



RRM CONSULTORES
RECURSOS Y RESERVAS MINERAS

Estimación y Valorización de Recursos y Reservas Minerales

JUNIO 2018

Impacto de la automatización de procesos en la estimación de recursos y reservas

Ingeniero Civil en Minas Marcelo Trujillo
marcelo.trujillo@rrmconsultores.cl
+56 9 92330828

Problemática

- Debido al constante avance de la informática en relación a la necesidad de agilizar los procedimientos que impliquen el uso software mineros, las empresas han aumentado la demanda y desarrollo de aplicaciones semi-automáticas, muchas de ellas elaboraciones a la medida que han sido diseñadas por profesionales internos o por usuarios avanzados de sus plataformas.
- Los procesos semiautomáticos, macros o scripts, tienen el objetivo de automatizar y agilizar tareas cotidianas a fin de lograr una mayor eficiencia y satisfacción en las actividades que lo requieran.
- Las macros son parte de la **etapa de ejecución** de un proceso de estimación de recursos o de reservas, por lo que requieren de una **etapa de seguimiento o control**, que usualmente no se realiza.
- La **etapa de seguimiento o control** entrega a los geólogos/ingenieros de minas un permanente aprendizaje que les permite retroalimentar las etapas de planificación y programación de actividades previas a una ejecución de un proceso de estimación, concepto similar a depurar las macros o scripts.
- Sistema de administración y gestión en línea que soportan importantes cantidad de transacciones.

Problemática

- Respecto de las estimación de recursos y reservas la documentación adecuada de los procesos automatizados pocas veces es resuelta, generándose así “gap de información” dado que los procesos automatizados no quedan documentados.
- El principio de transparencia invita a los profesionales competentes a exigir la documentación de todos los procesos involucrados en la estimación de recursos y reservas.

Definiciones

- Dentro de cualquier industria los **procesos del negocio** pueden ser vistos como **flujos de trabajo**.
- Los flujos de trabajo se pueden definir como “la secuencia de actividades industriales, administrativas, ingeniería u otros procesos, a través de los cuales una tarea o actividad pasa de un estado inicial a un estado final”.
- La automatización de los procesos del negocio, debería permitir de forma constante :
 - Planear
 - Ejecutar
 - Observar
 - Supervisar
 - y mejorar

Modelo de Negocio Mina: Secuencia de Procesos



Ejemplos prácticos

Codificación de modelo de bloques con atributos geológicos, dos posibles secuencias de actividades:

- Selección de bloques dentro de un modelo de una unidad geológica y aplicar códigos
 - Tomar el modelo de la unidad geológica e identificar las coordenadas de sus cascara.
 - Seleccionar del universo de bloques todos aquellos cuyas coordenadas se encuentren dentro del sólido.
 - Generar los bloques que se encuentran dentro del modelo geológico y codificarlos con un atributo del sólido, por ejemplo UG.
- Llenar con bloques dentro de un modelo de una unidad geológica y aplicar códigos
 - Tomar el modelo de la unidad geológica e identificar las coordenadas de sus cascara.
 - Determinar las coordenadas de todos los bloques que se podrían encontrar dentro del sólido y generarlos.
 - Codificarlos con un atributo del sólido los bloques generados, por ejemplo UG.

Ejemplos prácticos

Las dos posibles secuencias de actividades, selección de bloques dentro de una unidad geológica y llenar con bloques dentro de un modelo de una unidad geológica se diferencian en aspectos como:

- Tiempo de Ejecución
- Criterios de aplicación del proceso
- Nivel de detalle del resultado

Ejemplos prácticos

Rutinas de estimación de estimación modelo de corto plazo

- Pasar de un modelo de largo plazo a uno de corto plazo que pueda ser usado en planificación minera hasta día a día
 - El modelo de largo plazo no requiere tener caracterizada estructuras con arsénico no detectadas en modelos de largo plazo.
 - El modelo de corto plazo requiere tener el mayor detalle de información para no enviar a planta peak de mineral con altos contenidos de arsénico.

Lo anterior implica que los procesos de estimación de recursos del largo plazo no pueden usarse directamente en el corto plazo, dado los objetivos de sus resultados.

Ciclo de Estimación

Esquema de Etapas del ciclo de estimación para lograr los **resultados en calidad y tiempo**.

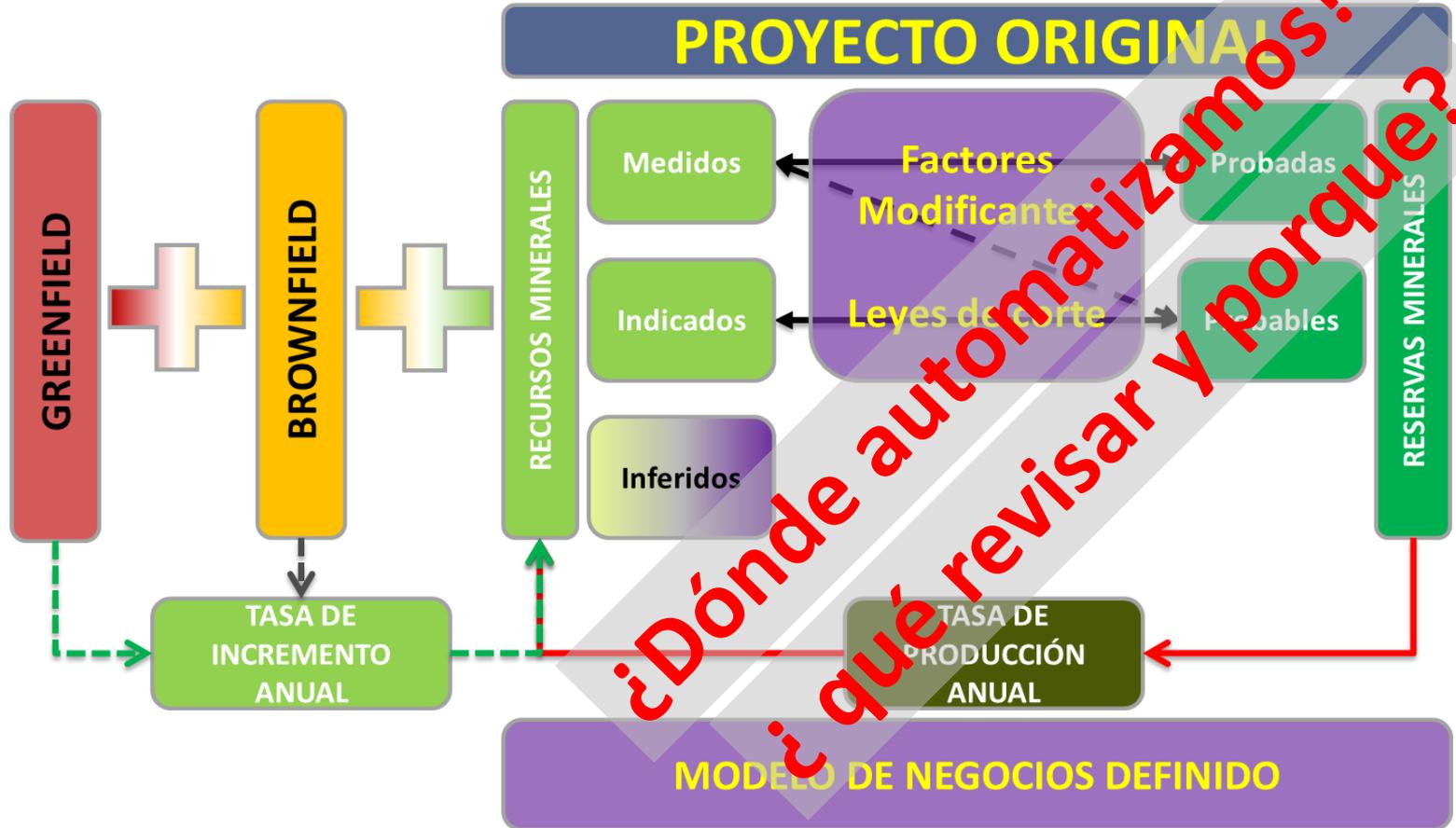


Proceso Automatizado, ciclo de ACC

Requerimientos mínimos de procesos automatizados (algoritmos heurísticos).



Modelo de Negocio Minero



Modelo de Negocio Minero

¿Dónde automatizar, que revisar y porque?

- **Estimación de Recursos y Reservas Minerales:** Existen procesos rutinarios que consumen tiempo y pueden correr en máquinas suplementarias, liberando a los profesionales y sus equipos computacionales. Sin embargo, se deberían documentar los procesos que son resueltos en macros o script, estos documentos no corresponden a una impresión de la secuencia de comandos utilizados en un software determinado, la **transparencia** se debe reflejar en una **adecuada documentación** que permita al dueño optar por utilizar el proceso diseñado en la plataforma que en su momento seleccione.
- La documentación detallada de los procesos genera siempre confianza en los inversionistas que evalúan el financiamiento de nuestros proyectos.
- **Clasificación de Recursos:** Este proceso es relevante en términos del valor de los activos, el mismo deposito tiene una mayor valor si la proporción de Recursos Minerales Medidos e Indicados es alta. Es bastante usual encontrar sofisticados criterios de clasificación de recursos que utilizan procesos automatizados, que luego de hacer una revisión exhaustiva de la secuencia de comandos y cálculos se detectan inconsistencias conceptuales profundas.

Modelo de Negocio Minero

¿Dónde automatizar y porque?

- **Operación Mina y Procesamiento de minerales:** Control de Proceso y Sistemas de Gestión Integrada en línea. La integración es un desafío para la industria, si bien actualmente existen una serie de sistemas de automatización que monitorean en línea las plantas de procesamientos de minerales. Por otro lado, para los procesos de la mina esto no se materializado de forma eficiente.
- De hecho, los sistemas de gestión de flotas ofrecen una serie de resúmenes de KPI's para los procesos relativamente integrados, a decir carguío, transporte y chancado. No obstante lo anterior, se desconocen los algoritmos utilizados para los cálculos de los KPI's. Aún más cualquier ajuste de la configuración de las grandes plataformas orientadas a ampliar las oportunidades de gestión pueden resultar complejas y de alto costo. Sin embargo, el desafío es conseguir sistemas de tiempo real integrados que soporten la toma de decisión temprana.

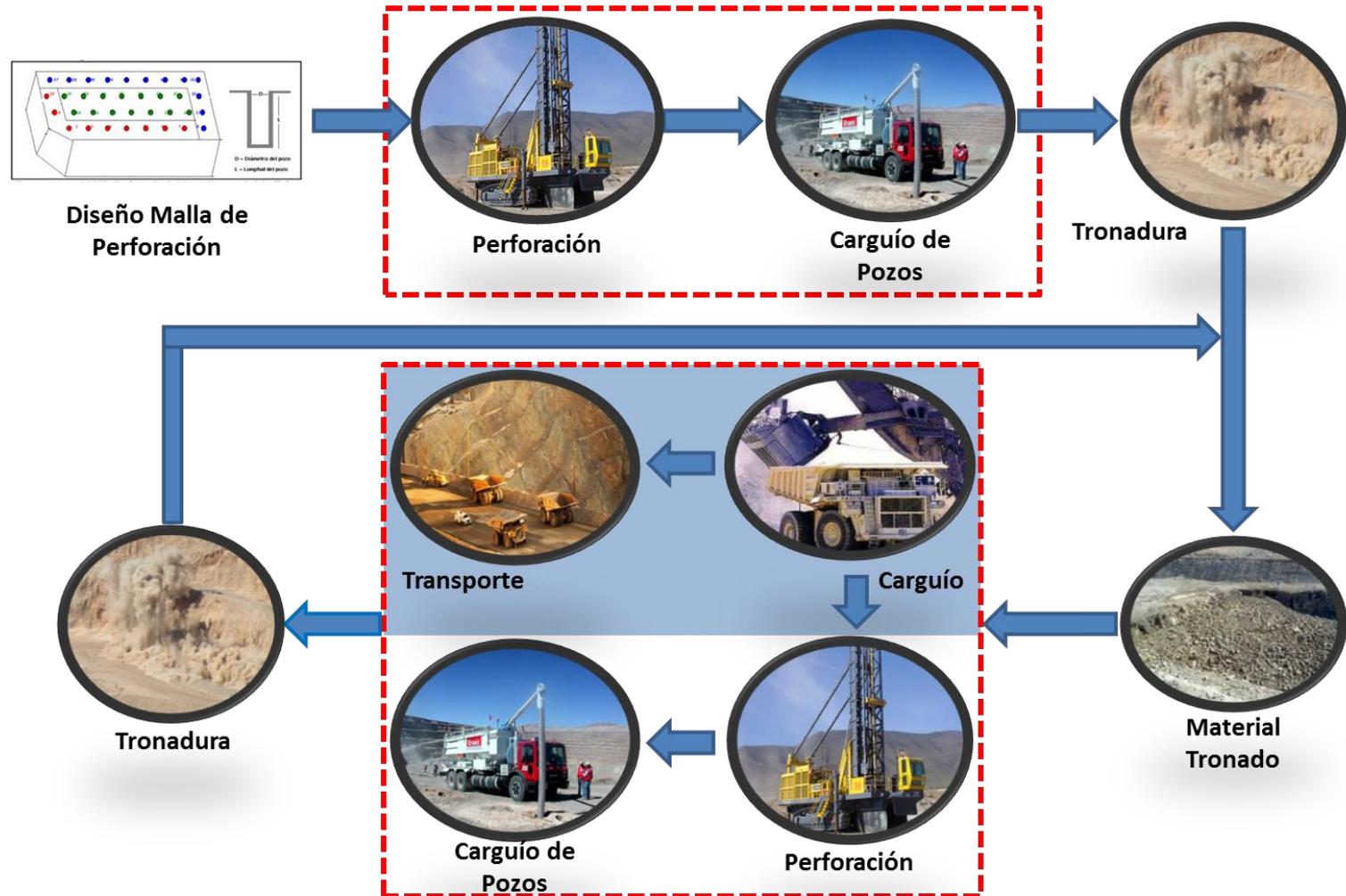
Automatización de Gestión en Línea

IDEA de un modelo de procesos mineros - Estudio del sistema real



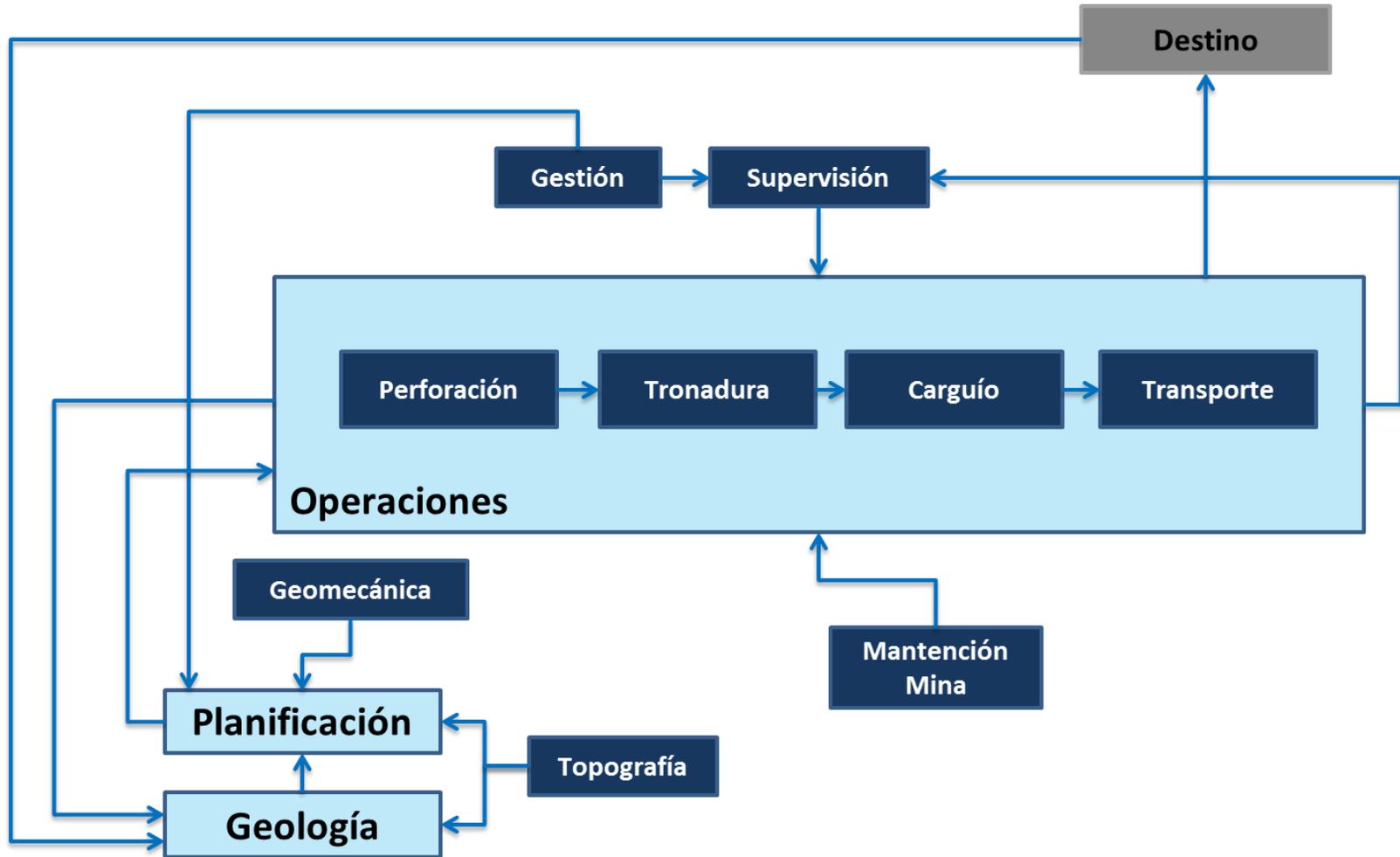
Automatización de Gestión en Línea

IDEA de un modelo de procesos mineros - Estudio del sistema real



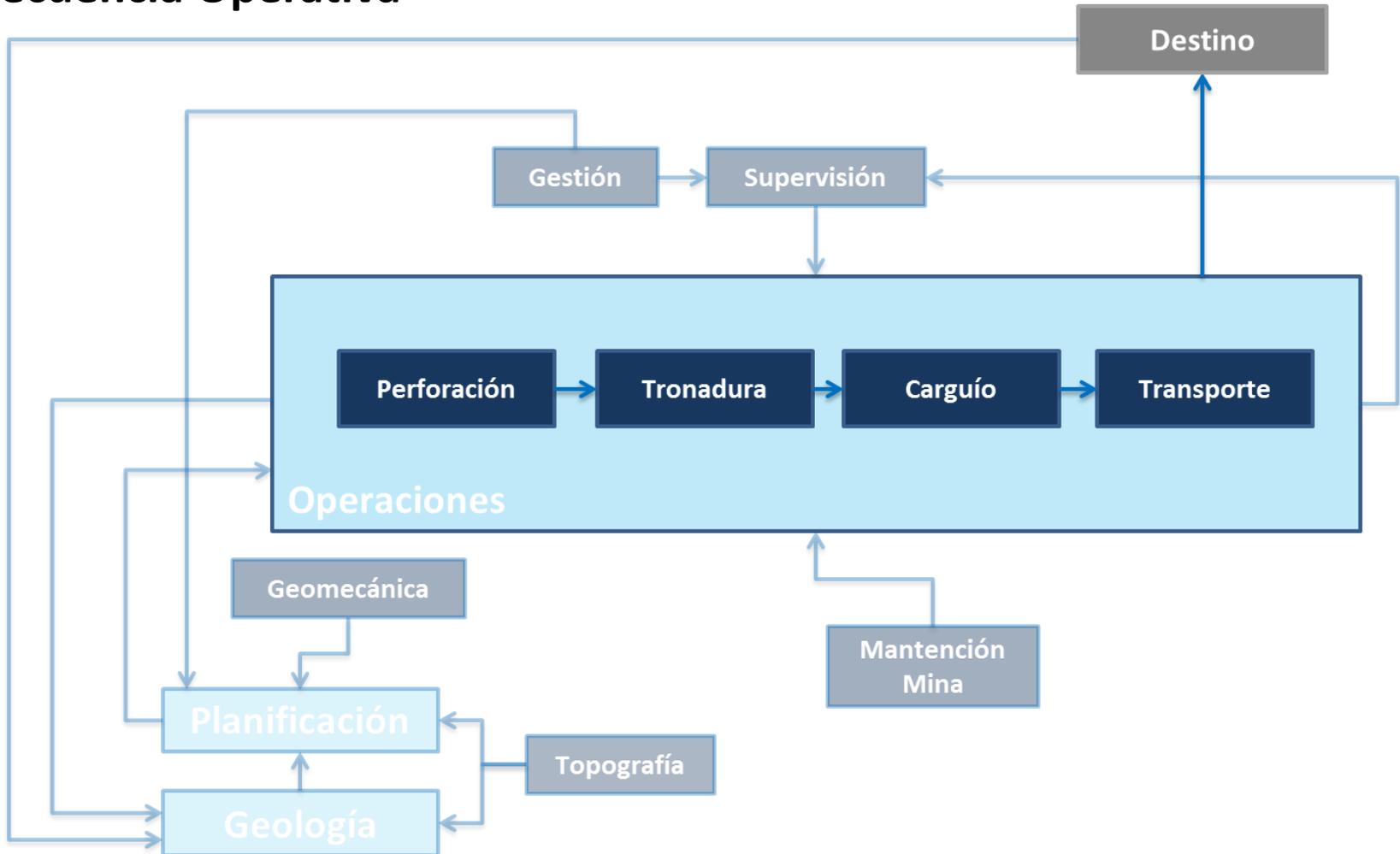
Automatización de Gestión en Línea

Secuencia Productiva



Automatización de Gestión en Línea

Secuencia Operativa



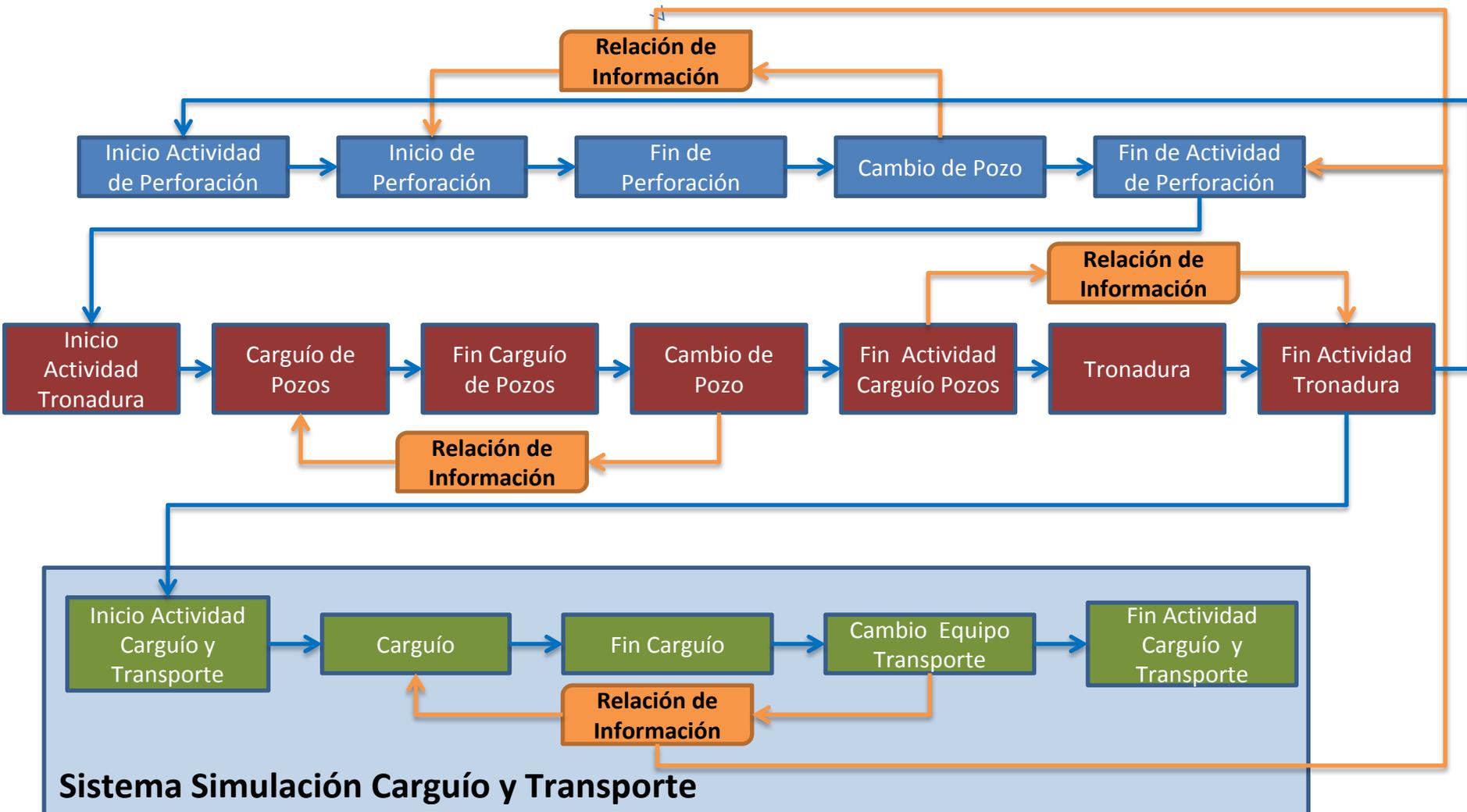
Automatización de Gestión en Línea



Secuencia operativa - Flujo único de material



Secuencia operativa real – Procesos simultáneos



Clasificación de tiempos

Índices operacionales automáticos

Horas totales (HT)			
Horas disponibles (HD)			Mantenimiento (M)
Horas de operación (HO)		Reserva + Pérdidas programadas (RP)	
Horas efectivas (HE)	Pérdidas operacionales (PO)		

Error de Clasificación de tiempos => error de índices medios

- Disponibilidad física (DF)

$$DF = \frac{HD}{HT} \times 100$$

- Factor operacional (FO)

$$FO = \frac{HE}{HO} \times 100$$

- Utilización (UT)

$$UT = \frac{HO}{HD} \times 100$$

- Utilización efectiva (UE)

$$UE = \frac{HE}{HT} \times 100$$

Clasificación de tiempos

Índices operacionales automáticos

Horas totales (HT)		
Horas disponibles (HD)		Mantenimiento (M)
Horas de operación (HO)	Reserva + Pérdidas programadas (RP)	
Horas efectivas (HE)	Pérdidas operacionales (PO)	

Error de Clasificación de tiempos => error de índices medios

- Rendimientos

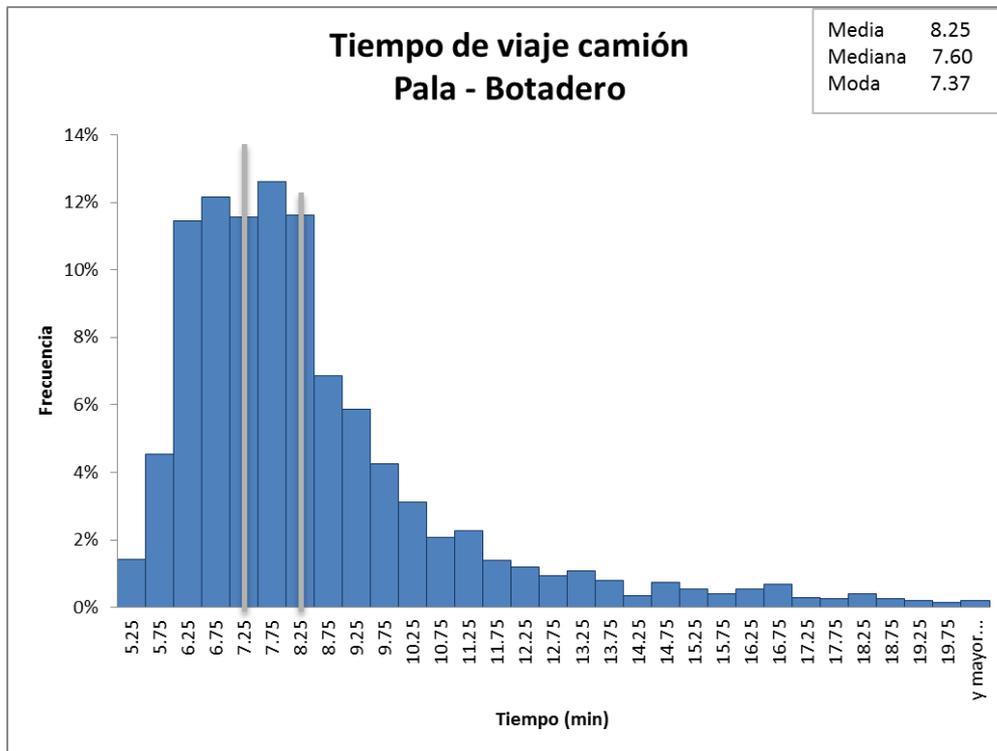
$$\text{Rendimiento efectivo} = \frac{\text{toneladas}}{\text{horas efectivas}} = \frac{\text{producción}}{\text{HE}}$$

$$\text{Rendimiento operativo} = \frac{\text{toneladas}}{\text{horas operativas}} = \frac{\text{producción}}{\text{HE} + \text{PO}}$$

Clasificación de tiempos

Problemática

- La siguiente distribución corresponde al tiempo de traslado de un camión, datos reales proyecto de gran minería:



Impactos de usar la media automática

- Sobre-estimación del tiempo de viaje.
- Sub-estimación del rendimiento de los camiones.
- Sobre-estimación de flota de transporte requerida.
 - Aumento de congestión de rutas de transporte
 - Mayor saturación en palas
 - Aumento de CAPEX y OPEX

Clasificación de tiempos

Problemática

- Un análisis riguroso del resultado anterior muestra que:
 - Los estadígrafos de tendencia central no necesariamente representan el comportamiento del KPI en estudio (tiempos, velocidades, factor de carga, etc).
 - Los datos base deben ser analizados cuidadosamente, en la mayoría de los casos provienen de un sistema de gestión de despacho. Usualmente estos sistemas son impactados por el factor humano (codificación de status), lo que puede inducir a errores. Por ejemplo, el operador olvida/omite/erra en cambiar el estado del equipo.
- Existen procedimientos que permiten capturar la norma de comportamiento del KPI, según su distribución de datos:
 - Caracterización mediante histograma, utilizando alguna metodología como Montecarlo

Clasificación de tiempos

Impacto en la planificación

- En consecuencia, el uso de los valores medios en una serie de indicadores (KPI's) requeridos para los planes mineros, no es garantía que ellos sean representativos de los resultados de la operación, dado lo anterior, y con el objetivo de aumentar el nivel de certeza de las estimaciones del plan se sugiere aplicar simulación para generar los KPI's en configuraciones de la mina distintas.
- La diferencias presentes en la clasificación de tiempos, por ejemplo en los sistemas de recolección de información, impactan directamente en la efectividad de los índices operacionales, el cálculo de rendimiento y con ello la cantidad de flota requerida.
- La clasificación de los tiempos es adecuada a las necesidades de cada operación y a la estrategia de control de gestión que resulte más eficiente para la mina. No existe un estándar en minería que permita su directa comparación con otras compañías mineras.

Clasificación de tiempos



Conclusiones

- Los procesos mineros muchas veces ponen el foco en el promedio de las variables.
- En el ciclo de estimación no hay control de procesos de ejecución automatizados
- Los profesionales competentes deben poner atención en los cálculos y estimación intentando detectar si existe una consistencia conceptual base en ellos.
- No existe documentos detallados de los procesos automatizados.
- Se debe ser exigente en el control de los resultados de los procesos provenientes de macro o script, dado que usualmente estos son usados para resolver casos particulares.
- Los profesionales competentes deben exigir una adecuada documentación de procesos y subprocesos al momento de auditar, sean estos realizados por procesos automáticos o no.

Recomendaciones

- Se sugiere profundizar y abordar el tema de los protocolos para cada uno de los procesos que se automatizan y un manual de aplicación.
- Se sugiere implementar y documentar en sus reportes validaciones/análisis focalizadas a mostrar la consistencia del “Estimación de leyes y Clasificación de Recursos”.
- Se sugiere implementar sistemas de seguimiento en línea y control de procesos, en especial aquellos automatizados. Se sugiere que los procesos automatizados siempre sean desarrollados por profesionales con experiencia y un nivel de usuario alto en la plataforma en cuestión. Si se requiere apoyo externo, primero llamar a profesionales competentes y expertos en el uso de un determinado software.
- Optimizar la aplicación de comandos eficientes que generen el efecto esperado para la automatización.