada a un depósito económico, una vez más expresada en términos de valor actual, incluye alrededor de \$4 millones para operar el programa de adquisición, el costo de hacer una oferta exitosa puede variar de \$25 millones a \$75 millones, y un costo de capital de desarrollo de la mina de \$21 millones, totalizando de \$ 50 millones a \$100 millones. Así, mientras que el costo inicial de la ejecución del programa de adquisición es considerablemente menor que los costos de exploración alternativos, el requerimiento de inversión total para la estrategia de adquisición parece ser de dos a cuatro veces mayor que para la alternativa de exploración.

Tabla 5

RETORNO ESPERADO POR DEPÓSITO ECONÓMICO: ADQUISICIÓN EN EL SECTOR DEL METAL BASE CANADIENSE

Rb (\$ millón)	B		Retorno Esperado (\$ millón)
	(porcentaje)	(\$ millón)	
100.2	25	25.1	75.1
100.2	50	50.1	50.1
100.2	75	75.1	25.1

Tabla 6

VALOR ACTUAL NETO ESPERADO PARA LA ESTRATEGIA DE ADQUISICIÓN: SECTOR DE METALES BASE CANADIENSES

B (porcentaje)	Retorno Esperado (\$ millón)	Adquisición Esperada Costo (\$ millón)	Valor Esperado de la Estrategia de Adquisición (\$ millón)
25	150.2	8.5	141.7
50	100.2	8.5	91.7
75	50.2	8.5	41.7

Tabla 7

RETORNO ESPERADO POR UNIDAD DE INVERSIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE ADQUISICIÓN: SECTOR DE METALES BASE CANADIENSES.

B (porcentaje)	VE de Adquisición de Estrategia (\$ millón)	Inversiones Esperadas (\$ millón)				Retorno por Unidad de Inversión (\$ millón)
		Programa de Adquisición	B	Ca	Total	
25	141.7	8.5	50.2	40.8	99.5	1.42
50	91.7	8.5	100.2	40.8	149.5	0.61
75	41.7	8.5	150.2	40.8	199.5	0.21

El valor actual neto esperado de la estrategia de exploración en el horizonte de planeación de 20 años se estima en \$ 88 millones, en comparación con \$ 42 millones a \$ 142 millones para la alternativa de adquisición. Esta no es una medida muy significativa para usar en este caso porque los requisitos de inversión de las dos estrategias son muy diferentes.

El rendimiento esperado por unidad de inversión es quizás la medida más importante del potencial económico de las dos opciones estratégicas a largo plazo. El rendimiento esperado por dólar invertido para la alternativa de exploración, 1.8, se compara con los rendimientos unitarios para la estrategia de adquisición que varían de 0.2 a 1.4 como se muestra en la tabla 7. Así, sobre esta base, la estrategia de exploración parece ser la alternativa más económica dada las condiciones de estudio de caso asumidas.

La razón principal por la que el rendimiento esperado por unidad de inversión es relativamente bajo para la estrategia de adquisición es el alto costo, B, de licitar con éxito para un depósito económico. El valor de equilibrio para B que iguala los retornos unitarios para las dos estrategias se determina de la siguiente manera:

$$\left[\frac{(100.2) - B}{(4.3 + B + 20.4)} \right] = 1.82$$

$$B = \$19.6 \text{ millones, o, } (19.6/100.2) = 20\%$$

Por lo tanto, la estrategia de exploración sería preferible si el costo de hacer una oferta exitosa supera el 20 por ciento del valor del depósito económico que se adquiere.

Con respecto al riesgo organizacional, la probabilidad de fracaso es la misma para ambas estrategias: $(1 - 0.86) = 0.14$. Sin embargo, los fondos requeridos en el horizonte de planeación para ser 90 por ciento seguros de obtener al menos un depósito económico son mucho más bajos para la alternativa de adquisición: \$23 millones en comparación con \$58 millones para la estrategia de exploración.

Mientras que el riesgo de fracaso se muestra que es el mismo para las dos estrategias, la pérdida económica sería más de dos veces mayor para la alternativa de exploración.

La comparación de los valores esperados y los rendimientos unitarios para las dos estrategias es algo inconclusa debido a la naturaleza especulativa de las estimaciones para varios parámetros clave. Sin embargo, la exploración parece ser la estrategia favorable, ya que es poco probable que un depósito económico delineado podría ser adquirido por menos del 20 por ciento de su valor.

V-. CONCLUSIÓN.

Esta disertación desarrolla un marco conceptual para ayudar a las compañías mineras a evaluar los méritos económicos relativos de las estrategias de exploración y adquisición de minerales. Esperamos que la representación de estas alternativas de políticas utilizando árboles de decisión y la formulación de criterios económicos asociados ayude a estructurar el proceso de pensamiento para apoyar la toma de decisiones en esta importante área de planeación corporativa.

A nivel de trabajo, la aplicación de los conceptos desarrollados depende de evaluaciones empíricas significativas de los parámetros asociados de costo, riesgo y retorno. El caso ilustrativo de una empresa mediana en el sector canadiense del metal base muestra que esto es un asunto más difícil. Sin embargo, los estudios empíricos realizados durante los últimos 15 años (ver lista de referencias) demuestran que este tipo de evaluación puede ciertamente hacerse para la estrategia de exploración. Además, no parece haber nada inherentemente más difícil sobre la estrategia de adquisición. Por lo tanto, si se concediera el mismo tipo de atención a la alternativa de adquisición, sería sorprendente si los resultados igualmente útiles no fueran disponibles en un futuro.

5.1-. Resumiendo.

Aunque los resultados presentados del caso de estudio son ilustrativos, estos indican que existen oportunidades de inversión rentables para ambas estrategias. Los recursos iniciales requeridos para la opción de exploración son considerablemente más altos que para el programa de adquisición. Sin embargo, si se logran los resultados esperados en cada estrategia, se necesitaría una inversión mucho mayor para la estrategia de adquisición.

5.2-. Referencias.

Cook, D.R., "Exploration or Acquisition - the Options for Acquiring Viable Mineral Deposits", presentado en el American Mining Congress, San Francisco, Septiembre 1983, resúmen en American Mining Congress Journal. Vol. 69, No. 21, Noviembre 1983. pp. 10-12.

Mackenzie, B.W., "Corporate Exploration Strategies", pp. 1-8 en Application of Computer Methods in the Mineral Industry, The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 1973, 441 pp.

---Looking for the Improbable Needle in a Haystack: The Economics of Base Metal Exploration in Canada, artículo No. 19, Centre for Resource Studies, Queen's University, Kingston, 1981, 48 pp.

---"Mineral Exploration Productivity: Focusing to Restore Profitability", pp. 79-102 en lecturas selectas en Mineral Economics, F.D. Anderson ed., Pergamon Press, New York, 1987, 399 pp.

Mackenzie, B.W., and M.L. Bilodeau, Economics of Mineral Exploration in Australia: Guidelines for Corporate Planning and Government Policy, Australian Mineral Foundation, Adelaide, 171 pp.

Robinson, R.L., Economic Comparison of Mineral Exploration and Acquisition: Ore Reserve Replacement and Growth Strategies, Tesis de Maestría no publicada, Queen's University, Kingston, 1985, 166 pp.

Robinson, R.L., and B.W. Mackenzie, "Economic Comparison of Mineral Exploration and Acquisition Strategies to Obtain Ore Reserves", pp. 279-300 en volumen 3, APCOM 87, Reportes del 20th International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries, The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 1987.