

# Simulación de Naves para la mantención de Equipos

Proyecto: **Nueva Andina Fase II – Nodo 3500**

Cliente: **Codelco-División Andina**

Elaborado por : **Simula UC**

Diciembre de 2011



Simula UC



# Contenidos de la Presentación

1. Presentación
2. Descripción del Problema
3. Modelación
4. Resultados
5. Conclusiones



# 1. PRESENTACIÓN

Quiénes somos – Simula UC

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

## 3. MODELACIÓN



# Simula UC

## Quiénes somos y qué hacemos

- Departamento especializado de **DICTUC S.A.**
- Desarrollo de soluciones de **simulación y optimización**
- Desarrollo de Herramientas, Estudios y Evaluaciones

*“Apoyamos la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre con herramientas avanzadas de investigación operativa”*

### Consultoría

- Desarrollo de aplicaciones
- Estudios y evaluaciones

### Docencia

- Cursos de ingeniería

### Investigación

- Memorias de Título
- Tesis de Magíster



1. PRESENTACIÓN

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Dimensionamiento del taller para mantenencias

3. MODELACIÓN

4. RESULTADOS

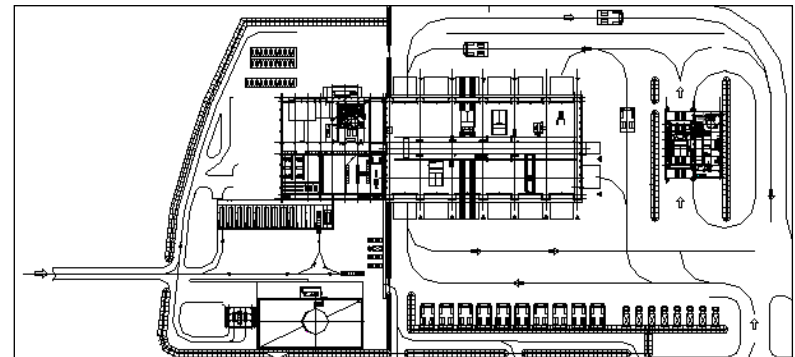


# Descripción del Problema

## Proyecto Nueva Andina II

### Expansión de División Codelco Andina

- Aumento de 94 kTon/ día → 244 kTon /día
- Nueva Infraestructura, entro otros:
  - Barrio Cívico
  - Bodegas de almacenamiento
  - Estación de Chancado
  - **Nave para el lavado de vehículos**
  - **Taller de neumáticos**
  - **Taller de mantenimiento de vehículos**



# Descripción del Problema

## Dimensionamiento del taller para mantenencias

- A partir de un análisis porcentajes de disponibilidad y tiempos promedio de permanencia
  - Esta estimación no consideró variabilidad en los tiempos de falla, mantención y reparación. Considera un 100% de utilización para cada nave.
- Según *benchmark* de la industria, se decidió ampliar este número a 12 naves (una nave por cada 7 equipos aprox.)

10  
NAVES



12  
NAVES

- 
- Espacio disponible para construir las instalaciones es muy reducido.
  - Taller debe atender correctamente los requerimientos de los vehículos
  - **De lo contrario disminuye el desempeño de la operación minera**

**Necesidad de  
validar el  
diseño**

# Descripción del Problema

## Objetivos del Estudio

El objetivo principal es:

*Determinar el impacto que tiene el taller (configuración) en el cumplimiento del plan minero, y con esto, encontrar el mejor diseño factible.*



# Descripción del Problema

## Definición de escenarios a estudiar

- Se evaluaron los siguientes ESCENARIOS:
  - **Caso *Benchmark* (50 naves)**
  - **10 Naves**
    - Flota propuesta por Codelco
  - **12 Naves**
    - Flota propuesta por Codelco
    - Flota propuesta por Codelco + **2, 4 y 10 Camiones**
    - Mejora en la gestión (reducción de tiempos en el taller)
  - **14 Naves**
    - Flota propuesta por Codelco
    - Flota propuesta por Codelco + **2, 4 y 10 Camiones**
    - Mejora en la gestión (reducción de tiempos en el taller)

1. PRESENTACIÓN

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

# 3. MODELACIÓN

Construcción del modelo de simulación

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES



# Modelación

## Levantamiento de Información

Dato	Contraparte	Detalle
<b>Plan minero para expansión Andina 244 (palas, camiones y equipos de apoyo), según planificación de Octubre 2011</b>	Codelco	Información del tamaño y composición de flota, y de los requerimientos de equipos en la faena.
<b>Historia de fallas de camiones y equipos de apoyo</b>	Komatsu	Reunión sostenida en dependencias de la empresa. Presentación y planilla Excel.
<b>Tiempos promedio entre fallas de equipos para un mes de operación</b>	Komatsu	Reunión sostenida en dependencias de la empresa. Presentación y planilla Excel.
<b>Plan de mantenciones de equipos (camiones y equipos de apoyo)</b>	Komatsu	Reunión sostenida en dependencias de la empresa. Presentación y planilla Excel.
<b>Disponibilidad histórica de camiones y equipos de apoyo</b>	Codelco	Estimaciones obtenidas en reunión con José Zapata y Alfredo Sánchez (Codelco Andina).
<b>Tiempos de lavado y postura de cadenas</b>	Codelco	Discusión en reunión con José Zapata (Codelco).

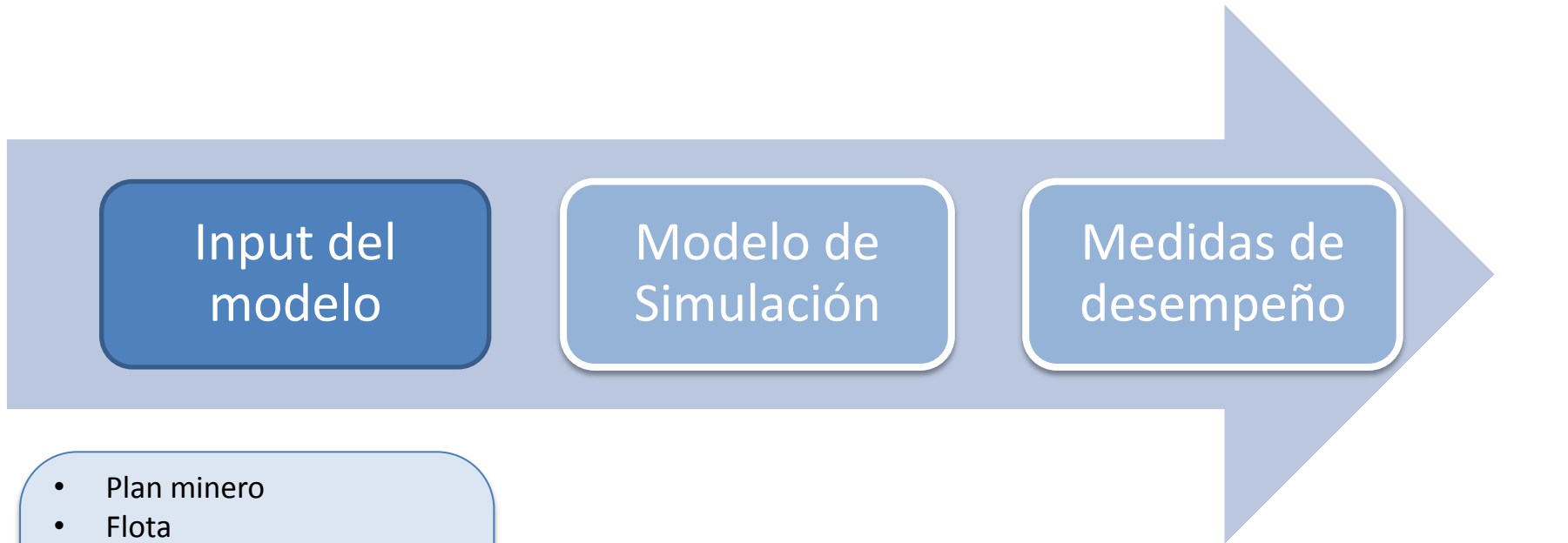
# Modelación

## *Input y Output del modelo*



# Modelación

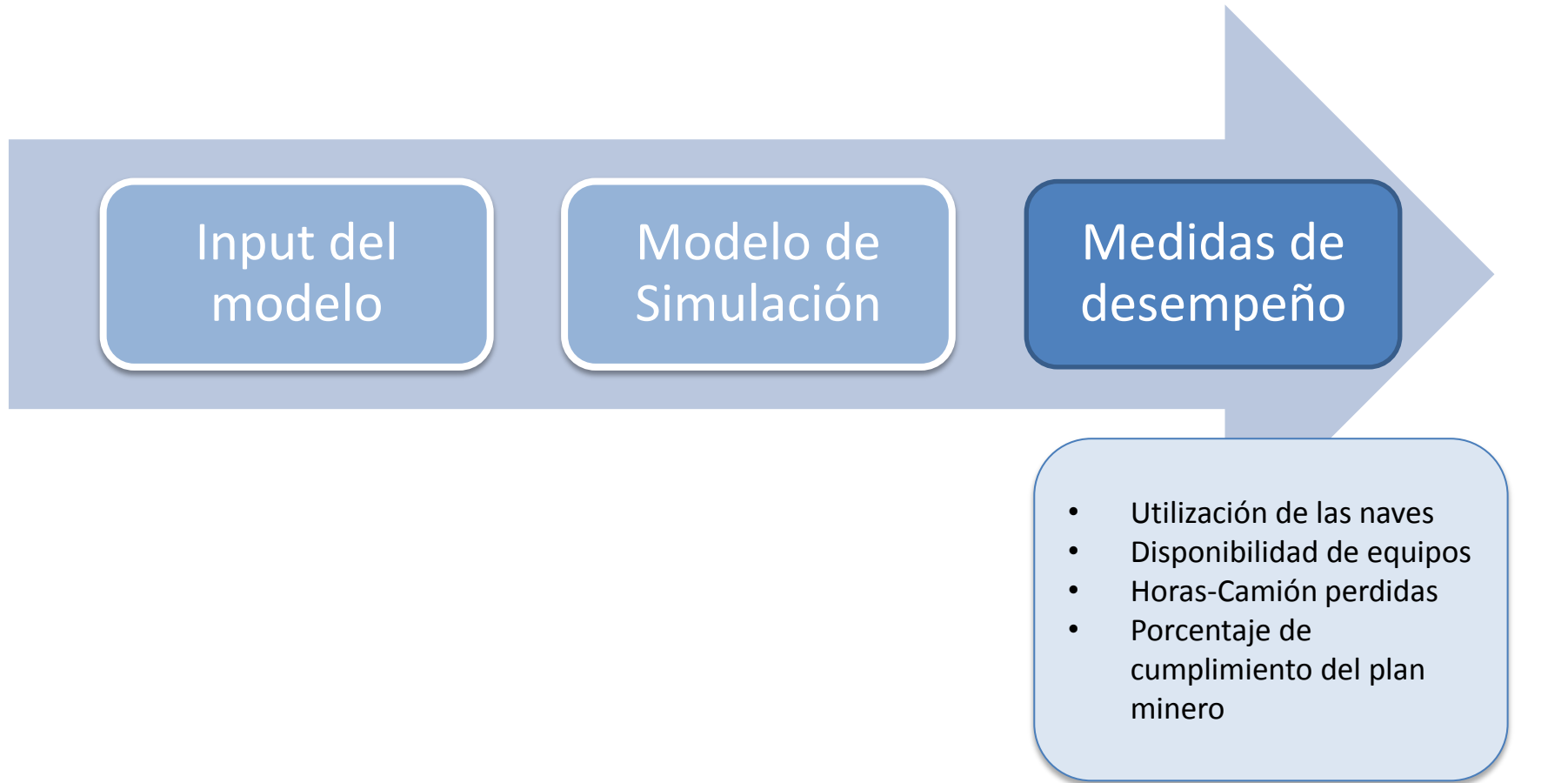
## *Input y Output del modelo*



- Plan minero
- Flota
- Plan de mantenimiento
- Tiempo entre fallas
- Tiempos de mantención y reparación
- **Configuración del Taller**
  - **Nº de Naves**

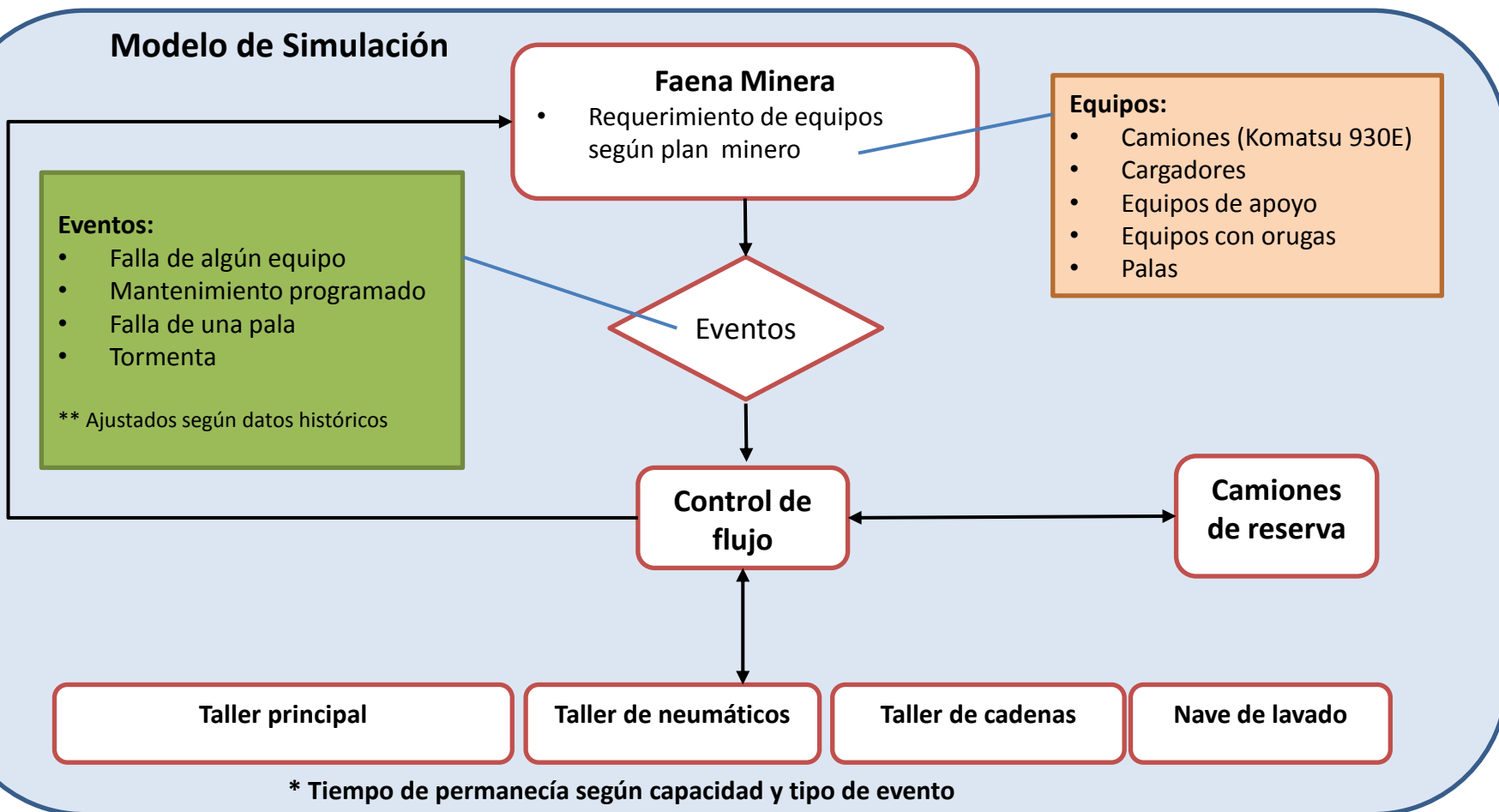
# Modelación

## *Input y Output* del modelo



# Modelación

## Lógica del modelo



# Modelación

## Configuración y *set-up* del modelo

- Horizonte de simulación:  

Período 2019-2037
- Equipos comienzan la operación con distinta antigüedad.
- Taller comienza año 2019 en un régimen operativo normal (no vacío)



2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

3. MODELACIÓN

## 4. RESULTADOS

Resultados y análisis para cada escenario

5. CONCLUSIONES



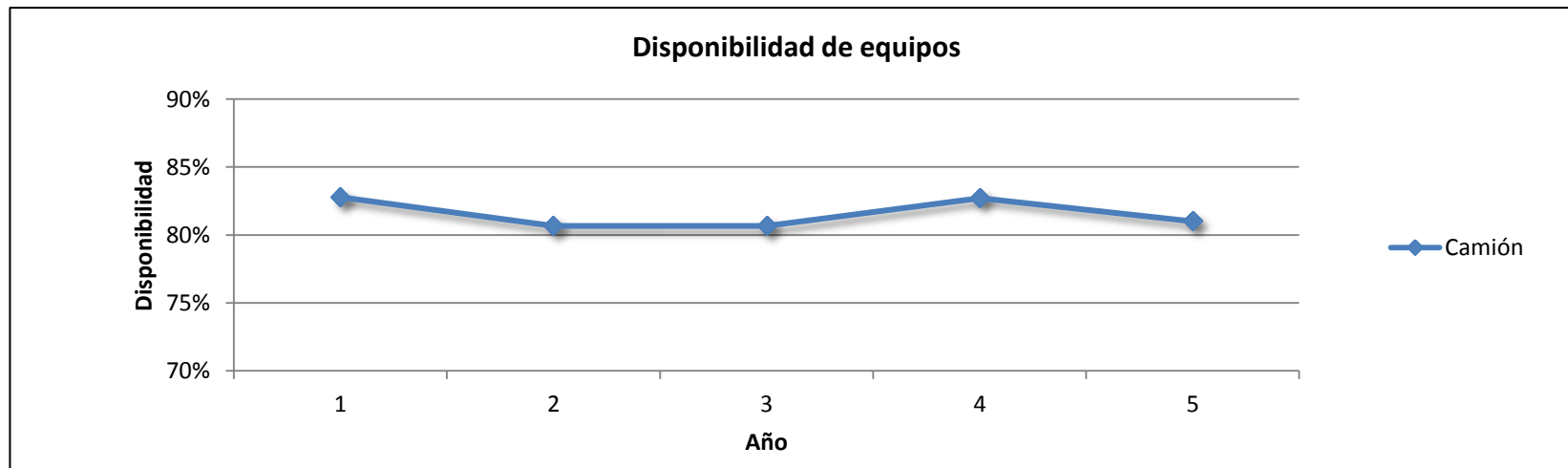
# Resultados

## Validación y Verificación del modelo

### Comparación con modelo actual:

- 20 equipos principales
- 20 equipos de apoyo
- 7 naves

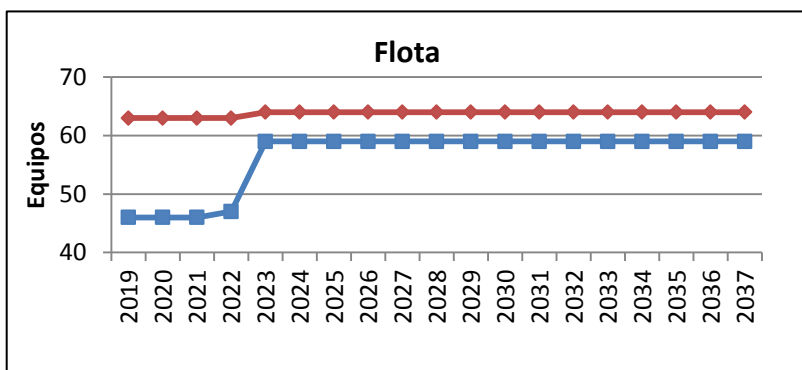
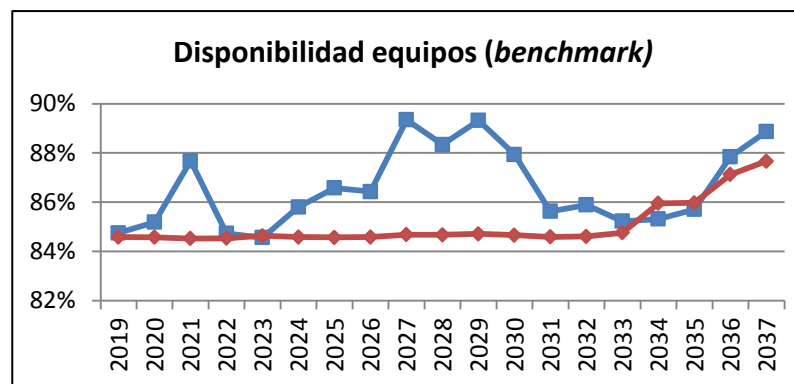
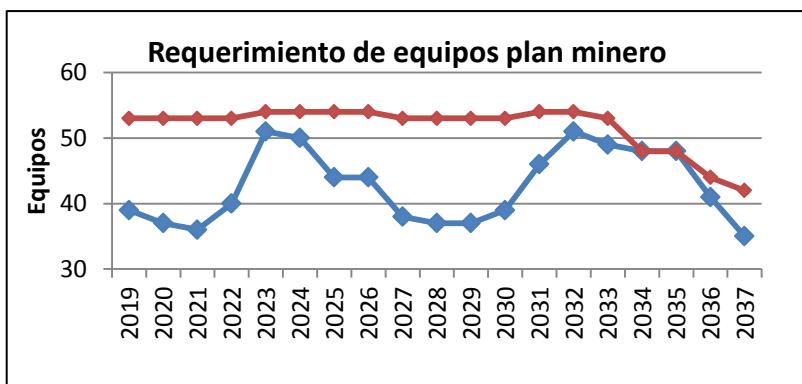
Situación Actual	Simulación
81%	81,3%



# Resultados

## Validación y Verificación del modelo

### Consistencia



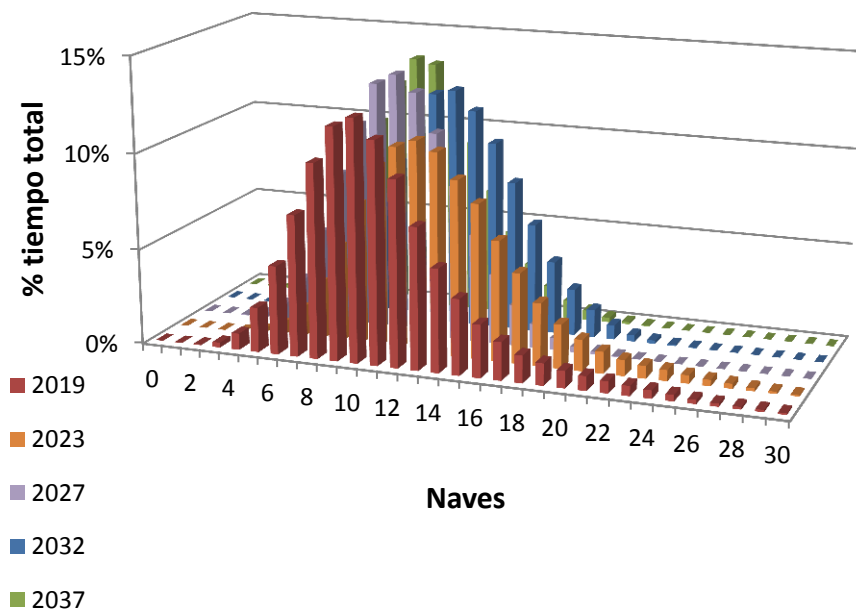
- Camiones
- Equipos de Apoyo

# Resultados

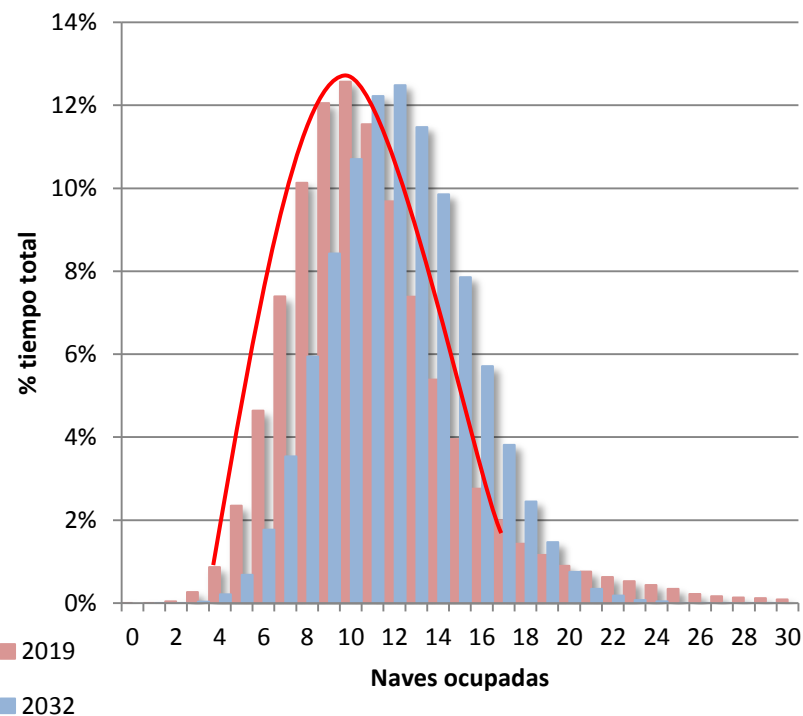
## Análisis de Resultados

### Benchmark: Taller con 50 naves

Utilización de naves



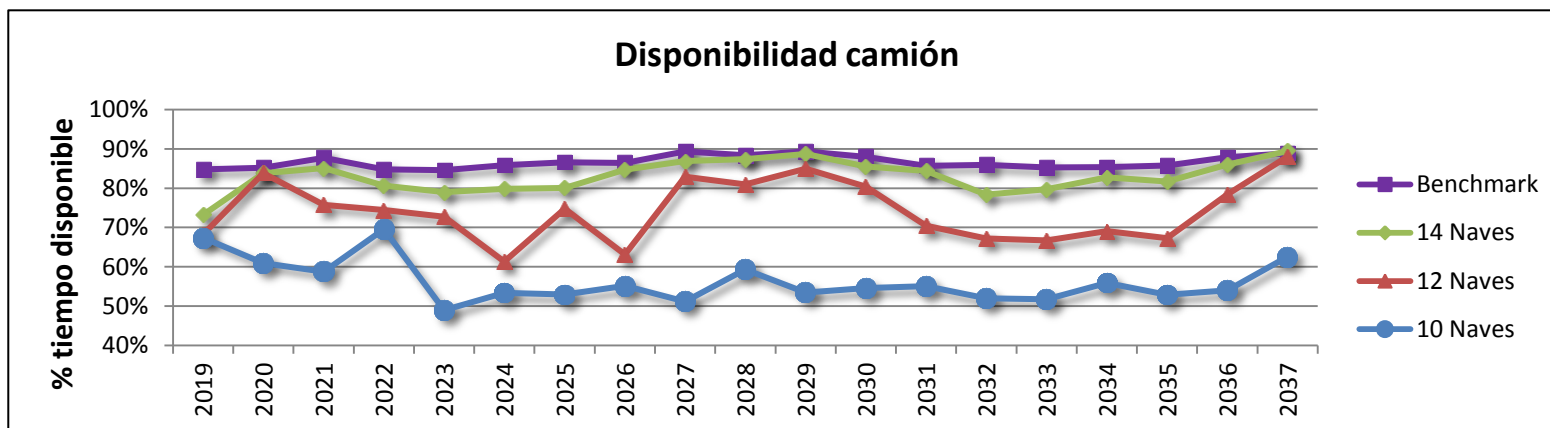
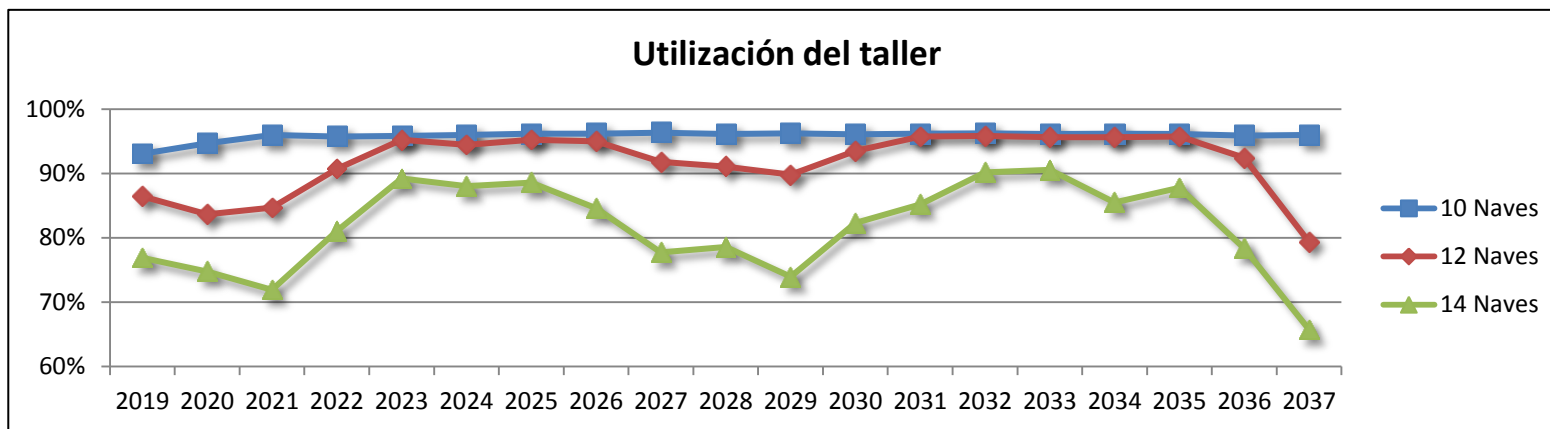
Utilización de naves (benchmark)



# Resultados

## Análisis de Resultados

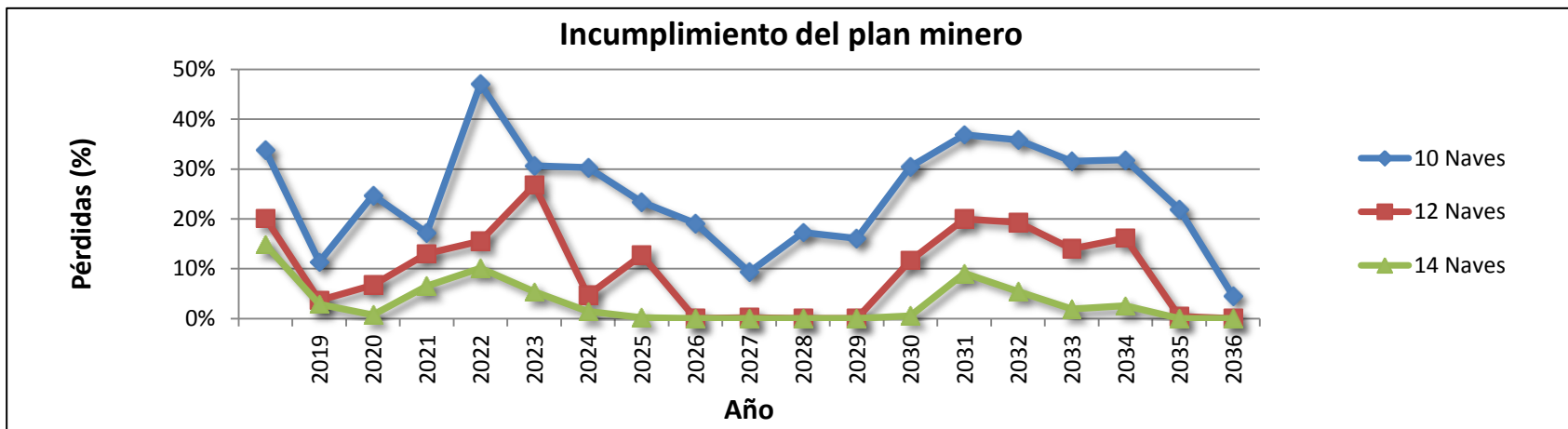
### Taller con 10,12 y 14 naves



# Resultados

## Análisis de Resultados

### Taller con 10,12 y 14 naves



	HC	Pérdidas	Cumplimiento	Disponibilidad		
	por	por	por	por		
	año	año	año	año		
<b>Benchmark</b>	<b>1%</b>	3.453,0	99,0%	87%		
<b>Pérdida</b>	<b>10%</b>	84.989,0	75,1%	56%		
<b>Pérdida</b>	<b>12%</b>	34.463,0	90,3%	75%		
<b>Pérdida</b>	<b>14%</b>	11.239,0	96,8%	83%		

?

# Resultados

## Análisis de Resultados

### Taller con 10,12 y 14 naves

Disponibilidad

56% → 75%

75% → 83%

Cumplimiento

75% → 90%

90% → 96,8%

10 naves

12 naves

14 naves

+ US \$ 100 MM/ año

+ US \$ 46 MM/ año

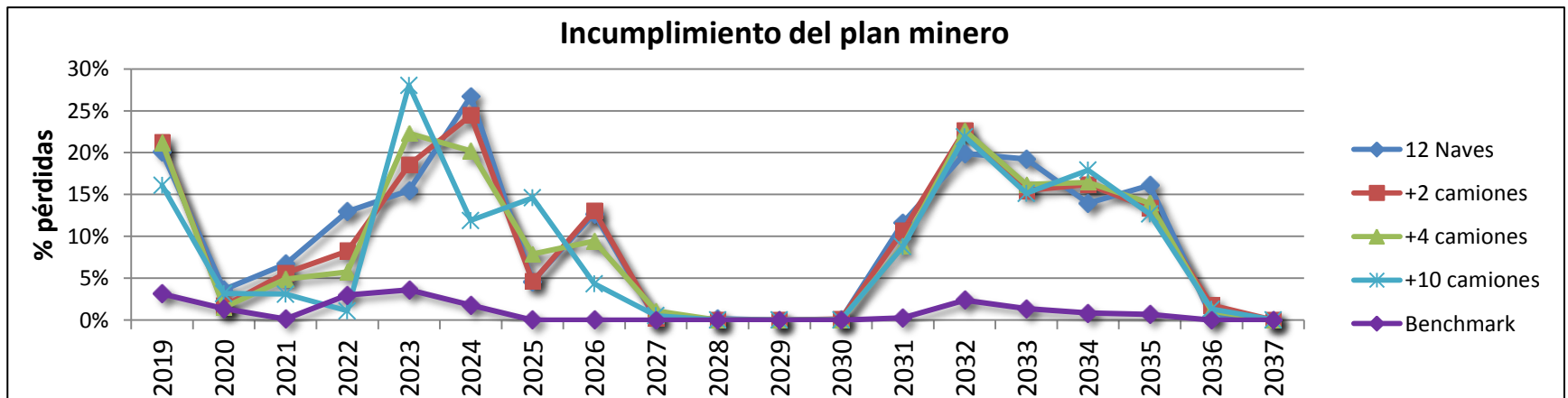
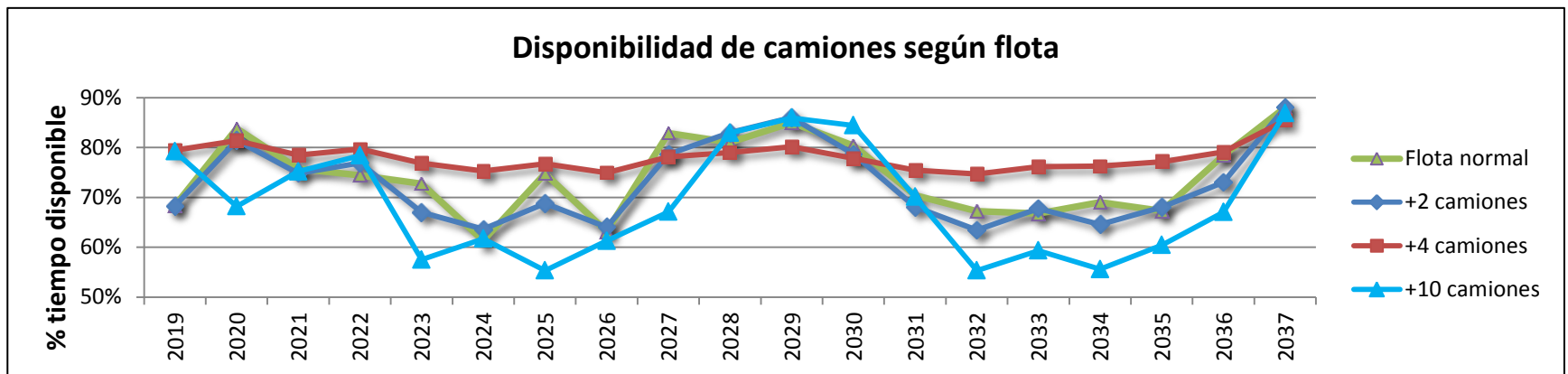
+ 2 naves (US \$16 MM)

+ 2 naves (+US \$16 MM)

# Resultados

## Análisis de Resultados

Se puede compensar la falta de naves aumentando la flota?

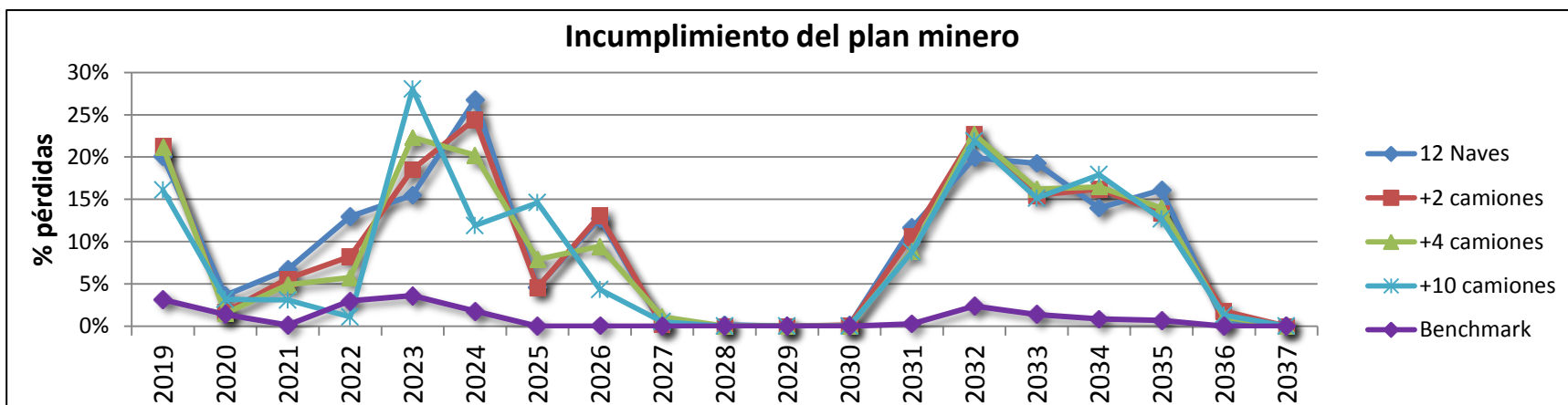




# Resultados

## Análisis de Resultados

Se puede compensar la falta de naves aumentando la flota?



- **La respuesta es NO**

- Se debe descongestionar el taller:

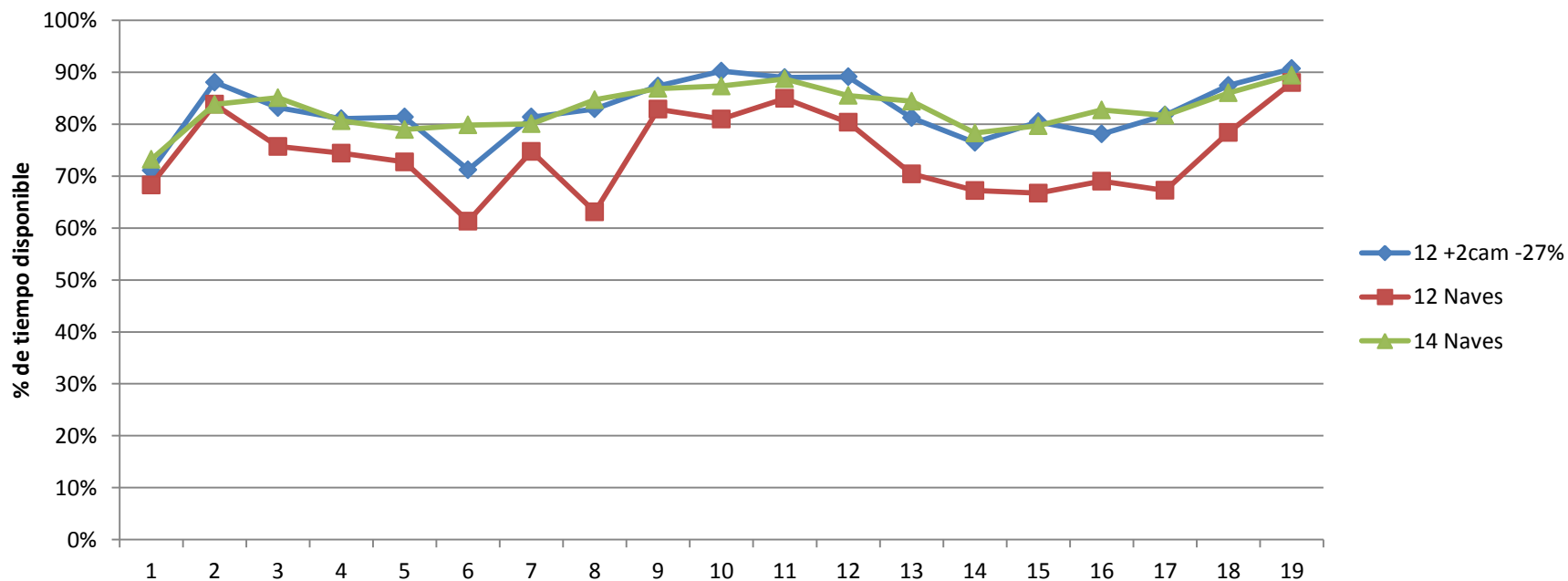
- **Disminuir tasa de fallas y/o tiempos de reparación**
- **Aumentar el número de naves**

# Resultados

## Análisis de Resultados

Que pasa si mejoro las gestión de los equipos (MTBF y MTTR)?

Disponibilidad de Camiones

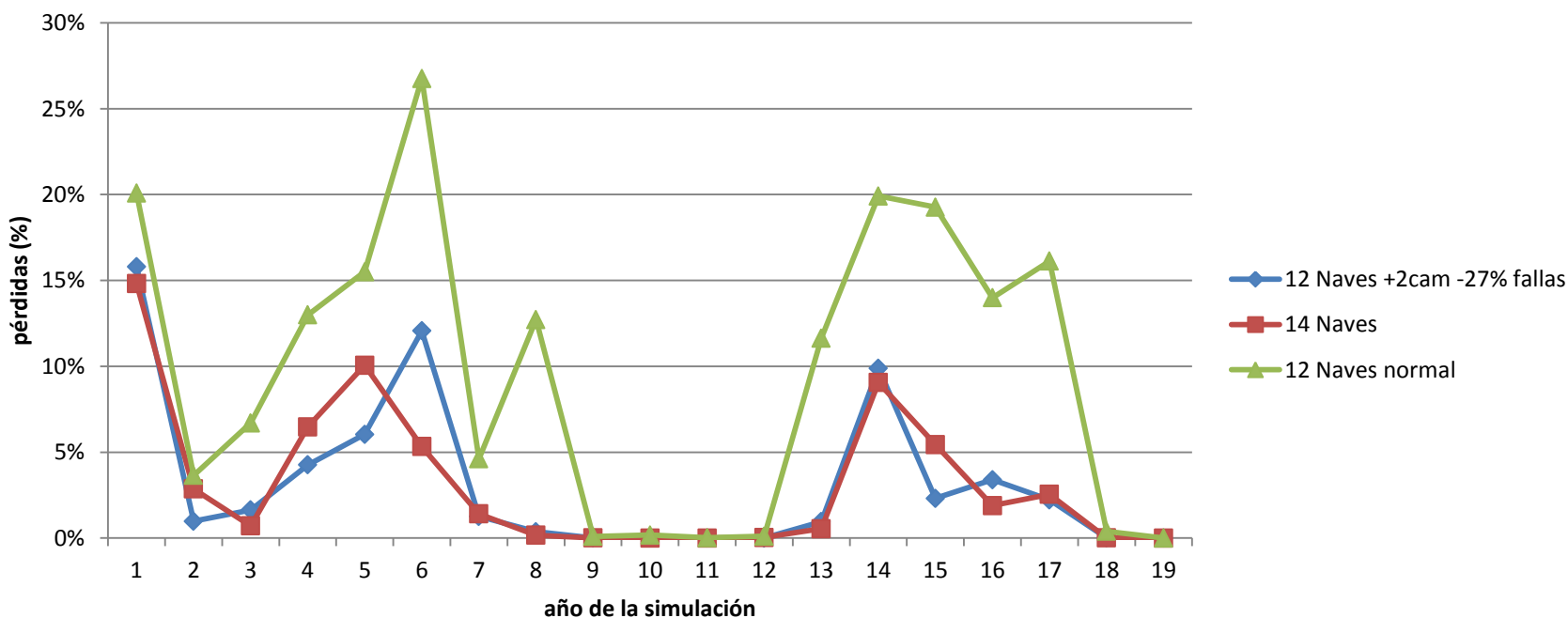


# Resultados

## Análisis de Resultados

Que pasa si mejoro las gestión de los equipos (MTBF y MTTR)?

Incumplimiento del plan minero



3. MODELACIÓN

4. RESULTADOS

# 5. CONCLUSIONES

Recomendaciones finales del estudio



# Conclusiones

## Recomendaciones finales

- Si tomamos el caso del taller con 12 naves, el limitante principal del cumplimiento del plan minero **es el taller** (cuello de botella).
- Si el taller está congestionado, aumentos marginales en la flota de camiones (12 naves + 2 camiones) **no ayudan mejorar el cumplimiento** del plan minero.
- Existen dos opciones principales para descongestionar el taller/mejorar cumplimiento:
  1. **Aumentar tamaño del taller**
  2. **Mejorar gestión (Disminuir tasa de fallas y/o tiempos de reparación)**

# Conclusiones

## Recomendaciones finales

- Aumentar el tamaño del taller de 12 a 14 naves permite reducir las pérdidas por cumplimiento del plan minero en **\$ US 46MM** al año.
- El mismo efecto se puede obtener reduciendo la tasa de fallas en un 27% y agregando 2 camiones adicionales.
- En ambos caso, se estima el cumplimiento del plan minero en un 97%.
- Para obtener un cumplimiento superior al 98%, es necesario combinar alternativas:
  - Aumentar tamaño del taller a 14 naves
  - Disminuir adicional de tasa de fallas

# Extensiones del Modelo

## Trabajo actual

- Simulación de recursos:
  - Mecánicos
  - Eléctricos
  - Soldadores
- Nuevo objetivo:

*Determinar la dotación necesaria de personas para asegurar un estándar de disponibilidad de equipos*
- Modelo Genérico, aplicable a otras faenas

# Simulación de Naves para la mantención de Equipos

Proyecto: **Nueva Andina Fase II**

Cliente: **Codelco Chile**

Elaborado por Simula UC

Diciembre de 2011



Simula UC





# 6. ANEXOS

## Recomendaciones finales del estudio

# Modelación

## Límites y supuestos

1. Las distribuciones de probabilidad de los tiempos entre fallas de equipos y sus correspondientes tiempos de reparación se calibraron para representar la disponibilidad histórica de cada tipo de equipo
2. Los procesos de falla se renuevan en cada reparación, y no dependen directamente de la edad del equipo en cuestión.
3. El mantenimiento se realiza dentro de un rango de tiempo (10%) en torno al instante de mantenimiento indicado por Komatsu
4. No se modela el trabajo de personas en el taller. Se asume que siempre existirán los recursos necesarios para atender los camiones en las naves.

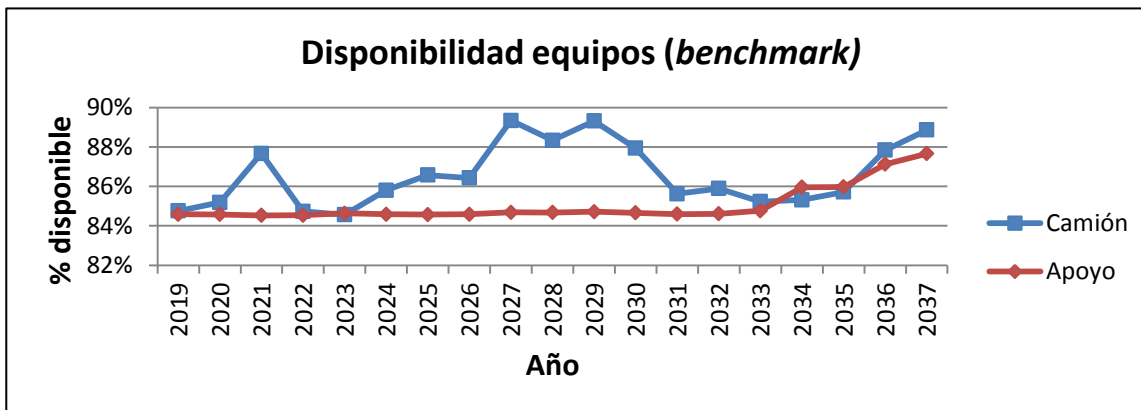
# Resultados

## Análisis de Resultados

### Benchmark: Taller con 50 naves



Cumplimiento promedio: 99%

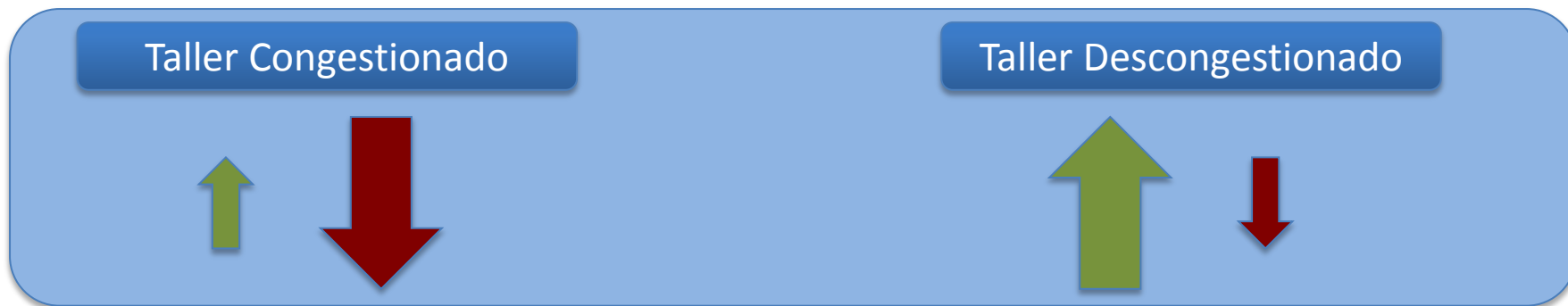
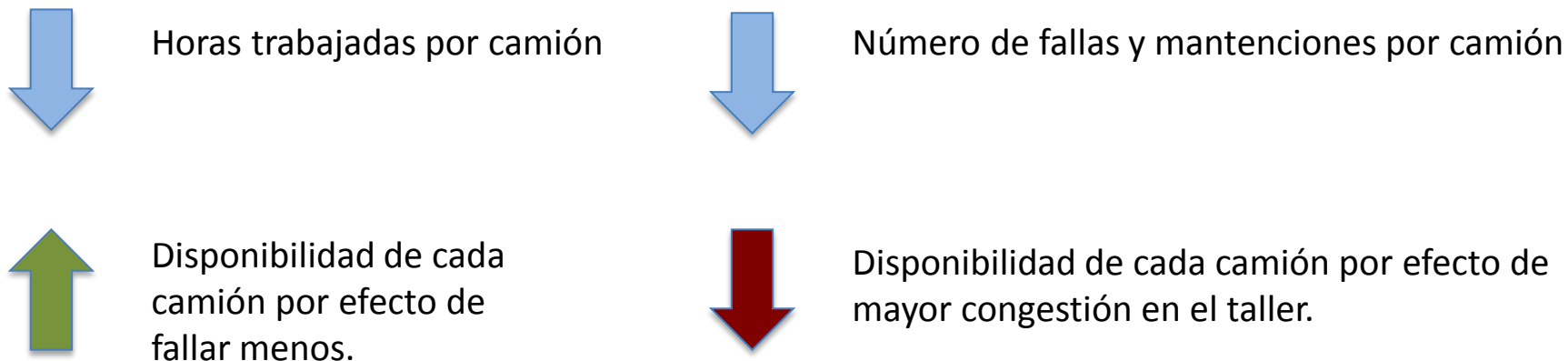


Disponibilidad promedio: 87%

# Resultados

## Análisis de Resultados

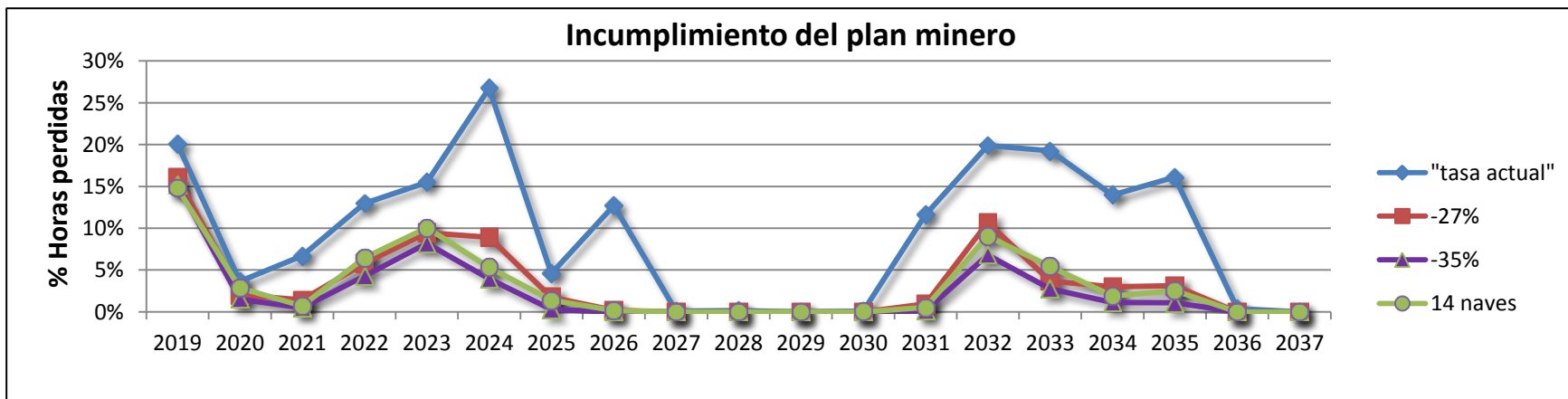
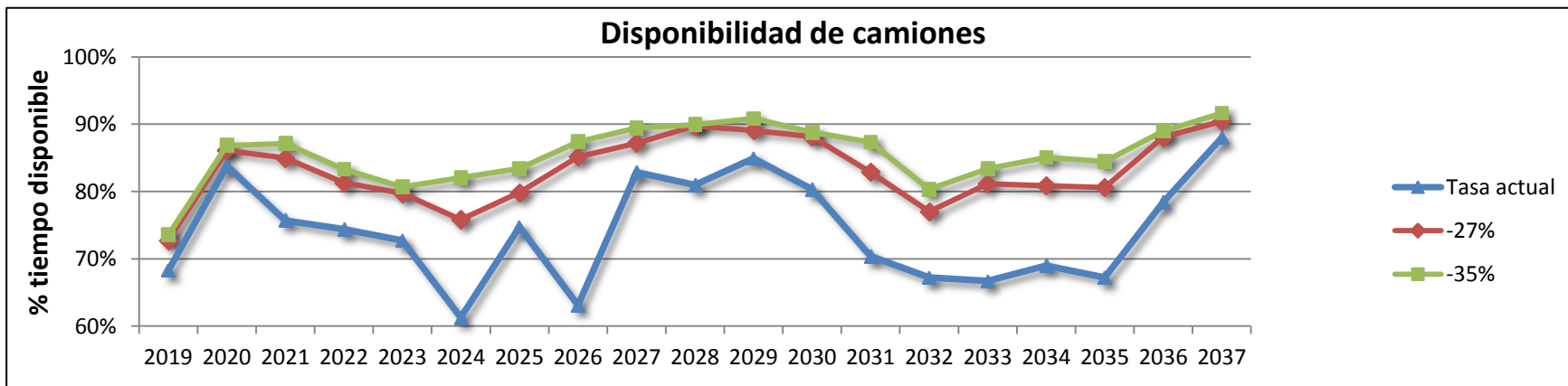
Se puede compensar la falta de naves aumentando la flota? (12 N)



# Resultados

## Análisis de Resultados

### Escenario: Modificaciones en la gestión (12N)



# Resultados

## Análisis de Resultados

### Resumen de escenarios

Naves taller	Equipos adicionales	Var en tasa de fallas	Horas-Camión perdidas	Cumplimiento (%)	Disponibilidad (%)
10	0	0%	84.989	75,1%	57%
12	0	0%	34.463	90,3%	75%
14	0	0%	11.239	96,8%	83%
50	0	0%	3.453	99,0%	87%
12	2	0%	33.412	90,6%	73%
12	4	0%	32.735	90,9%	72%
12	10	0%	30.524	91,5%	70%
12	0	-27%	12.390	96,5%	83%
12	0	-35%	8.364	97,6%	86%
12	2	-27%	11.282	96,8%	84%
14	0	-27%	5.386	98,4%	87%
14	2	0%	8.895	97,4%	83%
14	4	0%	7.820	97,8%	82%

# Modelación

## Levantamiento de Información

### Proceso de Levantamiento

- Reuniones con ejecutivos de **Codelco**
- Reuniones con ejecutivos de **Komatsu**
  
- Revisión de registro histórico de Codelco
- Revisión de documentos adicionales
- Estimaciones y supuestos en base a expertos de Codelco y Komatsu