

Redefinición del concepto de incertezas y herramientas  
para gestionar la Complejidad Dinámica

# Gestión de Proyectos Mineros en un mundo cada vez más complejo



[www.jorgepedrals.com](http://www.jorgepedrals.com)

## **Sobre el autor.**

Jorge Pedrals, Ingeniero Civil de Minas de la Universidad de Chile, Magister en Historia de la Universidad Adolfo Ibáñez y diplomado en Gestión y Estrategias Financieras de la Facultad de Economía de la Universidad de Chile.

Con más de 35 años de ejercicio profesional, ha ocupado diversos cargos de alta gerencia en empresas mineras, portuarias y de energía. Los últimos 10 años ha dirigido dos proyectos mineros de alta complejidad. El primero de estos fue una inversión minero-portuaria en una lejana y deshabitada isla en Magallanes (Isla Riesco), donde materializó una inversión de USD 600 millones en una mina a rajo abierto de carbón, y en un complejo portuario que ha operado los últimos 6 años, exportando a distintos países y al norte de Chile.

Posteriormente, asumió la gerencia del proyecto de expansión de la Mina El Teniente de CODELCO (Nuevo Nivel Mina – con una inversión estimada de USD 4 billones). Esta posición la ocupó durante aproximadamente cuatro años, plazo en el cual logró la reformulación del proyecto y su relanzamiento con una estructura de riesgos distinta y con sistemas de administración que capturaron la Complejidad Dinámica propia de los megaproyectos, junto a los mejores indicadores de seguridad de la Corporación.

Actualmente está dedicado a la academia, consultoría y a la dirección de empresas.

Asegurar una exitosa ejecución de los grandes proyectos mineros solo puede lograrse en la medida que se usen las mejores prácticas de la industria pero, adicionalmente, debe entenderse el concepto de Complejidad Dinámica.

Octubre 2019.

Editora *Violeta Güiraldes del Canto*.

Revisión: *Eugenia Carrillo Negrete*, Ingeniero Civil Pontificia Universidad Católica de Chile, Magister en Ciencias de la Pontificia Universidad Católica de Chile y *Víctor Chandía Villegas*, Ingeniero Civil Industrial Universidad del Biobío, Magister en Administración de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Adaptación del artículo publicado por el Instituto de Ingenieros de Chile y en proceso de publicación en JMiNER ([www.j-miner.com](http://www.j-miner.com)) en una versión en inglés.

## ÍNDICE

1. Introducción.	1
2. La Complejidad Dinámica de los proyectos y su relación con las Incertezas.	3
Características principales de los proyectos.	3
El Proceso de Aprendizaje y las Decisiones en los Equipos de Trabajo.	6
Elementos que contribuyen a la complejidad de un proyecto.	9
Los Sistemas Complejos.	11
El Índice de Complejidad Dinámica de Darnall-Preston.	12
Redefinición de las Incertezas y su contribución a la Complejidad Dinámica.	13
La Complejidad Dinámica en los proyectos mineros.	15
3. La Compra de Información, el trabajo en terreno que reduce las incertezas.	18
4. El Geotechnical Baseline Report (GBR), una herramienta para controlar la Complejidad Dinámica de los proyectos.	23
Objeto y características del GBR.	23
Mapa de Transferencia de Riesgos al Contratista.	25
Generación de ambientes más competitivos con “plena” información.	26
5. La Gobernanza para administrar las Incertezas y controlar la Complejidad Dinámica de los proyectos.	29
Separación del proyecto de la rutina de la operación	30
La importancia de la Compra de Información en la etapa de conceptualización	31
El rol del Directorio y la incorporación de un Comité Técnico.	33
6. Estudio de casos—Análisis de Aspectos Críticos para la Seguridad	36
Caso 1: Definiciones al Inicio de la Construcción, orientadas a las Seguridad de las Personas	37
Caso 2: Definiciones Iniciada ya la Construcción, orientadas a las Seguridad de las Personas	38
Resumen.	40
Bibliografía.	41

## 1. Introducción.

Durante la entrega de resultados del año 2018, el presidente de una importante empresa minera con presencia mundial, planteaba a sus accionistas: “Operamos en un mundo donde no solo se incrementa la complejidad, sino también cambia a un ritmo cada vez más acelerado y, de tal manera, que no es posible predecir”. Esta declaración la realiza algunos años después de haber reconocido una inversión de varios millones de dólares en un proyecto que fuera detenido por la autoridad por impactos al medioambiente.

Por otro lado, un analista de una reconocida corredora de bolsa de Estados Unidos planteaba dudas respecto de la posición de uno de los principales productores de cobre a nivel mundial, indicando que, en los próximos años, podría caer de manera significativa su participación. Lo anterior a la luz de los retrasos que han tenido algunos de sus proyectos que, inicialmente, habían planeado su entrada en operación en una fecha más temprana.

Desde el punto de vista de los dueños y los administradores de estas empresas, el denominador común es que, efectivamente, el mundo es cada vez más complejo, con respuestas difíciles de predecir y con una velocidad de cambios cada vez mayor.

El Pensamiento Complejo<sup>1</sup> se ha desarrollado en distintos quehaceres del hombre contemporáneo y busca generar flexibilidad en la forma de pensar, con el fin de ser capaces de enfrentar las paradojas que se presentan en la sociedad, donde una lógica binaria no necesariamente da soluciones adecuadas a los problemas. El desafío en el manejo de la complejidad tiene relación con que en el mundo de los proyectos se necesitan certezas que permitan su construcción, con las menores desviaciones en materias de plazo, costo y alcances. Las organizaciones deben ser capaces de manejar las paradojas que surgen, así como las incertezas no esperadas, en plazos de construcción que pueden incluso superar los diez años.

En este documento se revisa cuáles son las principales características de los proyectos mineros, de tal forma que a partir de lo que plantea la academia respecto al Pensamiento y los Sistemas Complejos, sea posible caracterizar su Complejidad Dinámica y así proponer herramientas que permitan su gestión integral.

---

<sup>1</sup> Domingues, María et al, *Engineering complex systems applied to risk management in mining industry*, International Journal of Mining Science and Technology N° 27, (2017) pág. 612.

Este artículo explica que los equipos de trabajo construyen una serie de modelos basados en la información recopilada en terreno, así como también fundada en sus conocimientos y experiencias personales. Esta información conforma los hechos y las creencias del equipo de proyecto, son un conjunto de conocimientos que limitan con un mundo de incertezas – todo aquello que queda fuera de nuestro entendimiento y conceptualización del proyecto – que también deben tenerse presentes desde la perspectiva de los procesos de aprendizaje del equipo de proyecto.

Las bases conceptuales del proyecto estarán determinadas a través de un proceso de Compra de Información, el que debiera tener en consideración entre otros elementos: la velocidad de los cambios, la cantidad de stakeholders, los elementos propios de la caracterización del macizo rocoso y su entorno social y medio ambiental, aspectos técnicos, etc., los cuales conformarán parte de la Complejidad Dinámica del proyecto.

Se plantea el uso del Geotechnical Baseline Report<sup>2</sup>, que debiera permitir generar una visión más objetiva y compartida de los objetivos del proyecto, entre todos los participantes, preparado durante el proceso de Compra de Información. En el caso de los proyectos subterráneos además permitirá una transferencia adecuada de los riesgos entre mandante y empresas constructoras, asegurando precios con plena información y disminuyendo la cantidad de conflictos durante el proceso de construcción.

Finalmente, se lleva la mirada a la Gobernanza de los proyectos, resaltando el rol del Directorio como el único ente capaz de definir el Apetito al Riesgo que se está dispuesto a asumir. Como el proyecto deberá navegar por distintos tipos de aguas más o menos turbulentas durante largos períodos, surge la necesidad de contar con una mirada más interdisciplinaria e independiente del proyecto propiamente tal, incorporando un Comité Técnico. Este Comité debiera generar una tensión sana dentro del equipo de proyecto, que ayude al Directorio a definir su Apetito al Riesgo, entendiendo que el proceso de Gobernanza es una actividad continua desde la conceptualización hasta la puesta en marcha y posterior operación.

---

<sup>2</sup> Essex, Randall J., *Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested Guidelines*, American Society of Civil Engineers, 2007 (Second Edition).

## 2. La Complejidad Dinámica de los proyectos y su relación con las Incertezas.

### Características principales de los proyectos.

Los proyectos tienen una serie de características que los hacen únicos y distintos de las empresas en marcha. Tratan de materializar una inversión estudiada a nivel de ingeniería, con información reducida sobre la realidad, dentro de plazos y presupuestos acotados, con un equipo de trabajo que no necesariamente se conoce y, por lo general, en un entorno donde variados stakeholders persiguen intereses diferentes. Estas características, generan condiciones que deben ser tomadas en cuenta para definir la estructura del proyecto desde sus etapas más tempranas de estudio, hasta cuando la inversión se comienza a materializar en terreno.

Conforme a Turner y Cochrane<sup>3</sup> existen cuatro tipos de proyectos en los cuales los métodos de trabajo y/o los objetivos pueden estar bien o no definidos. Esto da lugar a la Matriz de Métodos y Objetivos<sup>4</sup> que se muestra en la siguiente Figura 1.

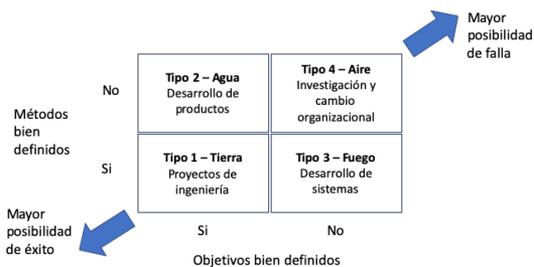


Figura 1: Matriz de Métodos y Objetivos según Turner y Cochrane.

La caracterización de Tierra, Agua, Fuego y Aire trata de representar las dificultades en cada uno de los casos para definir los objetivos y los métodos, asimilándolos en el caso del agua, a un flujo turbulento, con un marcado sentido de propósito, pero con un recorrido azaroso. En el del fuego, a una gran intensidad requerida para la definición del trabajo, que puede desvanecerse y, finalmente, en el del aire a su dificultad de ser capturado. Según estos autores (artículo escrito en 1993), la tierra representaba el elemento más concreto y fácil

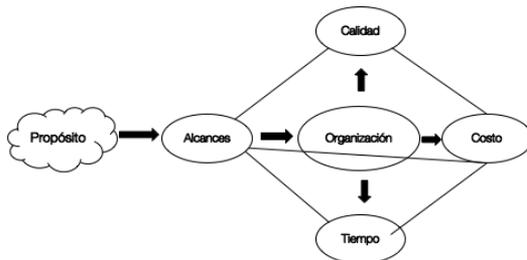
<sup>3</sup> Turner, J. R. et al, Goals and Methods Matrix: coping with projects with ill-defined goals and/or methods of achieving them, International Journal of Project Management, Vol. 11 N° 2 May 1993.

<sup>4</sup> Ibidem, pág. 95.

de capturar. No obstante, si se consideran las complejidades propias del territorio, los stakeholders, tecnología, etc., los proyectos de ingeniería han migrado hacia los tipos asociados con el agua, el aire o el fuego.

Puede existir la tendencia a pensar que los proyectos asociados a la explotación y el beneficio de minerales obedecen exclusivamente a los proyectos del Tipo 1, pero cuando tienen características de megaproyectos (inversiones alrededor de un billón de dólares) poseen componentes tales como temas medioambientales, tecnologías a considerar, mercados potenciales y otros, y en ese caso, tienen un poco de cada tipo. En el caso de los proyectos mineros, a las complejidades propias de los proyectos grandes, se suman las dificultades asociadas con el reconocimiento del macizo rocoso, unido a su interacción con los temas medioambientales, lo que dificulta la definición de los objetivos y los métodos.

Estos mismos autores plantean que existe una secuencia lógica entre el propósito y los objetivos del proyecto con sus alcances y de estos, a su vez, con la organización creada para su concreción. Con posterioridad, se definen las variables de Tiempo, Calidad y Costos, representadas en la Figura 2 siguiente.



*Figura 2: Cinco objetivos del proyecto, secuencia de definición según Turner y Cochrane.*

Esta estructura define algunos de los elementos esenciales de los proyectos, que los diferencian de las operaciones de producción ya instaladas<sup>5</sup>:

- El trabajo es único.
- La organización está creada para ese trabajo, es una nueva organización.
- Se produce un solo gran cambio, que se concreta un día en particular cuando el proyecto está terminado y entra en operación, pero está diseñado para que sea sostenible en el tiempo.

---

<sup>5</sup> Idem.

- En muchas ocasiones, el proyecto debe compartir algunas restricciones impuestas por las operaciones, lo que obliga a las distintas partes a hacer adaptaciones importantes.
- En el caso de los grandes proyectos mineros existe un número importante de stakeholders involucrados.

Para que la estructura anterior tenga sentido, la Gobernanza debe preocuparse tempranamente de las siguientes tareas<sup>6</sup>:

- *Crear una visión compartida para el proyecto, identificando su contexto, su propósito y sus objetivos,*
- *Centrar la atención del equipo en el propósito del proyecto y el método para lograrlo,*
- *Obtener la aceptación de los planes, definiendo el alcance del trabajo, la organización y las limitaciones de calidad, costo y tiempo,*
- *Lograr que el equipo funcione, acordando su modo de operación y los canales de comunicación.*

La Independent Project Analysis (IPA) ha definido la Business and Engineering Alignment Meeting (BEAM) como la reunión esencial al inicio de un proyecto, de tal manera que el equipo logre un entendimiento común de las necesidades de éste, al término del FEL 1 (Front End Loading o puerta de aprobación de la primera etapa del proyecto).

Para los efectos de programación y planificación, un proyecto se divide en tres estructuras específicas<sup>7</sup>, las que deben ir tomando forma, gradualmente, hasta el momento en que se decide el inicio de su construcción:

- i. Product Breakdown Structure (PBS): corresponde a una “cascada” de entregables en los cuales el proyecto puede ser subdividido, con una serie de subsistemas y sus distintas partes.
- ii. Organization Breakdown Structure (OBS): corresponde a la definición de los recursos requeridos, indicando los tipos de especialidades, tipos de actividades, etc.
- iii. Work Breakdown Structure (WBS): corresponden a<sup>8</sup> “elementos o ítems de trabajo comunes, que logran un método integrado de administración y control del proyecto”, que permita “a una persona o a un pequeño grupo, típicamente no especializado, tener un adecuado control sobre éste”.

---

<sup>6</sup> Ibidem, pág. 96.

<sup>7</sup> Ibidem, pág. 95.

<sup>8</sup> Serpell, Alfredo, *Planificación y Control de Proyectos*, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 2001, pág. 38.

Se puede resumir<sup>9</sup> que el proyecto corresponde al WBS desarrollado por los recursos y habilidades definidas en el OBS, mientras que las Facilidades o Instalaciones corresponderán al listado de elementos del PBS.

La forma de realizar las definiciones, en el caso de la industria minera, es muy tradicional, del tipo “bottom-up”, conforme a las definiciones de los autores<sup>10</sup>, asimilando los proyectos a los del Tipo 1. Por ello se corre el riesgo de aplicar los mismos modelos mentales una y otra vez, aunque algunas de las condiciones hayan cambiado y esto sea motivo de dificultades posteriores.

### **El Proceso de Aprendizaje y las Decisiones en los Equipos de Trabajo.**

Tal como plantea Watzlawick<sup>11</sup> las percepciones cotidianas de la realidad son ilusorias y se debe estar constantemente reparándolas y apuntándolas, incluso distorsionando algunos hechos, para que nuestros modelos no sean contradichos. Lo anterior representa entonces un desafío mayor, cuando se trata de lograr en un tiempo determinado un objetivo específico, en calidad y costo, en el caso de un proyecto.

Simplificando por un momento la idea de Watzlawick, al menos existirán tres elementos que afectarán la realidad observada, los que tienen relación con: i) siempre existe sobre la realidad que observamos una capa de expectativas e intenciones, que es parte de la realidad y que no se observa; ii) los modelos mentales preexistentes, basados en los hechos y creencias de cada persona, son los ojos que realmente están viendo la realidad, y iii) existe “el que dirán y el que pensará él otro, de lo que yo creo”, que hará que los comportamientos de las personas estén fuertemente modelados por aspectos sociales del entorno.

Lo anterior representa un reto cuando se trata de uniformar comportamientos de personas que se reúnen por primera vez en torno a un proyecto. Conforme a Sterman<sup>12</sup>, las personas tienden a demostrar exceso de confianza en sus juicios y en cierta medida, tienen un pensamiento ilusorio, donde evalúan los resultados deseados como más probables que los resultados no deseados. Además, existe cierta tendencia a atribuir el comportamiento de las personas a factores propios, más que a elementos asociados con su entorno. A lo anterior se suma que los proyectos deben realizar supuestos basados en elementos no del todo conocidos, sobre los cuales la capacidad de hacer ensayos y/o pruebas es

---

<sup>9</sup> Turner, J. R. et al, *op. cit.*, pág. 96.

<sup>10</sup> Turner, J. R. et al, *op. cit.*

<sup>11</sup> Watzlawick, Paul, *¿Es Real la Realidad?*, Herder Editorial, VBArcelona, 1979, pos. 10/3929.

<sup>12</sup> Sterman, John, *Learning from Evidence in a Complex World*, American Journal of Public Health, March 2006, Vol. 96, N° 3, pág. 505.

acotada, así como las conclusiones obtenidas. Esto genera un panorama donde pueden haber más incertezas que certezas.

Tal como se indica más adelante, un sistema complejo está compuesto por un gran número de partes que interactúan entre sí, con distintos grados de dependencia. A lo anterior se suma que – en el caso de los proyectos<sup>13</sup> - no solo se trata de lo que hace el “equipo de proyecto” y sus stakeholders más cercanos, que en teoría están alineados con los objetivos del proyecto, sino también con lo que hacen otros agentes que pueden tener objetivos distintos. En algunas oportunidades estos agentes tienen objetivos totalmente opuestos a los del proyecto, lo que genera efectos colaterales, adicionales a las acciones del equipo de proyecto. Si a esto se suma que, desde el inicio de la ingeniería hasta la puesta en marcha pueden pasar 10 años, se estará en presencia de un sistema no solo complejo, sino que de una complejidad dinámica, donde se requiere de una organización con actitudes especiales para aprender y aplicar lo aprendido en el mismo proyecto.

En las organizaciones, el Proceso de Aprendizaje se produce a través de la retroalimentación<sup>14</sup>. El proceso generado es de “bucle único”, basado en la retroalimentación simple que modifica las acciones, y de “doble bucle”, cuando la retroalimentación no solo cambia las acciones, sino también los modelos mentales de las personas y las organizaciones, conforme se muestra en la Figura 3 siguiente. El aprendizaje se producirá no solo a través de la retroalimentación que tenga el sistema, sino también dependerá, de manera importante, de una serie de aspectos blandos tales como: normas culturales, reglas establecidas, algunas de ellas condicionadas por estructuras organizacionales; todas ellas modelando y/o modificando los modelos mentales de las personas y del grupo. El proceso de bucle único antes mencionado, “apela” a los modelos mentales y grupales existentes y predefinidos, lo que entendemos y sabemos de lo que nos rodea – dejando las posibles incertezas fuera de ellos – conforme se definen más adelante. El proceso de bucle doble se produce cuando, como consecuencia de expectativas y percepciones que no se alcanzan, se deben cambiar los modelos grupales y con esto, generar nuevos criterios para las reglas y así, nuevas estrategias. A través de este segundo bucle, con la misma información que se estaba recibiendo antes, ahora se toman decisiones distintas, con un aprendizaje más profundo. Para que esto se produzca debe ocurrir un ciclo completo de: toma de decisiones – retroalimentación – nuevas decisiones, con todas las consecuencias de prueba y error posibles.

---

<sup>13</sup> Ibidem, pág. 508.

<sup>14</sup> Ibidem, pág. 509.

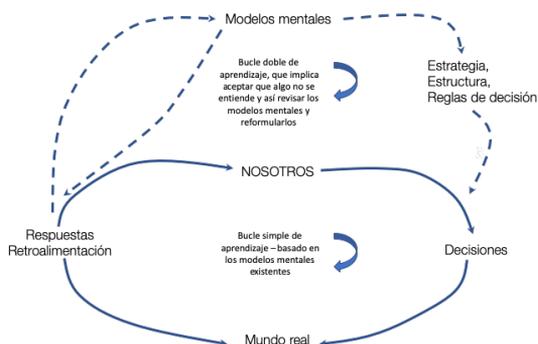


Figura 3: Proceso de aprendizaje de doble bucle.

Una de las dificultades que enfrentan las organizaciones, tiene relación con que pueden estar recibiendo información que amerita el proceso de doble bucle, pero no se dan cuenta. Esto puede ocurrir debido a muchos temas: ambientes endogámicos (culturas muy cerradas conducen a estos ambientes), miedo, percepción selectiva que descarta algunos hechos, etc. La postergación de este proceso de doble bucle puede ser causa de grandes problemas y no es tan difícil que ocurra. Dada la tremenda cantidad de información que se maneja en el mundo moderno, en el ámbito de los proyectos, al igual que en los problemas de la sociedad en general, las personas están forzadas a simplificar los modelos y así poder tomar decisiones a tiempo. Conforme a Sterman<sup>15</sup>, lo anterior generará errores que se cometen como consecuencia de una “racionalidad acotada y percepciones erróneas en la retroalimentación”.

En el mundo de la ingeniería y de los proyectos, la generación de modelos virtuales de la realidad, más ensayos o experimentos a escalas industriales, permiten acelerar el proceso de aprendizaje conforme se puede observar en la Figura 4 siguiente<sup>16</sup>. El doble bucle, antes indicado, se acelera en el tiempo. Esto se debe a que se pone un mundo virtual en paralelo al mundo real, permitiendo el manejo de modelos más simples, capaces de reproducir en parte, la realidad que se está modelando, a velocidades muy altas, apuntando así a tomar decisiones oportunas. Un ejemplo de esto son los desarrollos de modelos geológicos y geotécnicos, los cuales, unidos a modelos matemáticos, permiten predecir desde el comportamiento del macizo rocoso, hasta los posibles resultados económicos y financieros del proyecto. Pese a esta “facilidad”,

<sup>15</sup> Ibidem, pág. 510.

<sup>16</sup> Ibidem, pág. 512.

existen situaciones imposibles de ser simuladas en estos modelos, lo que unido a la “trampa de los video juegos”, hace que a veces se juegue mucho y se piense poco.

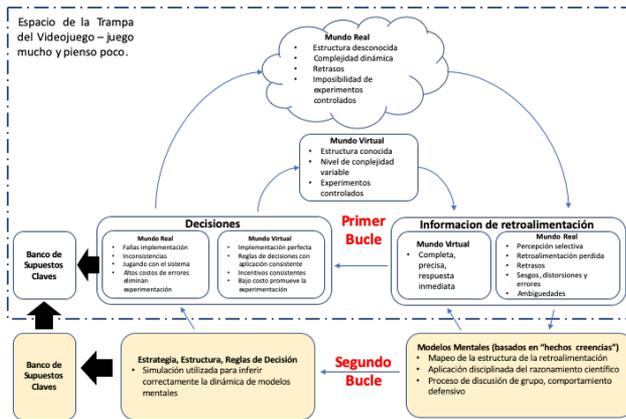


Figura 4: Proceso de aprendizaje de doble bucle, con apoyo del mundo virtual.

Más adelante se volverá sobre este proceso de aprendizaje para fijar la atención en la generación del Banco de Supuestos Claves, el cual obtenido en la Compra de Información (ver capítulo siguiente), debiera ser generado a través del uso del bucle doble, lo que se logrará sólo a través de equipos de trabajo que tengan una componente de “diversidad” en sus integrantes.

### Elementos que contribuyen a la complejidad de un proyecto.

En un estudio específico de proyectos, los autores Bosch-Rekvelde et al<sup>17</sup> además de revisar la bibliografía del tema de la Complejidad en general, realizaron una encuesta a ejecutivos de seis proyectos (tres de cada uno), en distintos ámbitos, contrastando los resultados con lo indicado en la bibliografía. El tamaño de los proyectos seleccionados fluctuó entre los USD20 y 600 millones de inversión, ubicados en diferentes continentes. Algunos tenían un solo dueño y otros eran joint ventures, cubriendo la investigación todos los aspectos, desde su inicio hasta el comisionamiento/puesta en marcha. Junto con comparar los resultados de las encuestas con lo planteado en la literatura, los autores clasificaron las variables detectadas en tres aspectos propios de un

<sup>17</sup> Bosch-Rekvelde, Marian et al, Grasping Project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework, International Journal of Project Management, N° 29 (2011), págs. 728 – 739.

proyecto: variables Técnicas, Organizacionales y del Entorno. Luego determinaron 14 categorías que aportan complejidad a los grandes proyectos, conforme a la Tabla 1 siguiente.

Aspectos Técnicos (T)	Aspectos Organizacionales (O)	Aspectos del Entorno (E)
Objetivos	Tamaño	Riesgos
Alcances	Recursos	Stakeholders
Riesgos	Riesgo	Ubicación
Tareas	Equipo de proyecto	Condiciones de mercado
Experiencia	Confianza	

*Tabla 1: Categorías definidas en TOE.*

Dentro de cada una de estas familias, los autores incluyen 50 elementos que fueron detectados como posibles factores que contribuyen a la complejidad, de los cuales nueve de ellos están presentes en los seis proyectos estudiados<sup>18</sup>:

- Cuán novedosa es la tecnología considerada y la experiencia del equipo que participa en ella (categoría Experiencia de los Aspectos Técnicos).
- La cantidad de interesados en el proyecto, empresa, equipo, comunidades, gobierno y otros, que aportan con distintas visiones, algunas de ellas contradictorias con sus objetivos (categoría Stakeholders, de los Aspectos del Entorno).
- La disponibilidad de recursos materiales y humanos requeridos, puesto que el equipo, por ejemplo, podría no tener las especialidades necesarias, o lisa y llanamente podría existir un desajuste entre su experiencia y lo requerido (categoría Recursos de los Aspectos Organizacionales).
- Distintos tipos de gestión, herramientas y/o metodologías para la administración de un proyecto (categoría Tamaño, de los Aspectos Organizacionales).
- El uso de distintos tipos de contratos con empresas constructoras que comparten un mismo entorno (categoría Recursos dentro de los Aspectos Organizacionales).
- Interrelación entre los nuevos procesos del proyecto, con los ya existentes, incorporando con esto un stakeholder adicional, con gran peso en sus decisiones (categoría Tareas de los Aspectos Técnicos).

---

<sup>18</sup> Ibidem, pág. 736.

- Confianza en el contratista elegido, así como en los recursos y la contraparte del equipo del proyecto, conjunto que deberá soportar los embates de la realidad (categoría Confianza de los Aspectos Organizacionales).

Si bien no están incluidos dentro de los seis proyectos estudiados por Bosch-Rekvelde et al, dada la importancia que tienen los temas técnicos y del medio ambiente en los proyectos mineros, se agregan dos elementos que contribuyen a la Complejidad Dinámica:

- Potenciales amenazas del proyecto por riesgos que pudieran venir de los temas medioambientales, (categoría Riesgos de los Aspectos del Entorno).
- Potenciales amenazas del proyecto por riesgos que pudieran venir de los temas técnicos (categoría Riesgos de los Aspectos Técnicos).

### **Los Sistemas Complejos.**

Conforme a Williams<sup>19</sup>, un sistema complejo es aquel que está compuesto por un gran número de partes que interactúan entre sí, con algunas de ellas interdependientes, donde el todo es más importante que cada una de las partes. El comportamiento del sistema va más allá que la suma de sus partes, dado lo cual las posibles respuestas a las “entradas” que se hagan al sistema en construcción, resultan difíciles de predecir a priori. Las relaciones entre las partes se pueden dar de distintas maneras<sup>20</sup>:

- De manera discreta: donde cada parte contribuye con un elemento especial al todo, sin que se produzcan otras relaciones entre los elementos.
- Secuencialmente interdependiente: donde la salida de un elemento es la entrada del siguiente y así sucesivamente. Esta secuencia no considera un proceso recursivo.
- Secuencialmente dependiente: donde, a diferencia de la anterior, sí existen procesos recursivos entre las entradas y salidas de cada elemento, pudiendo ser una mezcla de las relaciones discretas y secuenciales, pero con un proceso recursivo.

A la definición de este sistema complejo se debe sumar que algunos de estos elementos podrían estar en un proceso de cambio respecto de un primer diseño, ya sea programado con anticipación o no programado, con lo cual la relación entre ellos no estará en un equilibrio que permita sacar conclusiones. Si bien los cambios en los proyectos, cuando están en construcción, no son deseados y

---

<sup>19</sup> Williams Terry, *Modelling Complex Projects*, John Wiley& Sons, Ltd., UK 2002, pág. 50.

<sup>20</sup> *Ibidem*, pág. 52.

tratan de evitarse, no es posible cerrarles las puertas. Por ende, deben ser regulados y controlados conforme lo establecen las mejores prácticas, aunque más conscientes respecto de la Complejidad Dinámica. La modificación de un elemento lo cambia a él y a su relación con el todo, generándose la Complejidad Dinámica del sistema, asunto que se aborda en los capítulos siguientes.

Siguiendo a Williams<sup>21</sup>, la Complejidad Dinámica de los proyectos tiene relación con dos dimensiones, una estructural y otra vinculada con las incertezas, conforme se muestra en la Figura 5 siguiente.

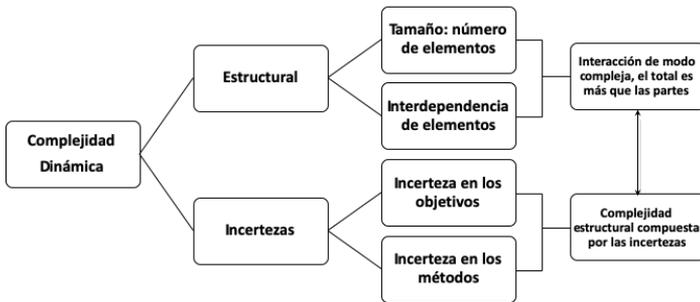


Figura 5: Complejidad Dinámica: Estructural e Incertezas según T. Williams.

### El Índice de Complejidad Dinámica de Darnall-Preston.

Con la intención de sistematizar el análisis de la complejidad en los proyectos mineros es conveniente citar el “Índice Darnall – Preston<sup>22</sup>”. Estos autores a diferencia de Bosch-Rekveltdt et al, plantean cuatro familias de temas, dividiéndolos en:

- i. Externa: atributos ambientales que existen al inicio del proyecto, tales como el tamaño, la duración y los recursos disponibles.
- ii. Interna: claridad de los objetivos del proyecto, la claridad del alcance, la complejidad de la organización y el o los acuerdos existentes entre los interesados, en línea con la matriz planteada por Turner – Cochrane.
- iii. Tecnológica: cuán novedosa es la tecnología y qué tan familiarizados están los miembros del equipo con ella.

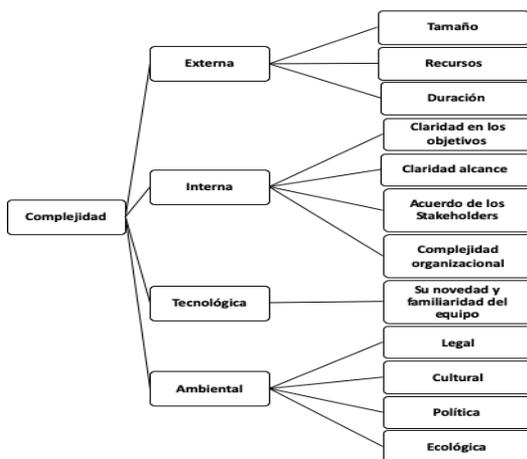
<sup>21</sup> Ibidem, pág. 58.

<sup>22</sup> Darnall, Russell et al, *Project management from Simple to Complex*, Libraries – Publishing, University of Minnesota, 2010, pág. 65.

iv. *Aspectos ambientales y de Sustentabilidad: aspectos jurídicos, culturales, políticos y ecológicos.*

Estos autores usan el término Tecnología asociado con la fabricación de productos y no en las etapas de proyecto propiamente tal. En el caso de los proyectos mineros, se adaptará con una perspectiva más amplia, tanto relacionado con la tecnología que se usa para su construcción, como con la que se usa en la etapa de producción, incluyendo dentro de esta dimensión, las de producción del mineral en la mina y sus procesos de beneficio.

Dentro de cada una de estas dimensiones, Darnall y Preston definen temas complementarios y/o análogos a los elementos citados por Bosch-Rekveltdt, formando la estructura que se muestra en la Figura 6 siguiente.



*Figura 6: Estructura de la complejidad según Darnall – Preston.*

### **Redefinición de las Incertezas y su contribución a la Complejidad Dinámica.**

Este acápite busca redefinir la palabra “incerteza” para los proyectos mineros en línea con lo definido respecto de los procesos de aprendizaje, para que permita generar estrategias en la administración de los temas no previstos a lo largo de las distintas etapas de ingeniería, hasta el proceso de construcción y puesta en marcha. Para esto se debe entender el vínculo de las Incertezas con los riesgos, y así redefinir la contribución de las Incertezas a la Complejidad Dinámica de los proyectos.

La ISO 31.000 respecto a los riesgos, plantea que “riesgo es el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos”. La autora Perminova<sup>23</sup> por su parte describe las definiciones hechas por distintos autores para Incertezas, conforme a lo siguiente:

- Desde la Teoría de la Organización se representa la incertidumbre como "emanada de un conjunto de características ambientales objetivas no medidas (y quizás algunas no medibles)”.
- “Una condición del entorno de quien toma las decisiones de tal manera que le resulta imposible asignar una probabilidad a los posibles resultados de un evento”, lo que es parte de la Complejidad Dinámica, ya que en los proyectos existen elementos secuencialmente dependientes, los que tendrán un grado de incertezas asociados al término de cada uno de ellos. En este caso, la imposibilidad de asignar una probabilidad de ocurrencia a un evento determinado, se debería a que no existen “reglas del juego” del todo conocidas. Conforme a esta definición, las Incertezas podrían ser una potencial amenaza aún más grande que los riesgos, cuyas probabilidades sí pueden ser calculadas.
- Desde el mundo de la psicología se plantea que las Incertezas tienen relación con “un estado mental caracterizado por una falta de conciencia acerca de los posibles resultados de un evento”, donde las “Incertezas existen en las mentes de personas que dudan”. Con esta definición, se plantea que no solo el entorno puede generar situaciones de incertezas, sino que dentro del mismo equipo de proyecto se pueden presentar situaciones de incertezas dadas las reacciones de las personas como respuestas a situaciones del entorno.

Teniendo en consideración la vinculación de los riesgos con las incertezas, Perminova<sup>24</sup> plantea un principio pragmático donde todas las creencias o hechos son falibles, pero cuestionarlos requiere un argumento contrario, es decir, otro hecho o creencia. Por lo tanto, se puede argumentar que mientras el riesgo se relaciona con el cálculo de probabilidades basado en ciertos hechos, la incertidumbre se refiere a si estamos seguros de ciertos hechos. Con lo anterior se pueden unir los procesos de aprendizaje con el concepto de incertezas, indicando que<sup>25</sup> “la incertidumbre se produce en un ámbito donde puede ocurrir un evento o una situación que no se esperaba que ocurriera, o sea fuera

---

<sup>23</sup> Perminova, Olga et al, Defining uncertainty in projects – a new perspective, International Journal of Project Management 26, 2008, pág. 75.

<sup>24</sup> Citando a Putnam, Hillary, *Pragmatism: an open question*, Cambridge, MA., Blackwell; 1995.

<sup>25</sup> Perminova, Olga et al, *op. cit.*

de los modelos mentales del equipo de trabajo”. En otras palabras, la incertidumbre se genera cuando se cuestionan los hechos establecidos y, por lo tanto, se cuestiona la base para calcular los riesgos fundada en los modelos mentales de los equipos de trabajo.

La importancia de esta definición tiene relación con que las Incertezas se dan más allá de lo que tradicionalmente la Administración de Riesgos toma como su campo de acción; se darían fuera de los Modelos Mentales y Grupales de los equipos de proyecto.

La minería ha desarrollado una serie de herramientas que permiten elaborar y aplicar modelos que ayudan a predecir el comportamiento del macizo rocoso durante la construcción, así como también los resultados metalúrgicos de los procesos de recuperación de los minerales. Todo esto va unido a la modelación de los temas ambientales en debida consideración de la legislación vigente, pero arbitrados por distintos stakeholders. Estos modelos se basan en datos obtenidos en la Compra de Información y en modelos construidos por profesionales, los que Perminova llama “hechos y creencias”. Durante el proceso constructivo, poco a poco, se irán develando en la forma de nuevos datos y/o problemas, información que pondrá a prueba estos “hechos y creencias” (que más adelante llamamos Banco de Supuestos Claves – ver Figura 16). Esto reafirmará los modelos considerados, o alternativamente, mostrará problemas complejos que requieren una explicación. En el caso de los proyectos mineros, este es el concepto de Incertezas que se quiere redefinir, lo que obliga a las organizaciones a mirar la “realidad” de manera distinta, o sea a organizarse considerando equipos más diversos que puedan ser constantemente críticos.

Finalmente, es importante recalcar que<sup>26</sup> las incertezas son una característica importante de los procesos evolutivos, dado lo cual la capacidad de las organizaciones para entenderlas y administrarlas y así convertirlas en oportunidades, es una característica de las organizaciones que serán capaces de sobrevivir a los entornos cada vez más cambiantes.

### **La Complejidad Dinámica en los proyectos mineros.**

Un sistema complejo es aquel que está compuesto por un gran número de partes que interactúan entre sí, con algunas de ellas interdependientes, donde el todo es más importante que cada una de las partes. El comportamiento del sistema va más allá que la suma de sus partes, dado lo cual las posibles respuestas a las “entradas” que se hagan al sistema en construcción, resultan difíciles de predecir

---

<sup>26</sup> Ibidem, pág. 78.

a priori. Las relaciones entre las partes se pueden presentar de distintas maneras: de manera discreta en que cada parte contribuye con un elemento especial al todo, sin que se produzcan otras relaciones entre los elementos; de manera secuencialmente interdependiente, donde la salida de un elemento es la entrada del siguiente y así sucesivamente. Finalmente existe la posibilidad que los elementos sean secuencialmente dependiente, donde a diferencia de la anterior, sí existen procesos recursivos entre las entradas y salidas de cada elemento, pudiendo ser una mezcla de las relaciones discretas y secuenciales, pero con un proceso recursivo.

Tomando como base lo propuesto por la academia, unido a la definición del Índice de Darnall- Preston<sup>27</sup>, es posible plantear cuáles son los elementos propios de la Complejidad Dinámica de los proyectos mineros, conforme se muestra en la Figura 7 siguiente. En ella se han coloreado celeste las dimensiones definidas por Williams<sup>28</sup>, en verde los temas agregados del índice de Darnall-Preston y en blanco aquellos incorporados para los proyectos mineros, como parte de las incertezas relacionadas con la caracterización del macizo rocoso y las interacciones con el medioambiente.

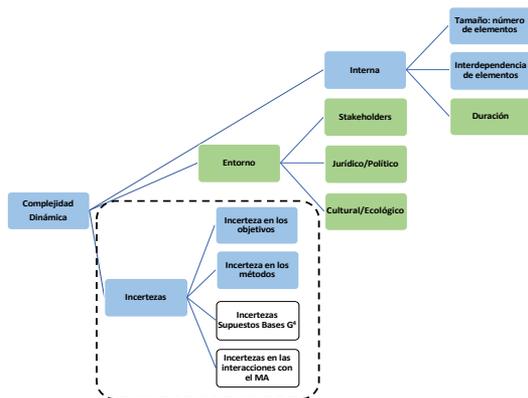


Figura 7: Variables de la complejidad en proyectos mineros.

El orden dado a estas dimensiones respeta la idea de Williams de una complejidad estructural, a la cual se llama Interna; agregando una dimensión

<sup>27</sup> Pedrals, Jorge, Dynamic Complexity in Mining Projects, article in press JMiNER, 2019, [www.jorgepedrals.com](http://www.jorgepedrals.com).

<sup>28</sup> Williams Terry, *op. cit.*, pág. 58.

relativa al Entorno; dejando explícita la dimensión de Incertezas, pero en el contexto definido por Perminova y los Procesos de Aprendizaje

La Figura 8 muestra los temas levantados en el trabajo de Bosch – Rekveldt presentes en todos los proyectos analizados (en color verde claro), y que no se muestran en la figura anterior; estos se entienden implícitos en algunas de las dimensiones consideradas. Para simplificar el análisis, en la Figura 8 solo se grafican las relaciones más estrechas entre estos elementos.

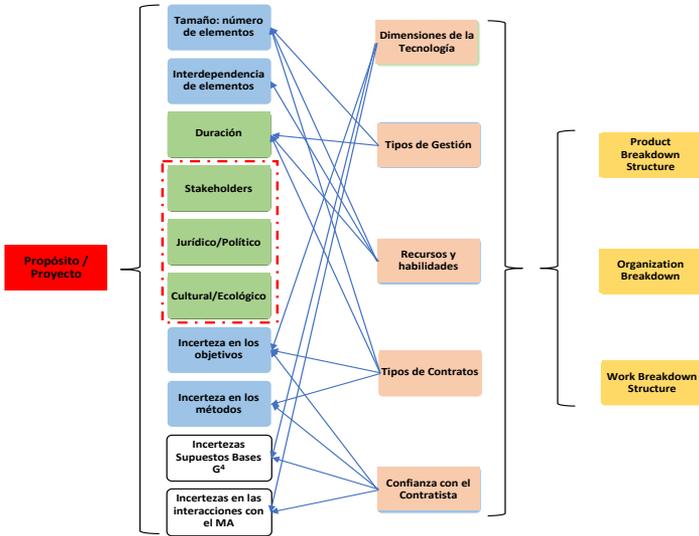


Figura 8: Correspondencia entre variables de la complejidad con los elementos obtenidos por Bosch-Rekveldt.

Las dimensiones de Stakeholders, Jurídico/Político y Cultural/Ecológico cruzan todo el proyecto, dado lo cual no se muestran las relaciones con las otras dimensiones. De igual forma, las variables que corresponden a la Complejidad Interna, afectan a otras que tienen relación con el Entorno y vice y versa.

En la dimensión “Supuestos Bases G4” están contenidas las ciencias de la tierra (Geología, Geomecánica, Geotecnia y Geofísica), todas ellas necesarias para comprender las características del macizo rocoso y su futura interacción con el medioambiente, con los equipos de construcción y, finalmente, con las plantas de tratamiento. Durante el proceso constructivo, esta dimensión será una de las fuentes que contribuyan de manera importante a la Complejidad Dinámica de los proyectos, en parte debido a los límites de responsabilidad entre los distintos

actores que intervienen en la construcción, tema que se desarrolla con más detalle en el capítulo 4.

### **3. La Compra de Información, el trabajo en terreno que reduce las incertezas.**

Una de las características distintivas de los grandes proyectos mineros, que aporta a la Complejidad Dinámica y a las Incertezas, tiene relación con determinar las características del macizo rocoso y su comportamiento frente al proceso de construcción y la fase de producción. Las respuestas del macizo rocoso van desde una escala micro, por ejemplo, velocidades de perforación (en los ciclos de perforación y tronadura), hasta una escala macro, donde las respuestas de la roca pueden incluir desde deformaciones de las cavidades en construcción hasta relajaciones súbitas, como por ejemplo, estallidos de roca o presencias no consideradas de flujos de agua, o una combinación no esperada de todas las anteriores. Estos fenómenos pueden ocurrir desde el momento en que se inicia la construcción, hasta cuando el proyecto está construido y operando, afectando no solo los supuestos de la construcción, sino que los relativos a la etapa de operación. A lo anterior se suman los temas relacionados con la interacción del proyecto y su posterior operación con el medioambiente, lo que también requiere de un proceso de caracterización que incorporará más complejidad e incertezas al proyecto.

La planificación de un proyecto minero considera la captura de información Geo-Minera-Metalúrgica, así como la caracterización de su entorno. Gradualmente a lo largo de la evolución del proyecto, aumenta la cantidad de información disponible para cumplir con las etapas de Ingeniería de Perfil, Prefactibilidad y Factibilidad.

En términos generales, en las campañas de reconocimiento y exploración se deben reconocer tres ámbitos: i) información para caracterizar geológicamente el yacimiento, ii) información del entorno y el medioambiente y iii) información relativa al G4 (geología, geomecánica, geofísica y geotécnica), incluidos aspectos hidrogeológicos; lo que permitirá generar los modelos analíticos para el diseño, construcción y posterior operación.

La información antes indicada alimentará a un equipo de ingeniería, permitiendo iniciar el proceso de planificación y diseño del proyecto. Este proceso de planificación es recursivo; es decir los primeros modelos que se construyen son relativamente simples para dar una primera “vuelta” en el ciclo de bucles único o doble del Proceso de Aprendizaje mencionado anteriormente, aplicando los mejores estándares de la industria. A medida que avanza, este proceso va fijando los hechos y las creencias que formarán parte de los llamados Modelos

Mentales, que dan forma al denominado Banco de Supuestos Claves en la Figura 16.

La obtención de información de terreno para la generación de las bases de datos y modelos antes indicadas se denomina Compra de Información. Conforme a Carter<sup>29</sup>, la inversión temprana en Compra de Información en terreno, con su consecuente análisis, permite reducir impactos negativos sobre el proyecto producto de Incertezas (Carter las llama “riesgo de problemas no vistos”), lo que se muestra en el Gráfico 1<sup>30</sup>, adaptado a partir del autor antes mencionado. Tal como se observa en este gráfico, el área achurada representa el mundo de los hechos y las creencias del equipo de proyecto (que pasan a formar parte del Banco de Supuestos Claves mencionado en el Proceso de Aprendizaje), donde finalmente se encontrará la solución constructiva del proyecto.

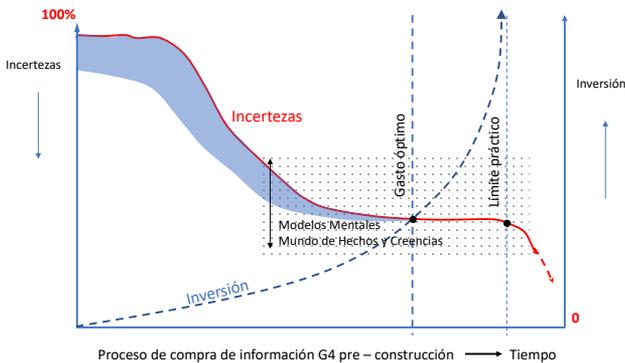


Gráfico 1: *Incertezas versus Inversión en Compra de Información.*

La forma en la cual se procesa la información es fundamental y tiene relación con el Proceso de Aprendizaje, donde la conformación de equipos de trabajo con conocimientos, experiencia y alta capacidad crítica es fundamental para lograr eficiencia y eficacia en la Compra de Información. Un aspecto clave es la forma de llevar adelante la discusión respecto de los datos y modelos que se levantan, de tal forma de activar el segundo bucle de aprendizaje las veces que sea necesario.

<sup>29</sup> Carter, Trevor, *Successful Tunnelling in Challenging Mountainous Conditions*, HRW, July-August 2011, [www.hydroworld.com](http://www.hydroworld.com), pág. 32.

<sup>30</sup> G4 se refiere a información geológica, geomecánica, geotécnica y geofísica (incluyéndose obviamente los temas relativos a la hidrología del macizo rocoso).

Los dos gráficos siguientes, representativos de lo que puede pasar en un mismo proyecto, muestran dos áreas distintas de “hechos y creencias”, las que grafican que cada equipo reduce las incertezas en momentos diferentes. En el gráfico (a) el equipo cree haber convergido al Punto Óptimo con un monto relativamente bajo de Compra de Información, mientras que en el gráfico (b) el equipo cree haberlo logrado con una mayor inversión. En el caso (b) se ha podido develar más del 50% de las principales Incertezas, mientras que en el caso (a), el porcentaje es inferior y solo se terminará de descubrir cuando el proyecto se encuentre en construcción, con las sorpresas que esto puede deparar.

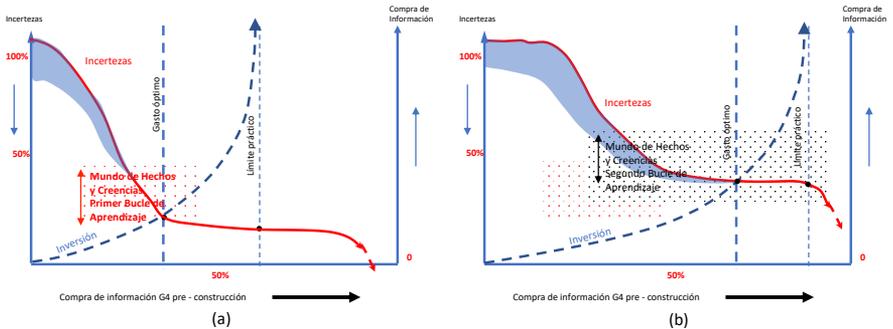


Figura 9: Dos situaciones para los Hechos y Creencias del Segundo Bucle de Aprendizaje.

Uno de los temas importantes durante la Compra de Información es la definición de realizar un mayor trabajo en terreno, de tal manera de enriquecer la cantidad de información obtenida. El segundo tema importante tiene relación con hacer un listado de supuestos sobre los cuales se deben desarrollar talleres de trabajo interdisciplinarios que permitan cuestionar su validez, generando un análisis de potenciales Riesgos e Incertezas.

La certeza del equipo de proyecto de haber logrado romper la Trampa del Videojuego solo se logrará en función de la estructura que se de a la gobernanza del proyecto, tema que se aborda más adelante.

El producto final de la Compra de Información debe ser el Geotechnical Memorandum for Design (GMfD), en línea con lo que se plantea en el siguiente capítulo. El GMfD corresponderá al Banco de Supuestos Claves antes mencionado y son los hechos y las creencias” del equipo de proyecto. La confección de este documento es de vital importancia y debe ser realizada por un equipo multidisciplinario, incluyendo a personas que aporten miradas distintas a los equipos tradicionales de la empresa, para evitar ambientes endogámicos que impiden el proceso de aprendizaje del bucle doble antes mencionado. El GMfD, considerado para la elaboración del Geotechnical

Baseline Report (GBR) debiera contar con varias iteraciones generadas a lo largo del proceso de Compra de Información, todo esto asegurado por una Gobernanza conforme se indica en el capítulo cinco.

Los contenidos mínimos de este documento son<sup>31</sup>:

- Comentarios y discusión respecto de los datos;
- Presentación de las posibles interpretaciones iniciales de los datos.
- Evaluación de limitaciones y discusión acerca de las necesidades de información adicional.
- Presentación de una evaluación de cómo las condiciones del subsuelo y de la roca pueden afectar los enfoques alternativos para el diseño y la construcción del proyecto.
- Presentación de una evaluación de cómo las condiciones de la roca pueden afectar la futura explotación del yacimiento, así como los resultados de los procesos metalúrgicos.
- Evaluación de los riesgos del proyecto en función de enfoques de construcción alternativos.
- Evaluación de potenciales impactos sobre instalaciones adyacentes.
- Criterios de diseño geotécnico para estructuras de subsuelo tanto permanentes como temporales.

Otro documento que de igual forma debe ser preparado al término del proceso de Compra de Información, es el Social-Environmental Memorandum for Design (S&EMfD). Este documento debe estar enfocado a los aspectos sociales y del medio ambiente del proyecto – sumando información a lo que se ha llamado el Banco de Supuestos Claves, que permitirán el manejo de las incertezas del proyecto.

Las actividades antes mencionadas tienen relación con el proceso de aprendizaje del equipo de proyecto – en particular el Banco de Supuestos Claves, el que debe permitir al equipo de construcción a lo largo de la vida del proyecto, preguntarse respecto de la validez de los datos y de los modelos definidos. En particular la actividad de “Evaluar las limitaciones de los datos” tiene un vínculo directo con la Compra de Información en terreno, mecanismo que permite reducir de manera significativa las Incertezas que rodean la definición de los supuestos bases. Esta actividad debe arrojar dos resultados concretos: i) definir

---

31 Los contenidos que se indican corresponden a los señalados en las Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested Guidelines, pero incorporando los conceptos de “Incertezas” y “Compra de Información” discutidos anteriormente (pág. 11).

mayor cantidad de trabajo en terreno de tal manera de enriquecer la información obtenida y ii) preparar un listado de supuestos sobre los cuales se deben desarrollar talleres de trabajo interdisciplinarios que permitan cuestionar la validez de los supuestos, generando un análisis de potenciales Riesgos e Incertezas.

En algún momento se iniciará el proceso de Diseño, para lo cual Carter<sup>32</sup> plantea el Gráfico 2 siguiente. Como se mencionó anteriormente, cuando se inicia el diseño ya no es posible disminuir los impactos asociados con las Incertezas, los que serán develados en la etapa de construcción, con los riesgos e impactos que eso implica. La separación que se plantea entre la Compra de Información y el Diseño no se debe entender como secuencial, ya que la misma construcción de las obras es una Compra de Información definitiva, que permite comprobar en qué medida los hechos y las creencias fueron correctos o, alternativamente, hacer las correcciones que el proyecto requiera.

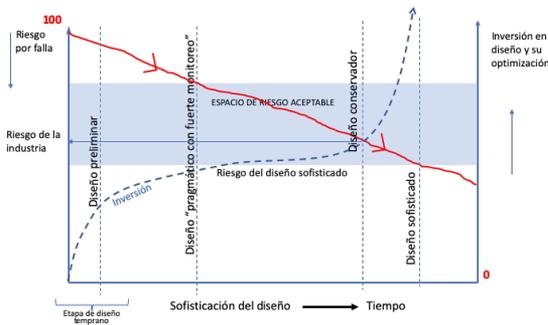


Gráfico 2: Riesgo por falla e Inversión en diseño y su optimización.

El gráfico anterior muestra la relación entre tres tipos de diseño y distintos niveles de riesgo: el diseño preliminar, es propio de la etapa de ingeniería de perfil de un proyecto (FEL 1) al cual se podría llegar de manera paralela en una fase avanzada de la Compra de Información, esto ayudaría a mejorar el análisis del equipo de proyecto. El gráfico también muestra un diseño pragmático, que podría ser adoptado para acelerar el proyecto en una situación del tipo “ambiente conocido”, dando por válidos los modelos mentales usados y abstrayéndose del concepto de Incertezas antes indicado (FEL 2). El diseño conservador (FEL 3) será aquel que minimice los riesgos e incertezas

<sup>32</sup> Carter, Trevor, *op. cit.*, pág. 32.

compatibles con los grandes proyectos actuales, en ambientes de Complejidad Dinámica.

#### 4. El Geotechnical Baseline Report (GBR), una herramienta para controlar la Complejidad Dinámica de los proyectos.

##### Objeto y características del GBR.

La construcción de proyectos nuevos y/o expansiones importantes de empresas existentes se hace a través de contratistas especializados, los cuales reciben un mandato de construcción, habitualmente, luego de largos procesos de licitación, con información abundante y variada. Los contratos de construcción más complejos son aquellos que tienen relación con obras subterráneas y/o excavaciones en roca, ya que la respuesta del macizo rocoso a las técnicas constructivas y al diseño de las obras, solo se termina de conocer realmente cuando se inicia la construcción. Dado lo anterior, una fuente de conflicto importante en los proyectos y, por ende, en su complejidad, tiene relación con la delimitación de responsabilidades entre el mandante y el proveedor.

Desde la década de 1970<sup>33</sup>, existe en el mundo la práctica de incorporar en los contratos de construcción subterráneos distintos informes geotécnicos, sin un estándar definido. En algunos de esos casos, la redacción es deficiente y las interpretaciones geotécnicas son ambiguas, situación que también refleja la realidad nacional. La respuesta de la industria a nivel internacional fue la edición del Geotechnical Baseline Report, publicado en 1997, con una segunda edición en 2007. Esta herramienta es presentada por sus autores como una manera<sup>34</sup> de “informar a los Dueños sobre la importancia del contenido del GBR para definir los riesgos financieros” y de mejorar la información en los procesos de licitación. Además de estos beneficios, dada la definición de Compra de Información, esta herramienta permite<sup>35</sup>:

- Generar un Banco de Supuestos Claves en base a hechos y creencias levantados durante el proceso de Compra de Información, lo que constituye una herramienta para la administración de las Incertezas. Este banco representa las consideraciones geotécnicas y de construcción que formaron las bases del diseño para los componentes del subsuelo.
- Sistematizar el proceso de caracterización del macizo rocoso de tal manera de generar conocimientos objetivos que ayuden a todas las entidades involucradas en el proceso de construcción.

---

<sup>33</sup> Essex, Randall J., *op. cit.*

<sup>34</sup> *Ibidem*, pág. 1.

<sup>35</sup> *Ibidem*, pág. 23.

- Mejorar la comprensión del contratista sobre las limitaciones claves de proyecto, facilitando el traspaso de riesgos, logrando ambientes más competitivos. De igual forma permite disminuir la complejidad en la administración de estos contratos, ante posibles cambios de la realidad encontrada al momento de la construcción, respecto del Banco de Supuestos Claves definidos en la Compra de Información.

De manera resumida, en el GBR se deben incorporar todos los elementos que permitan a los contratistas, aparte de las generalidades habituales de ubicación, dueño, empresas de ingeniería principales, etc., entender las singularidades del terreno donde se ejecutarán las obras. Tal como indica el autor, más que una recolección de datos el GBR “es la principal interpretación contractual de las condiciones del subsuelo”, dado lo cual el informe debe señalar y discutir cuáles son estas condiciones con suficiente detalle para comunicarlas con precisión a los oferentes, así como a las empresas de ingeniería y otras entidades que la requieran.

Complementarios al GBR y al GMfD están el Geotechnical Data Report<sup>36</sup> (GDR) y la Differing Site Conditions<sup>37</sup> (DSC), respecto de los cuales, de manera muy breve, cada uno de ellos contiene:

- Geotechnical Data Report (GDR): información más detallada que complementa el GBR y describe en términos más específicos las fuentes de la información contenida en el GBR, incluida una descripción del entorno geológico, la caracterización del terreno, el programa de exploración realizado, las pruebas, etc.
- Differing Site Conditions (DSC): cláusula en el contrato de construcción que permite gatillar las conversaciones entre el contratista y el mandante respecto de condiciones que se encuentren en terreno y que difieran sustancial y materialmente de lo definido en el GBR. El texto presentado por Essex es:

*DIFFERING SITE CONDITIONS (APRIL 1984)*

*(a) The Contractor shall promptly, and before such conditions are disturbed, give a written notice to the Contracting Officer of (1) subsurface or latent physical conditions at the site which differ materially from those indicated in this contract, or (2) unknown physical conditions at the site, of an unusual nature, which differ materially from those ordinarily encountered and generally recognized as inhering*

---

<sup>36</sup> Ibidem, pág. 11.

<sup>37</sup> Ibidem, pág. 14.

*in work of the character provided for in the contract.  
(b)The Contracting Officer shall investigate the site conditions promptly after receiving the notice. If the conditions do materially so differ and cause an increase or decrease in the Contractor's cost of, or time required for, performing any part of the work under this contract, whether or not changed as a result of the conditions, an equitable adjustment shall be made under this clause and the contract modified in writing accordingly.*

La precedencia de los documentos que forman parte del GBR, todos parte del Contrato de Construcción – donde va incluida la cláusula Differing site conditions antes indicada – debe ser: primero el GBR y, luego, el GDR. Conforme a la recomendación de sus autores, el GMfD si bien puede ser entregado a los oferentes, no debiera ser parte del contrato, debido a que es preparado con bastante antelación al GBR.

Teniendo en consideración el enfoque que se da al GMfD, relacionado con la Compra de Información, en el proceso iterativo de su generación, todas sus reediciones debieran ser identificadas como Borrador ya que, incluso durante el proceso de construcción, este documento debería ser revisitado y actualizado una y otra vez, de tal forma de usarlo como parte del Proceso de Aprendizaje de bucle doble mencionado anteriormente.

### **Mapa de Transferencia de Riesgos al Contratista.**

Se ha demostrado frecuentemente la importancia que tiene la entrega de información al contratista, dentro de lo cual se está transfiriendo una parte del riesgo de la obra. En la Figura 10<sup>38</sup> siguiente se muestra el flujo de información propuesto entre el dueño del proyecto y el contratista. En este flujo de información el Contratista tiene la posibilidad de evaluar los posibles riesgos asociados a los métodos constructivos, fuente inherente de peligros que afecta la seguridad de las personas. Es necesario que este mapa de traspaso de información sea diseñado al inicio del proceso de Compra de Información, de tal manera de entender claramente qué riesgos y a quienes se están traspasando.

---

<sup>38</sup> Soren Degn Eskesen et al., *Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group N° 2, Tunnelling and Underground Space Technology 19 (2004),* pág. 217 -237.

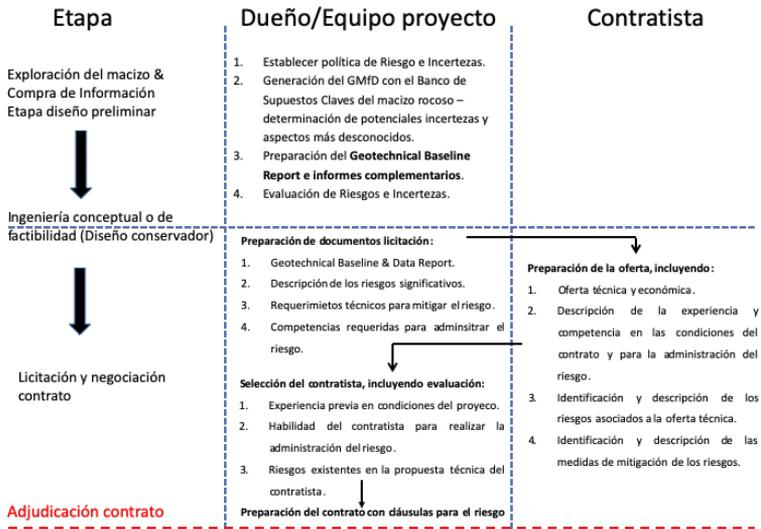


Figura 10: Flujo de información Equipo proyecto – Contratista.

### Generación de ambientes más competitivos con “plena” información.

Existen varios otros tipos de contratos, que definen una condición de riesgo para el mandante y otra para el contratista, conforme se muestra en la figura siguiente<sup>39</sup>.

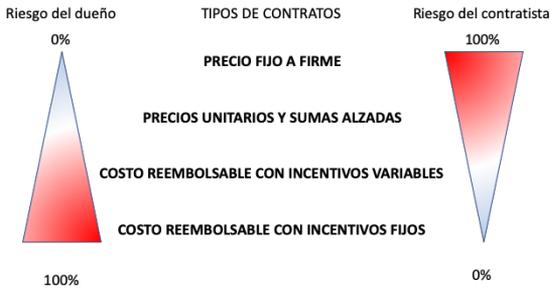


Figura 11: Diferentes relaciones de contratos – riesgos.

<sup>39</sup> Brox Dean, Risk Management – Tendering and Construction Sharing Risks in Contracts, Risk Management in Tunnelling, Santiago, September 2017.

Mientras más experiencia tenga la empresa, la gobernanza y el equipo de proyecto, debieran tender a elegir una modalidad de contrato a precios unitarios (adecuada con el GBR antes descrito) y quizás con algunas partidas a suma alzada. La selección de un tipo u otro, dependerá de la experiencia de la empresa, de las empresas contratistas, así como del apetito al riesgo del Directorio, conforme se indica más adelante.

Las reglas claras no solo conservan la amistad sino que en el caso de una relación comercial, permiten minimizar las ambigüedades y hacer más objetivas las condiciones del terreno para el contratista. La línea base geotécnica del GBR tiene esa misión – esto es, definir las condiciones esperadas en el terreno, así como las cantidades y calidades de las obras a construir – dejando las Incertezas y elementos fuera del control del contratista en manos del dueño del proyecto. En este escenario, se logrará que las contingencias del contratista tengan exclusiva relación con elementos en su poder, sin que aumenten artificialmente el costo de su propuesta.

La línea base geotécnica define una condición para la cual los distintos oferentes en un proceso de licitación deben fijar sus precios en función de sus productividades y competencias, con la posibilidad de hacer una propuesta conservadora, centrada o agresiva; conforme se muestra en la Figura 12 siguiente.

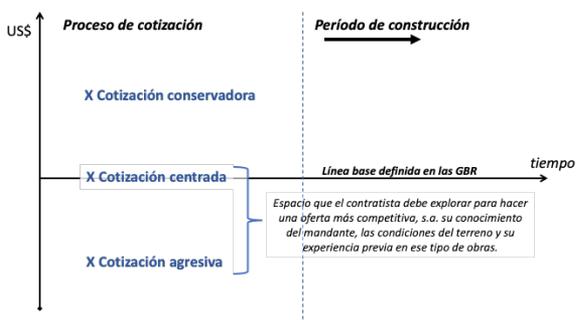


Figura 12: Tipos de cotización respecto de la Línea Base Geotécnica.

La decisión del contratista de hacer cualquiera de estas propuestas: conservadora, centrada o agresiva, tendrá relación con las definiciones hechas en la línea base del GBR, así como con su experiencia y percepción del riesgo. La capacidad del contratista de entender la descripción de las obras y las condiciones detalladas en el GBR, será clave a la hora de hacer una propuesta responsable y equilibrada en cuanto al riesgo asumido. Lo anterior dependerá

de la calidad y el conocimiento de los profesionales expertos en estas materias con que cuente el contratista.

En la vida real siempre existirán explicaciones para asignar el contrato a una oferta agresiva. Las cotizaciones agresivas siempre encantan porque los números ex-ante se ven muy atractivos. En ambientes más reflexivos se puede asignar a una cotización más conservadora, por ejemplo, en base a la experiencia del contratista y la solidez de su propuesta.

Durante el período de construcción, la realidad del macizo rocoso demostrará una situación que puede ser más o menos agresiva que la detallada en la línea base, mientras que la propuesta aceptada puede haber sido una oferta conservadora, centrada o agresiva. Dado lo anterior, se generarán los siguientes posibles escenarios:

US\$ ↑	<b>Tipo de Oferta</b>	<b>La realidad del terreno al momento de la construcción</b>		← MÁS COMPLEJO
		<b>+ adversa que la del GBR (escenario de más controversias)</b>	<b>- adversa que la del GBR (escenario de menor controversias)</b>	
	<b>Conservadora:</b> (Menor PBB de ganar)	CONTRATISTA LEVANTARÁ MÁS CONTROVERSIAS	CONTRATISTA LEVANTARÁ POCAS CONTROVERSIAS	
		EL RESULTADO DEPENDERÁ DE LAS CONTROVERSIAS Y DE LAS DIFICULTADES (COMPLEJIDAD MEDIA A ALTA)	PROYECTO HABRÁ PAGADO CARO POR LAS OBRAS (BAJA COMPLEJIDAD)	
	<b>Centrada</b> (PBB media de ganar)	<b>Cuadrante A</b>	<b>Cuadrante B</b>	
		<b>Cuadrante C</b>	<b>Cuadrante D</b>	
	<b>Agresiva</b> (Mayor PBB de ganar)	CONTRATISTA LEVANTARÁ MUCHAS CONTROVERSIAS	CONTRATISTA LEVANTARÁ CONTROVERSIAS	
		RESULTADO SERÁ DE UNA ALTA COMPLEJIDAD	PROYECTO HABRÁ PAGADO POCO POR LAS OBRAS s. a. CONTROVERSIAS (COMPLEJIDAD MEDIA)	
		← MÁS INCERTEZAS		

Tabla 2: Escenarios posibles de ofertas respecto de la Línea Base Geotécnica.

Los escenarios en los que se eligen las ofertas más agresivas, unidos a realidades más adversas del macizo rocoso (Cuadrante C), son de una alta complejidad por las Incertezas que pudieran sobrevenir y por los temas propios de reclamaciones y ambientes de litigio.

El mérito de contar con información de calidad en la línea base geotécnica, unido a un proceso de selección riguroso que no busque explicaciones fáciles, como solo “la cotización más baja”, permitirá desarrollar el proyecto en un ambiente de menos complejidad y menores incertezas (más cerca del Cuadrante B). Las ofertas agresivas en contratos complejos, como las obras subterráneas y aquellas con excavaciones en roca, generan situaciones contractuales difíciles de resolver en el caso que se encuentren en terreno condiciones más desfavorables que las esperadas.

Las reglas del juego para las reclamaciones en el caso de una propuesta “centrada” a la línea base definida, se muestran en la Figura 13.

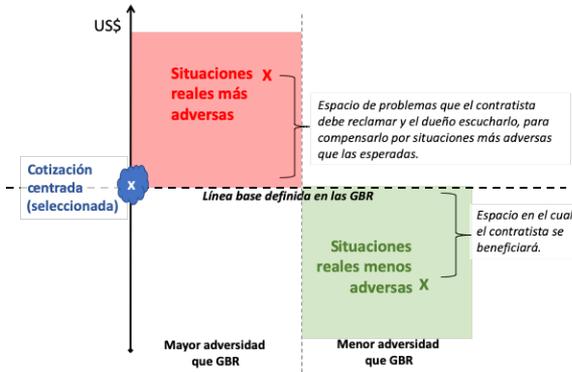


Figura 13: Posibles diferencias con el contratista respecto en función del tipo de oferta.

Esta situación de compensar por aquellos elementos no considerados en la línea base, permite obtener cotizaciones más ajustadas a la realidad, ya que dejan fuera supuestos relacionados con temas que no están bajo el control del contratista, disminuyendo las Incertezas para éste y dejándolas de lado del dueño del proyecto.

## 5. La Gobernanza para administrar las Incertezas y controlar la Complejidad Dinámica de los proyectos.

Existen innumerables libros, artículos especializados<sup>40</sup> y bibliografía promovida por empresas consultoras sobre la administración de empresas y proyectos, tanto que algunos autores lo han asimilado al concepto de una moda<sup>41</sup>. Pese a lo anterior, sigue habiendo fracasos debido a distintos tipos de problemas en los proyectos y/o en las empresas en marcha<sup>42</sup>. En parte, esto se debe a la falta de una estructura de gobernanza adecuada en los proyectos y, además, a que no se han internalizado los conceptos de Complejidad Dinámica e Incertezas, tal como aparecen definidos en el presente artículo.

<sup>40</sup> Crawford, Lynn et al, *Uncovering the trends in project management: Journal emphases over the last 10 years*, International Journal of Project Management, 2006, N° 24, págs. 175 – 184.

<sup>41</sup> Johansen, Oscar, *Las Modas en administración*, Publicaciones Editorial Gestión Ltda., Santiago, Chile, 2000.

<sup>42</sup> Garicano, Luis et al, *Why Organizations Fail: Models and Cases*, Journal of Economic Literature 2016, 54 (1), págs. 137 – 192.

En este capítulo se presentan algunas definiciones respecto de la estructura mínima que debe tener la Gobernanza de los proyectos. Además, se refuerzan las prácticas que ésta debiera desarrollar para capturar, tempranamente, el concepto de Incertezas y, así, reducir la complejidad, todo esto basado en los conceptos de Compra de información y del GBR.

Dadas las características que hace que los proyectos sean únicos y distintos respecto de las empresas en marcha tal como se ha insistido en los capítulos anteriores, existen tres recomendaciones que debieran generar procesos más robustos que aseguren la buena marcha de los proyectos, como son:

- i. La separación de las operaciones normales de la empresa respecto de los proyectos de inversión.
- ii. El uso de la Compra de Información en la conceptualización del proyecto, para generar el GMfD y el S&EMfD, además de la creación de un Banco de Supuestos Claves que permita administrar las Incertezas.
- iii. Apoyo al rol del Directorio mediante un Comité Técnico cuyos integrantes tengan la mezcla adecuada de experiencia e independencia que asegure una tensión sana con el equipo del proyecto.

### **Separación del proyecto de la rutina de la operación**

Dadas las características antes indicadas, la primera decisión clave tiene relación con la separación de la operación de la empresa respecto del proyecto. La velocidad de los cambios en los proyectos requiere flexibilidad y eficiencia en el equipo, ambos aspectos que no serán posibles si se incorporan los procedimientos propios de la operación, que de por sí son más rígidos.

La convivencia entre el ambiente del proyecto y la operación genera una<sup>43</sup> “contaminación de los procesos operacionales con procedimientos de excepción, con cuya licencia cuenta el proyecto, los que no son recomendables como mecanismos de acción permanentes”. A lo anterior se suma la necesidad de tener una contabilidad sana, tanto en la operación como en la construcción del proyecto, lo que no se facilita con la convivencia de ambas realidades.

---

<sup>43</sup> Briceño, Pedro, *Administración y Dirección de Proyectos, Un enfoque Integrado*, ISBN 956-19-0192-7, Pedro Briceño Lazo, 1994.

## La importancia de la Compra de Información en la etapa de conceptualización

La IPA<sup>44</sup> plantea como una buena práctica el uso del sistema de Front End Loading (FEL) o puertas de aprobación. Conforme a esto, el correcto desarrollo de los proyectos debe cumplir una serie de etapas, cada una de las cuales debe terminar con un informe independiente que permita asegurar el contenido de los informes y que los análisis cumplan con los estándares de la industria.

En la Figura 14 siguiente se muestran las definiciones de la IPA<sup>45</sup>:

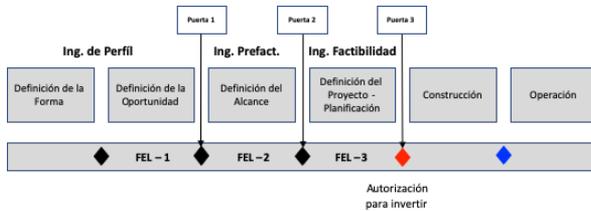


Figura 14: FEL y Puertas en el desarrollo del proyecto.

En esa misma línea, en este acápite se vincula el sistema de la IPA con los conceptos de Compra de Información y Complejidad Dinámica, los que permiten la definición del GMfD y del S&EMfD, considerado el primero como parte de la documentación del GBR.

Incorporando en la figura anterior los procesos previos de Determinación de reservas, Ingeniería y definiciones medio ambientales así como la Compra de Información en general, se estará en condiciones de preparar el GMfD y S&EMfD, conforme se observa en las Figura 15 siguiente.

---

<sup>44</sup> Rohrbaugh, Kate, *Lessons on Process for Evaluation*, Independent Project Analysis, San Antonio, Texas, 2010.

<sup>45</sup> Previo al inicio de la construcción la IPA plantea que se debe realizar la "Execution Readiness" de tal manera de comprobar si existen todas las definiciones, revisiones, permisos, infraestructura mínima, etc., para iniciar la construcción.

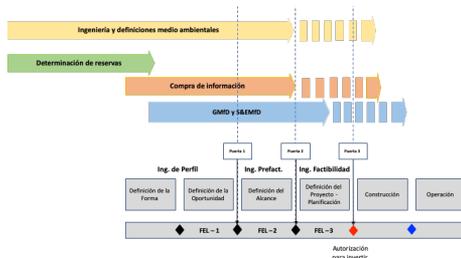
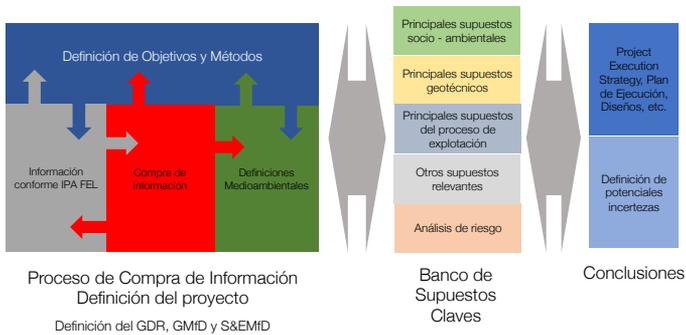


Figura 15: FEL considerando el Medioambiente, Compra de información y el GMfD.

En esta figura se muestran algunos de los procesos con cuadros segmentados – actividades relativas al Medioambiente, la Compra de Información y la preparación del GMfD y S&EMfD. Si bien estas actividades deben contar con entregables concretos para el FEL 1, 2 y 3, el conocimiento del equipo de proyecto no terminará sino hasta que el proyecto esté construido. Durante todo este tiempo, el equipo de profesionales debe mantener una actitud crítica respecto de la información que se genere en el marco del proceso de construcción para entender si los Supuestos Claves están en línea con la realidad encontrada.

Durante la ingeniería de perfil se desarrolla una de las actividades más importantes de un proyecto: su conceptualización, la definición de los objetivos y métodos. Conforme a la Figura 15 anterior esta debería permitir al equipo de proyecto generar, junto con los fundamentos e ingenierías propias de esta etapa, el GMfD y el S&EMfD que reúna la información y principales modelos relativos a la caracterización del macizo rocoso. Es en esta etapa cuando los accionistas deben prestar mayor atención al equipo de proyecto para asegurar, por encima de los habituales indicadores técnicos – económicos, que se estructure la información clave, conforme se muestra en la Figura 16.

Es importante que la Gobernanza del proyecto tenga conciencia que este proceso es realizado por personas que están en un contexto de Complejidad Dinámica. Tal como se mostró en la Figura 4 en el capítulo 2, el equipo de proyecto debe haber sido desafiado de tal forma que se produzca el Proceso de Aprendizaje de bucle doble y como consecuencia de ello, haya quedado un Banco de Supuestos Claves que junto con minimizar las posibles Incertezas, permita su adecuada administración. En la Figura 16 siguiente se muestra esquematizado el proceso de definición de los Objetivos y Métodos, donde las actividades son todas recursivas entre sí, propias de la Complejidad Dinámica antes definida.



*Figura 16: Definición del Banco de supuestos claves, el GBR, GDR, GMfD y S&EMfD.*

Este proceso se debe entender como dinámico e interdependiente entre todas estas etapas, incluso cuando se hayan pasado los FEL 1, 2 y 3 y el proyecto se encuentre en etapa de construcción. En esta última etapa, la construcción, se debe visitar frecuentemente el Banco de Supuestos Claves y sus Conclusiones, junto con el GMfD y el S&EMfD, para comprobar que la información que se está recuperando sea coherente y así determinar probables brechas, dándoles el tratamiento que cada una de ellas amerite.

### **El rol del Directorio y la incorporación de un Comité Técnico.**

Dada la gran variedad de literatura existente respecto de los tipos de organizaciones y perfiles de profesionales requeridos<sup>46</sup>, en este acápite se abordarán los énfasis que se deben tener en consideración para contar con una Gobernanza que se haga cargo de las Incertezas y la Complejidad Dinámica propia de los proyectos mineros.

Dentro de los temas importantes que se deben destacar, están los roles de los gerentes de proyecto, de ingeniería y de construcción y la relación entre ellos. Dependiendo de la etapa del proyecto, unos tendrán mayor o menor liderazgo, dándose por descontado que la continuidad y/o el proceso de sucesión de cada uno de ellos, es un factor de éxito más que importante y recae de manera particular sobre el gerente del proyecto.

Aprovechando la misma Figura 15 anterior, en la Figura 17 siguiente se grafican dos mundos a lo largo de la vida del proyecto, el de Ingeniería y de

<sup>46</sup> Morris, Peter et al, *The Wiley Guide to Managing Projects*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004, págs. 67 – 83.

Construcción. Si bien es posible que existan personas con grandes habilidades capaces de desenvolverse en todos los ámbitos, claramente el gerente de ingeniería tendrá un peso gravitante en la primera etapa; mientras que en la segunda, la tendrá el gerente de construcción. El paso armónico y fluido entre cada una de las etapas dependerá de las habilidades de liderazgo del gerente de proyecto y de su relación con el Directorio de la empresa, los responsables finales del éxito.

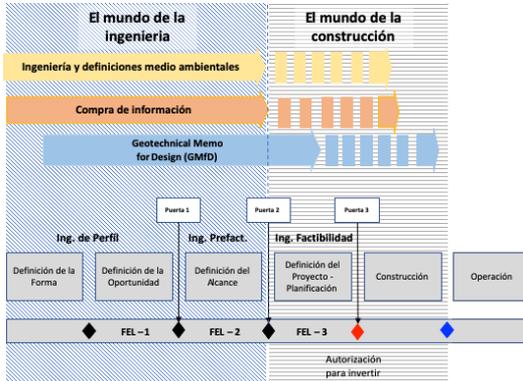


Figura 17: Los mundos de la ingeniería, de proyecto y de la construcción.

El punto que se quiere destacar en este acápite tiene relación con la necesidad de crear una organización que va más allá de la selección del gerente de proyecto, una organización que asegure el éxito de esta nueva iniciativa. Dicha organización debe ser capaz de leer la Complejidad Dinámica de nuestros tiempos. Algunas de las tareas específicas que debe realizar la Gobernanza del proyecto desde las etapas de conceptualización hasta la factibilidad son:

- Asegurar una lectura compartida del contexto en el cual se desarrollará el proyecto, de manera de formular las definiciones estratégicas que sean necesarias ya sea respecto de los principales stakeholders, financieras, compras estratégicas tempranas y/u otras.
- Asegurar las definiciones claves del proyecto, tanto desde el punto de vista de los objetivos y métodos que se utilizarán, como de sus consecuencias.
- Asegurar la creación de una organización y de sistemas claves para el control financiero y de avance del proyecto.
- Acompañar a la organización, en particular al gerente del proyecto, en las decisiones estratégicas claves que permitan capturar las oportunidades y mitigar de la mejor forma las amenazas, tema habitualmente asociado a asumir ciertos riesgos y exposiciones financieras.

- Por último, pero no por eso menos importante, asegurar la alineación del gerente del proyecto con los intereses de los accionistas, en particular en aquellas materias relacionadas con el apetito al riesgo<sup>47</sup> y ciertos valores claves de los accionistas.

Tempranamente en el proyecto, es necesario darles una forma preliminar a la organización que lo administrará. Además, es importante definir la selección del gerente de proyecto o gerente general, quien será la cara visible y líder del proyecto y deberá contar con todas las capacidades que requiere la conducción de personas en entorno complejos.

No es posible asegurar las tareas antes indicadas solo a través del gerente y el equipo del proyecto. También se requiere la presencia de una entidad complementaria para que genere una tensión sana dentro del proyecto, que asegure una mirada crítica y con esto el éxito de la iniciativa.

La siguiente Figura 18 se muestran cuatro entidades: el Directorio de la empresa, el Sponsor<sup>48</sup>, un Comité Técnico y el Gerente de Proyecto y su equipo de trabajo. Las líneas que unen estas entidades (con tres niveles de jerarquía), muestran cuáles serán las relaciones más importantes entre cada uno de ellos, de tal manera de no debilitar las funciones y el accionar del gerente del proyecto, por un lado y asegurar de igual forma el éxito.

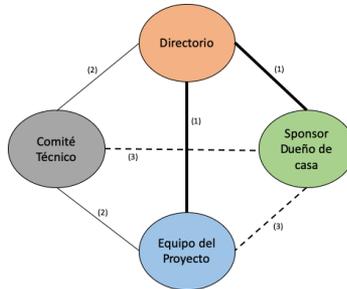


Figura 18: Entidades en torno al proyecto.

En las corporaciones es posible que la figura del Directorio esté representada por un Comité presidido por el CEO y parte de su personal clave. Esto no elimina la obligación del Directorio de estar debidamente informados, en

<sup>47</sup> Enrione, Alfredo et al, *op. cit.*, pág. 268.

<sup>48</sup> Este rol existirá solo en el evento que exista una empresa en marcha cercana a la construcción del proyecto.

particular respecto de la definición del Apetito por el Riesgo, tarea que no puede delegar .

El Comité Técnico, formado por profesionales con vasta experiencia en los temas relativos al proyecto, debiera constituirse lo antes posible, pudiendo tener la forma de Revisión de Pares (pero de manera continua) y variando su forma y/o su composición a medida que avanza el proyecto. La existencia de este Comité es necesaria aparte del proceso de revisión que plantea la IPA para cada FEL 1, 2 y 3. Esto permitirá realizar discusiones de calidad y a un costo no relevante para lo que finalmente está en juego. La composición de este comité debe ser variada y asegurar experiencia, independencia y capacidad de debate de los temas importantes, con miradas desde el seno de la empresa y externas a ella.

Las principales tareas de este Comité Técnico son:

- i. Acompañar el proyecto a lo largo de todo su desarrollo, con especial énfasis en las etapas de aprobación de cada uno de los FEL 1, 2 y 3, asegurando la robustez del proyecto.
- ii. Poner especial atención en la generación de los GMfD y S&EMfD, preocupándose de cuestionar los supuestos, partiendo por los modelos mentales de los integrantes del equipo y exigiendo la generación de un potencial Mapa de Incertezas, adicional a los análisis de riesgos tradicionales.
- iii. Asegurar que se produzca una discusión que permita revisar el estado de avance de la Compra de Información, validando los trabajos en curso, respecto de esa materia. Todo esto, a partir de la generación de los primeros borradores de los GMfD y S&EMfD
- iv. Sobrevolar el desarrollo del proyecto desde la perspectiva técnica, con reuniones de trabajo periódicas que no ahoguen a la organización, pero que permitan entender el desarrollo del proyecto, informando sobre el avance, gradualmente, al Directorio, conjuntamente con discusiones con el gerente y el equipo de proyecto.

## **6. Estudio de casos–Análisis de Aspectos Críticos para la Seguridad**

A continuación se analizan dos casos en los cuales el autor de este artículo estuvo involucrado en su dirección. El primero de ellos, lo dirigió desde el inicio de las campañas de exploración y el segundo, luego de la ocurrencia de una serie de eventos que afectaron a la seguridad de las personas.

En debida consideración que cada proyecto ocurre a más de 2.000 km de distancia de latitud uno del otro, es necesario entender las características de

ambos, las que se muestran en la tabla siguiente, considerando la estructura de la Complejidad Dinámica.

CARACTERÍSTICA	Caso 1	Caso 2
Tamaño	En proceso de nacimiento (inversión de centenas de millones USD)	5 años de construcción en terreno (inversión de miles de millones de USD), con rotación de personal ejecutivo.
Entorno	No minero – dueños en actividades distintas a la minería	Parte de una corporación minera, junto a una operación existente.
Cultural	Ciudad no minera.	Ciudad y comuna minera, con contratista especializados.
Ecología	Tema muy sensible, disruptivo respecto de la realidad local.	Sin dejar de merecer la atención, no era un tema destacado.
Incertezas en los métodos constructivos	En etapa de "Compra de Información".	En construcción, pero con problemas no entendidos, que ocasionan accidentes de distintas consecuencias.
Incertezas en impactos al medio ambiente	En la etapa de "Compra de Información".	Parte de una operación en marcha.
Incertezas en los objetivos	En etapa de "Compra de Información" y de definiciones.	En etapa de ajuste, dados problemas no previstos.

*Tabla 3: Diferencias entre los proyectos.*

Teniendo presente las diferencias de cada caso, se tendería a pensar que los focos en cada uno debieran haber sido diferentes, pero no es así. En ambos casos el foco tuvo relación con dos elementos claves: i) consolidar el equipo de trabajo y ii) generar una visión común de la realidad.

Con relación a definir una visión común de la realidad, es bastante más fácil hacerlo al inicio del proyecto, que cuando han transcurrido 5 años de construcción, tanto por el tamaño del equipo de proyecto, como por la velocidad de transformación que los proyectos alcanzan en función de la inversión que realizan (que se puede llegar a medir en millones de dólares al día). En ambos casos se aplica el hecho que los equipos están bajo un proceso de aprendizaje de la realidad que irán descubriendo conforme el proyecto evolucione, lo cual llevado al ambiente de las empresas contratistas y sus trabajadores, plantea un desafío. En el caso de estas empresas, se debe considerar que sus trabajadores e incluso sus ejecutivos, no necesariamente entienden de la misma forma y profundidad el proyecto; dado lo cual, una parte importante de los esfuerzos será construir una realidad común compartida entre el dueño del proyecto y los contratistas.

Teniendo presente que en ambos casos se aplicaron los mejores estándares posibles de la industria, incluyendo en esto la selección adecuada de las personas y empresas, dado los tipos de construcciones que se desarrollaron; a continuación sólo se destacan aquellos elementos diferenciadores o donde se puso un mayor énfasis en la gestión de la Seguridad.

### **Caso 1: Definiciones al Inicio de la Construcción, orientadas a las Seguridad de las Personas**

Una de las primeras tareas que se abordó fue la definición de un marco normativo o Política de Seguridad; pero más que una política, ideas claras que se pudieran transmitir a las personas:

- Definir una meta de “Cero accidente” como un objetivo posible.
- Definir que los “accidentes son evitables, consecuencia de peligros que se pueden controlar o evitar mediante, la acción de las personas”.
- Indicar claramente que el “mérito es de las personas” y que los resultados se obtienen a través de la Autoprotección.
- Apelar a lo más interior de cada persona, respecto de una realidad que fuera objetiva, como pocas realidades pueden serlo: “Elijamos las alternativas que están a nuestro favor y de nuestras familias, estas alternativas serán siempre las más seguras”.

A partir de estas definiciones, lo que se hizo a continuación fue predicarlas durante todo el tiempo que el proyecto estuvo en construcción, con la regla de FIDO: Frecuencia, Intensidad, Duración y repitámoslo de nuevo, Otra vez.

Junto con lo anterior, se aplicó la regla de la consecuencia lógica. Cada vez que ocurrió un hecho no deseado, con riesgo para las personas, con independencia que hubiera ocasionado un accidente o no, se convocó de manera urgente al Gerente General de esa empresa, para recibir una primera explicación de los hechos ocurridos y así demostrar el valor que representaba la seguridad para el proyecto.

Con anterioridad a las definiciones antes indicadas, durante el proceso de Compra de Información, el equipo de proyecto tuvo claro el hecho que todas las decisiones tenían relación con la Complejidad Dinámica, dado lo cual no sólo eran decisiones financieras o técnicas, sino que implicaban aspectos relacionados con logística, costos, programa y por supuesto con la seguridad de las personas. Un ejemplo de ello, es la decisión de comprar el cargador de barcos semiarmado, una estructura de varios cientos de toneladas, la cual fue transportada en un buque con la capacidad de montar la estructura en la posición final, sin apoyo de gruas y prácticamente sin personas desplegadas en el lugar de montaje. Esta decisión no sólo fue estratégica respecto de la oportunidad de cuando llegaría, sino que evitó miles de horas hombres en un proceso de montaje en terreno, se evitó la circulación de muchos camiones cargados por caminos urbanos y rurales; todos temas muy sensibles para la seguridad de los trabajadores y los temas comunitarios.

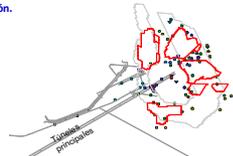
## **Caso 2: Definiciones Iniciada ya la Construcción, orientadas a las Seguridad de las Personas**

A diferencia del caso anterior, en este caso fue necesario re-entender algunos de los procesos constructivos y las respuestas del macizo rocoso. Lo anterior, implicó incluso la reducción de las velocidades de construcción, de tal manera de revisar los modelos mentales usados para explicar los objetivos y métodos

del proyecto. En este caso fue esencial entender cómo ocurre el proceso de aprendizaje de las personas, de tal forma de activar el segundo bucle que permitiera la generación de nuevos modelos mentales y con estos, nuevas estrategias y marcos de decisión.

Lo anterior finalmente permitió la generación de un Sistema de Administración del Riesgo Sísmico<sup>49</sup>, el cual permitió explicar a la organización cómo desde el Diseño hasta la Construcción, el riesgo estaba detectado, gestionado y controlado. Este sistema pasó a ser uno más de nueve “Sistemas de Administración” que se hacían cargo de las distintas familias de riesgo detectadas en el proyecto.

## ADMINISTRACIÓN RIESGO SÍSMICO (on going project)



A contar de estas re-definiciones, se tomaron decisiones concretas respecto de prácticas de trabajo, tipos de equipos necesarios, experiencia de las personas a cargo de los contratos, etc., las que permitieron lograr que el proyecto se posicionara como uno de los con mejores resultados de seguridad de la Corporación.

En ambos casos planteados, se debe destacar de manera especial el trabajo de un Departamento de Prevención de Riesgos, con profesionales capacitados, que

<sup>49</sup> Adaptado de Landeros, Pedro, *Administración del Riesgo Geomecánico, Túneles en Ambientes de Alto Esfuerzo*, Universidad de Santiago, SIMIN 2019, Santiago.

en línea con las directrices definidas, acompañaba a la organización fundamentalmente en una tarea de “Pepe Grillo”. Lo anterior, en total y absoluta coordinación con la Gerencia del Proyecto, pero sin quitarle a las distintas jefaturas y a cada persona de la organización, su liderazgo y actitud proactiva con la seguridad.

## **Resumen.**

En este artículo se revisan una serie de definiciones planteadas en la academia y/o por empresas consultoras respecto de Proyecto, Objetivos y Metas, Complejidad, Incertezas y Riesgos para aplicarlas en la administración de proyectos mineros, desde la etapa de conceptualización hasta la de construcción. Esta revisión permite definir la Complejidad Dinámica, tanto desde el punto de vista del Proceso de Aprendizaje, como de la relación entre los distintos elementos de un proyecto. Se redefine el concepto de Incertezas con el fin de vincularlo con el Proceso de Aprendizaje y con la definición de Complejidad Dinámica para los proyectos mineros, aprovechando las definiciones de Williams<sup>50</sup> y de Darnall- Preston<sup>51</sup>.

A partir de la experiencia del autor, con más de 30 años en cargos gerenciales en la administración de distintos tipos de empresas, de los cuales 10 años han sido dedicados a la construcción de proyectos mineros de alta complejidad, se realizan recomendaciones respecto de tres temas. La primera de ellas es la definición del concepto Compra de Información en las etapas tempranas de un proyecto, lo que permite administrar las Incertezas, entendidas como<sup>52</sup> aquellos hechos que pueden ocurrir en un proyecto, pero que están fuera de los hechos y las creencias encontrados en los modelos mentales de quienes los ejecutan. El segundo tema es el uso del Geotechnical Baseline Report<sup>53</sup>, concepto utilizado a nivel internacional en la construcción de obras subterráneas. Este tiene como objetivo principal delimitar las responsabilidades entre el mandante y el constructor. Sin embargo, en este artículo se extiende para capturar un Banco de Supuestos Claves que entregue al equipo de proyecto una herramienta para el manejo de las Incertezas como una variable objetiva (tanto desde el punto de vista de la caracterización del macizo rocoso, como de los temas socio – ambientales).

Finalmente, se plantea que si bien la adopción de los mejores estándares de la industria otorga mayor certeza para el buen término de un proyecto, el mejor

---

<sup>50</sup> Williams Terry, *op. cit.*, pág. 50.

<sup>51</sup> Darnall, Russell et al, *op. cit.*

<sup>52</sup> Perminova, Olga et al, *op. cit.*, pág. 77.

<sup>53</sup> Essex, Randall J., *op. cit.*

mecanismo para acompañar a los grandes proyectos y asegurar su éxito es el rol del Directorio en la definición del Apetito al Riesgo<sup>54</sup>, unido a la incorporación de un Comité Técnico que genere una tensión sana entre el Gerente del Proyecto y el Directorio como responsable final.

## **Bibliografía.**

1. Bosch-Rekvelde, Marian et al, *Grasping Project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework*, International Journal of Project Management, N° 29 (2011).
2. Briceño, Pedro, *Administración y Dirección de Proyectos, Un enfoque Integrado*, ISBN 956-19-0192-7, Pedro Briceño Lazo, 1994.
3. Buchtik, Liliana, *La Gestión de Riesgos en Proyectos*, buchtikglobal, 2012.
4. Carter, Trevor, *Successful Tunnelling in Challenging Mountainous Conditions*, HRW, July-August 2011, [www.hydroworld.com](http://www.hydroworld.com).
5. Crawford, Lynn et al, *Uncovering the trends in project management: Journal emphases over the last 10 years*, International Journal of Project Management, 2006, N° 24.
6. Darnall, Russell et al, *Project management from Simple to Complex*, Libraries – Publishing, University of Minnesota, 2010.
7. Davies, Andrew et al, *Five Rules for Managing Large, Complex Projects*, Fall 2017, Volume 59, Issue # 1, September 12, 2017.
8. Domingues, María et al, *Engineering complex systems applied to risk management in mining industry*, International Journal of Mining Science and Technology N° 27, (2017).
9. Enrione, Alfredo et al, *Directorio y Gobierno Corporativo*, Universidad de los Andes 2014.
10. Eskesen, Soren Degn et al, *Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group N° 2*, Tunnelling and Underground Space Technology 19 (2004).
11. Essex, Randall J., *Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested Guidelines*, American Society of Civil Engineers, 2007 (Second Edition).
12. *Fundamento para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*, Quinta edición, Project Management Institute, 2013.
13. Garicano, Luis et al, *Why Organizations Fail: Models and Cases*, Journal of Economic Literature 2016, 54 (1).
14. Johansen, Oscar, *Las Modas en administración*, Publicaciones Editorial Gestión Ltda., Santiago, Chile, 2000.

---

<sup>54</sup> Enrione, Alfredo et al, *op. cit.*, pág. 268.

15. Mariotti, Humberto et al, *Managing Complexity, Conceptual and Practical Tools, Analysis of Examples*, Repositorio Académico UPC
16. Merrow, Edward, *Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies, and for Success*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.
17. Morris, Peter et al, *The Wiley Guide to Managing Projects*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004.
18. Norma ISO 31000:2009.
19. Pedrals, Jorge, *Dynamic Complexity in Mining Projects*, article in press JMInER, 2019.
20. Perminova, Olga et al, *Defining uncertainty in projects – a new perspective*, International Journal of Project Management 26, 2008.
21. Rohrbaugh, Kate, *Lessons on Process for Evaluation*, Independent Project Analysis, San Antonio, Texas, 2010.
22. Saaty, Thomas et al, *Decision Making, Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, University of Pittsburgh, 1994.
23. Serpell, Alfredo, *Planificación y Control de Proyectos*, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 2001.
24. Sterman, John, *Learning from Evidence in a Complex World*, American Journal of Public Health, March 2006, Vol. 96, N° 3.
25. Turner, J. R. et al, *Goals and Methods Matrix: coping with projects with ill-defined goals and/or methods of achieving them*, International Journal of Project Management, Vol. 11 N° 2 May 1993.
26. Williams Terry, *Modelling Complex Projects*, John Wiley& Sons, Ltd., UK 2002.

## ABSTRACT

El libro trata sobre cómo evaluar y gestionar los proyectos mineros en un mundo cada vez más complejo, para lo cual el autor junta el mundo de la academia y su experiencia en la industria, para conceptualizar la Complejidad Dinámica. De esta forma, se incorpora desde la academia la definición de los Procesos de Aprendizaje y la Complejidad Dinámica, definiendo tres ámbitos en los cuales se debe actuar. El primero de ellos tiene relación con una nueva definición del concepto de Incertezas, las cuales se vinculan a los Procesos de Aprendizaje y los Modelos Mentales de las personas, para así establecer la Compra de Información en Terreno. Consecuente con lo anterior, se plantea el uso del Geotechnical Baseline Report (Essex, 2007), para robustecer el proceso de conceptualizar un proyecto, a partir la información “comprada en terreno”, y luego poder administrar adecuadamente la construcción. Finalmente, el autor plantea la necesidad de robustecer los Gobiernos Corporativos, de tal manera que conscientes de la Complejidad Dinámica, realicen un seguimiento de los proyectos que les permita actuar de manera oportuna y robusta.

