

Simulación de Variabilidad



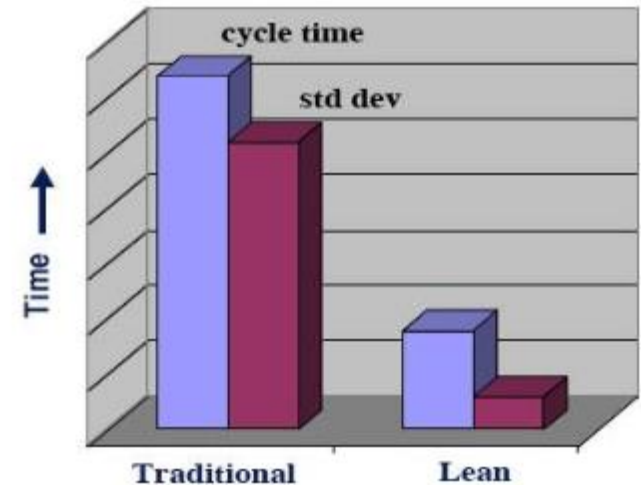
Objetivos de aprendizaje

Al final de este módulo, podrá:

- **Discutir el impacto que tiene la variabilidad en el desempeño de un proceso**

Los impactos de la variación

- **La variación impacta**
 - El tiempo de ciclo y throughput (módulo de cuentas por pagar)
 - El costo de la calidad (módulo de calidad)
 - La capacidad del proceso (módulo Six Sigma)
- **La reducción de la variación en los procesos es un paso clave en la implementación de prácticas Lean**



Datos de liberación de planos de ingeniería pre y post Lean de un importante proyecto de aeronaves

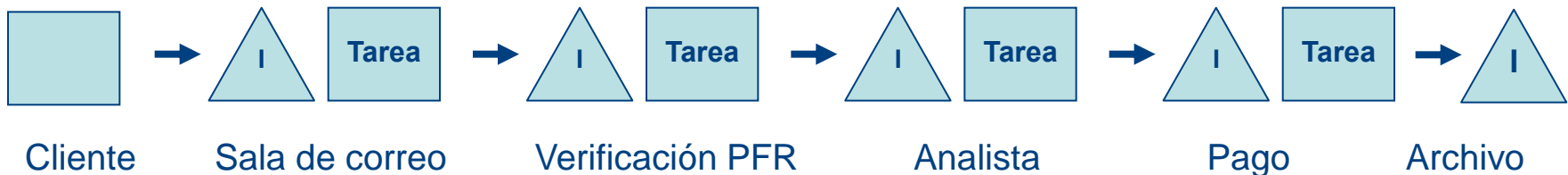
Fuente: Lockheed Martin Corporation

Aprendiendo acerca de la variación

- **En este módulo comprenderemos el impacto de la variación mediante dos simulaciones**
 - **El juego de dados permite vivir la experiencia**
 - **La simulación computacional muestra rápidamente el impacto de los cambios en los procesos**
- **Descubriremos importantes correlaciones entre variación y WIP, tiempo de ciclo, throughput y utilización**
- **Los módulos de Calidad y Six Sigma presentarán herramientas para controlar la variación y su impacto en la capacidad de proceso**

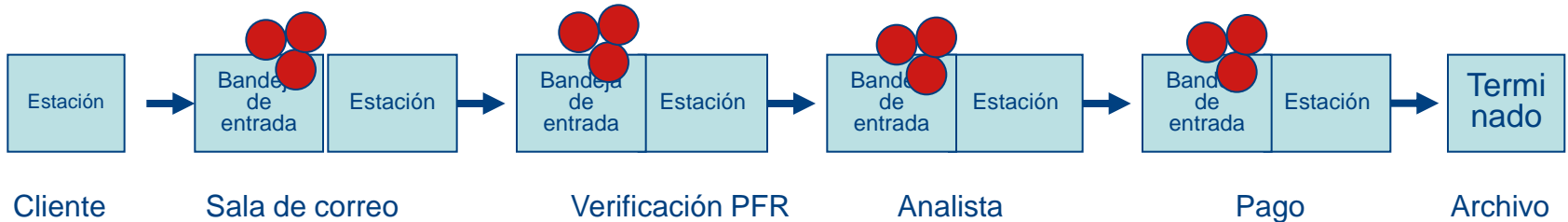
¿Un sistema “perfecto”?

- **Imagine un sistema perfectamente equilibrado, sin re-procesamiento y con la capacidad suficiente para satisfacer la demanda del cliente**
 - Este módulo usa los ejemplos del estudio de caso de cuentas por pagar y/o las simulaciones con Lego®, ¡pero podría ser cualquier sistema!
- **La única imperfección que permitimos es la variabilidad tanto en las entradas como en el proceso**
- **¿Cómo se comporta este sistema? Veamos...**



Preparación de juego de dados

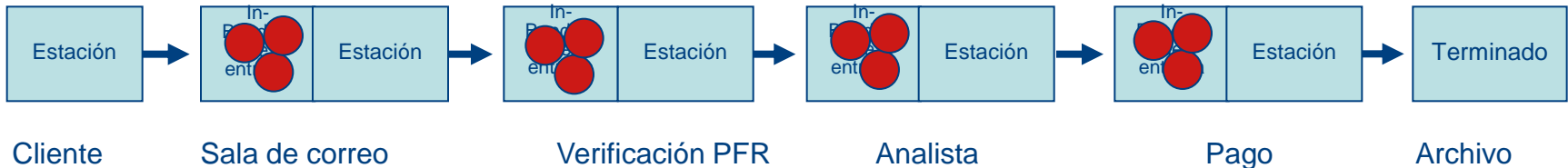
- Sistema de cinco pasos
- En cada estación se encuentra una planilla con hoja de registro y un dado
- Las 4 estaciones intermedias tienen bandeja de entrada, con 3 fichas por bandeja



- **El sistema procesa fichas**
(en cada periodo, mueva una cantidad de fichas de una persona a la siguiente)
- **El lanzamiento del dado determina cuántas fichas se mueven**
- **NO PUEDEN PASAR MÁS FICHAS DE LAS QUE TENGA EN SU CANASTO “DE ENTRADA” AL COMIENZO DE LA RONDA**
- **Veamos en detalle un par de ciclos**

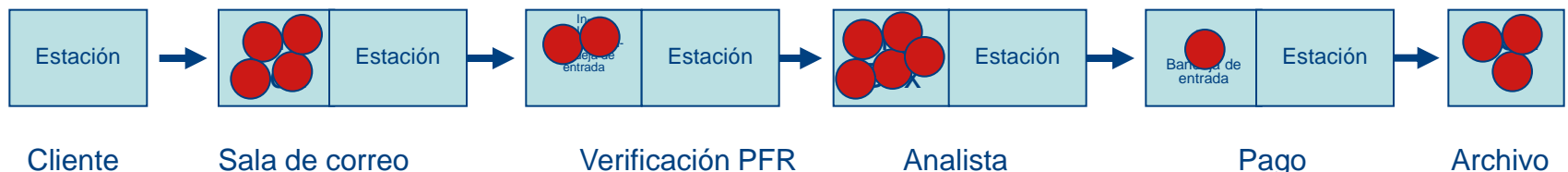
Ejemplo – día 1

Inicio del día



El cliente lanza el dado y obtiene '3', pasa 3 fichas a la sala de correo
 La sala de correo lanza '2', pasa 2 fichas a verificación de PFR
 Verificación de PFR lanza '5', pasa 3 fichas a analista
 El analista lanza '1', pasa 1 ficha a pago
 Pago lanza '6', pasa 3 fichas al archivo

- **Todas estas acciones se producen en forma simultánea**
- **No espere que el resto de los jugadores pasen las fichas antes de tomar las suyas**



Cierre del día

Ejemplo de Registro— Analista

- En cada ronda registra las facturas terminadas y la cantidad de trabajo en proceso (WIP) en la hoja de registro

Del ejemplo

- El Analista al inicio del día 1 tiene un WIP de 3
- Lanza '1' y procesa una factura
- Recibe 3 facturas de la Verificación de PFR y termina el día con un WIP de 5



| DÍA | Facturas terminadas | WIP |
|-----|---------------------|-----|
| | | 3 |
| 1 | 1 | 5 |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |

A Total facturas terminadas

B facturas por día = $A/20$

C Utilización = $B/3.5$

D WIP al cierre

E Tiempo de ciclo estimado = D/B

Planilla cliente

- El cliente registra nuevas facturas de acuerdo al lanzamiento del dado
- Obtiene las facturas terminadas de archivo
- Registra el WIP total sumando todo el WIP o usando el atajo matemático siguiente

Atajo

Trabajo en progreso total (nuevo) = trabajo en progreso total (previo)
 + Nuevos trabajos
 - Trabajos terminados

| DÍA | Nuevas facturas ingresadas al proceso | Facturas terminadas (Archivo - Terminado) | Total WIP |
|-----|---------------------------------------|---|-----------|
| | | | 12 |
| 1 | 3 | 3 | 12 |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | | | |

| | | |
|---|-----------|-----------|
| A Totales | A1 | A2 |
| B Facturas por día = $A1/20$ | | |
| C Utilización = $B / 3.5$ | | |
| D WIP promedio = $A2/20$ | | |
| E tiempo de ciclo promedio = D/B | | |

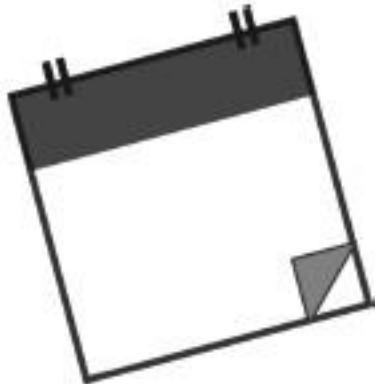
¿Qué *debería* suceder?

- Considere 20 periodos o “días”
- Cada día, se procesan 3,5 fichas en promedio (el promedio de 1, 2, 3, 4, 5, 6)
- Intuitivamente, ¿cuál *debería* ser la producción promedio? ¿En 10 días? ¿En 20?
- ¿Cuál es el tiempo de flujo ideal (transcurrido)?

Veamos qué sucede realmente...

Listos, preparados, ¡jueguen!

Día 20



Contabilidad

- Después de 20 días, cada persona debe sumar las columnas correspondientes para hacer los cálculos en la parte inferior de la hoja de tabulación
- El cliente hace cálculos un poco más complejos (usar calculadora si es necesario)

Tabulemos algunos resultados

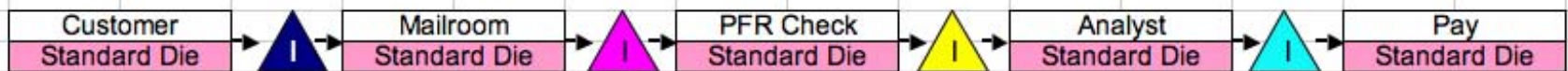
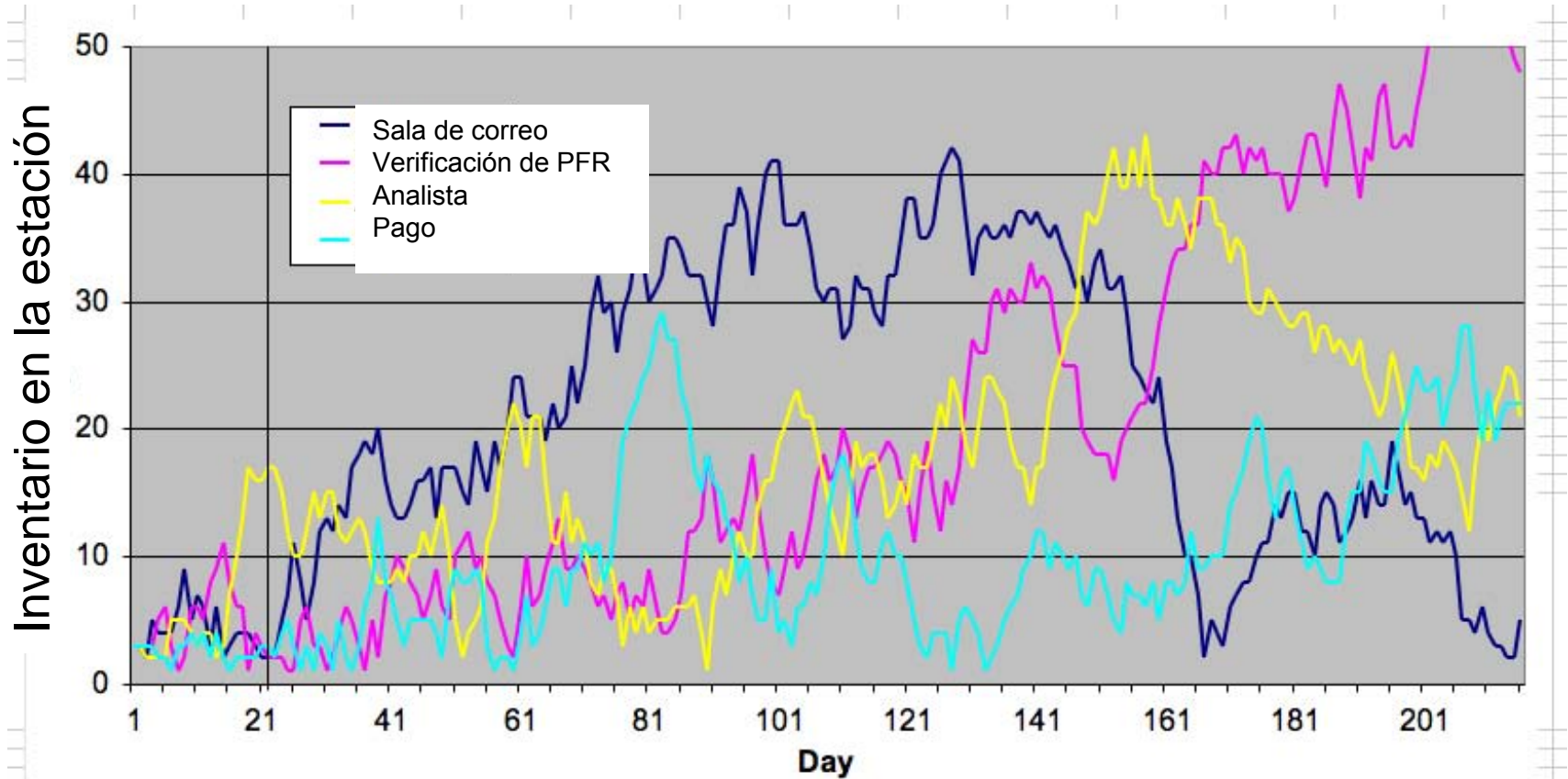
Preguntas

- ¿Por qué se procesan menos trabajos de los esperados? ¿Por qué el tiempo de ciclo es mayor?
 - **Fluctuaciones estadísticas**
 - Información que no se puede predecir, varía de una instancia a la otra
 - **Dependencias de sistema**
 - Hacer una tarea depende de haber terminado la otra
 - No se puede compensar la capacidad perdida
- ¿Cómo se podría mejorar el rendimiento de este sistema?

Simulación computacional

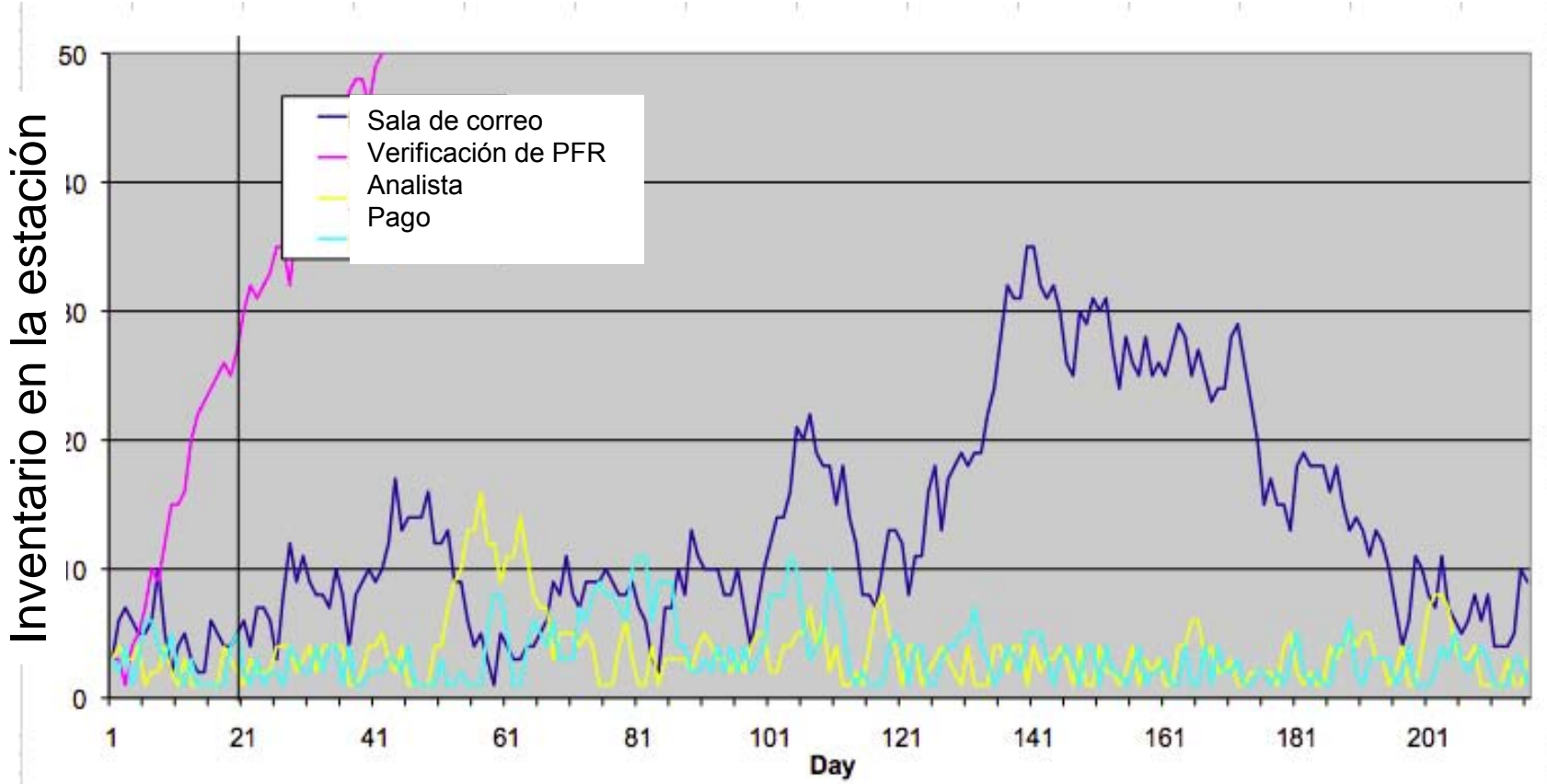
- **Podemos reunir en forma más rápida datos experimentales con una simulación computacional del juego de dados**
- **Podemos cambiar con facilidad la entrada del cliente y la variación de pasos del proceso para ver el impacto**
- **Veamos el impacto de la variabilidad en la entrada y del proceso en el tiempo de ciclo después de 20 y 216 días**



Simulación en planilla



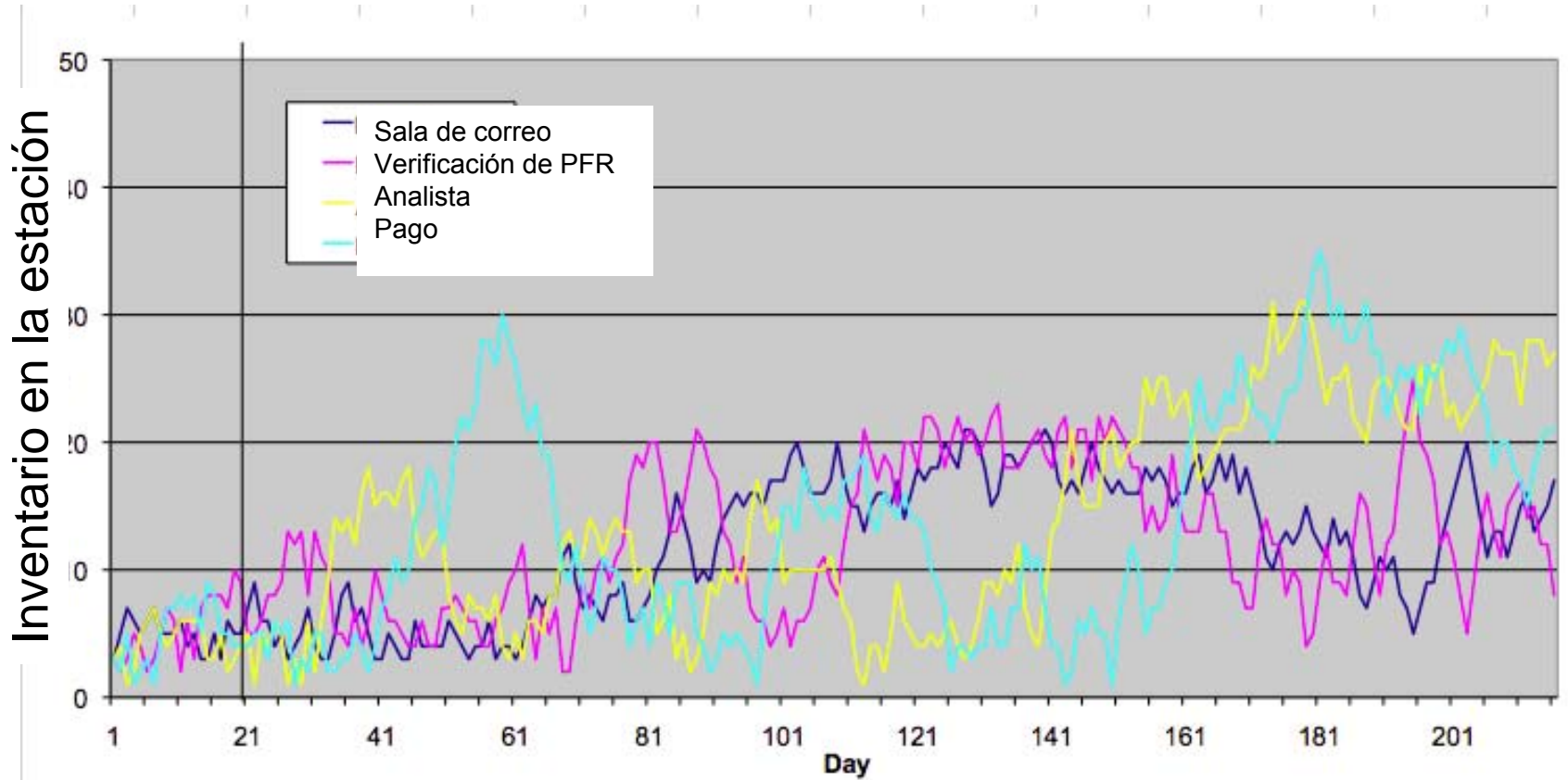
| Average: | Invoices/Day | | WIP | | Cycle Time | | Luck | |
|----------|--------------|-----|-----|-----|------------|------|------|------|
| Over: | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 |
| | 2.2 | 3.0 | 17 | 68 | 7.9 | 22.5 | 0.90 | 0.96 |

Cuello de botella



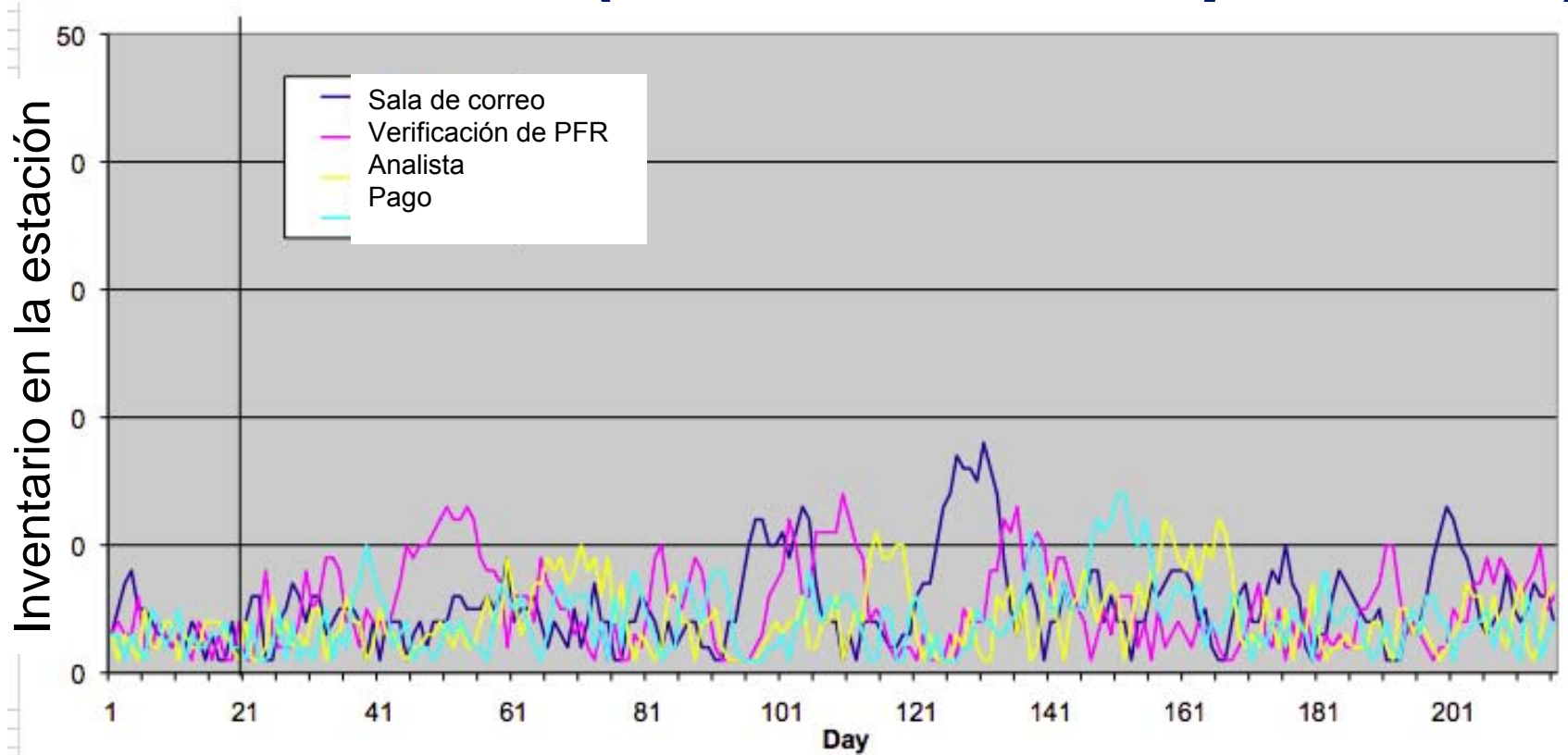
| | | | | | | | | |
|--------------|---|--------------|---|------------------|---|--------------|---|--------------|
| Customer |  | Mailroom |  | PFR Check |  | Analyst |  | Pay |
| Standard Die | | Standard Die | | Ave. reduced 30% | | Standard Die | | Standard Die |
| Average: | Invoices/Day | | WIP | | Cycle Time | | Luck | |
| Over: | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 |
| | 2.2 | 2.3 | 25 | 128 | 11.4 | 56.0 | 0.98 | 0.97 |

Menos variación de entrada



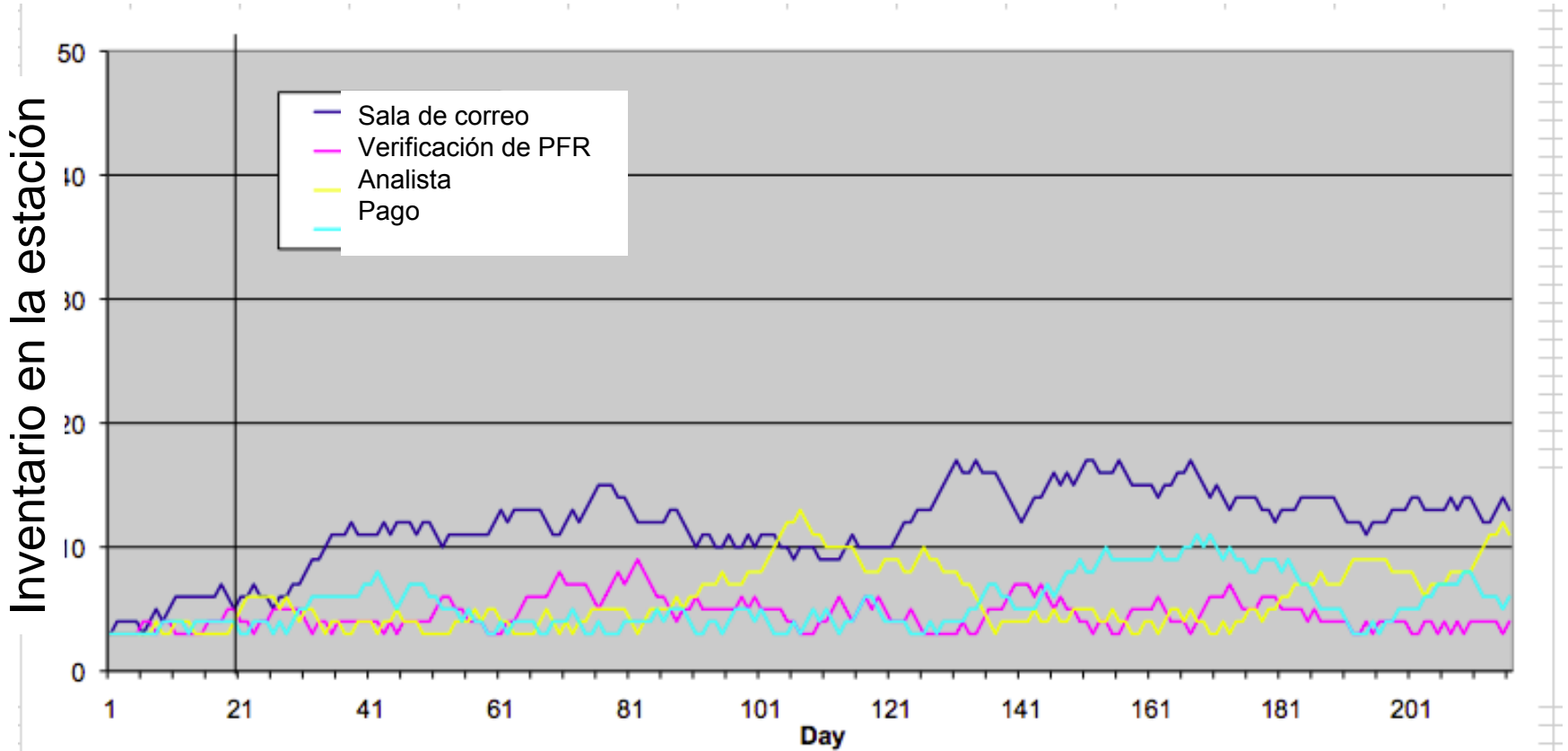
| | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|-----|--------------|-----|--------------|------|--------------|------|--------------|
| Customer | ▲ | | Mailroom | ▲ | PFR Check | ▲ | Analyst | ▲ | Pay |
| Var. reduced 70% | I | | Standard Die | I | Standard Die | I | Standard Die | I | Standard Die |
| Average: | Invoices/Day | | WIP | | Cycle Time | | Luck | | |
| Over: | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 | |
| | 3.0 | 3.2 | 20 | 50 | 6.6 | 15.7 | 1.00 | 0.97 | |

Menor demanda (menos entrada promedio)



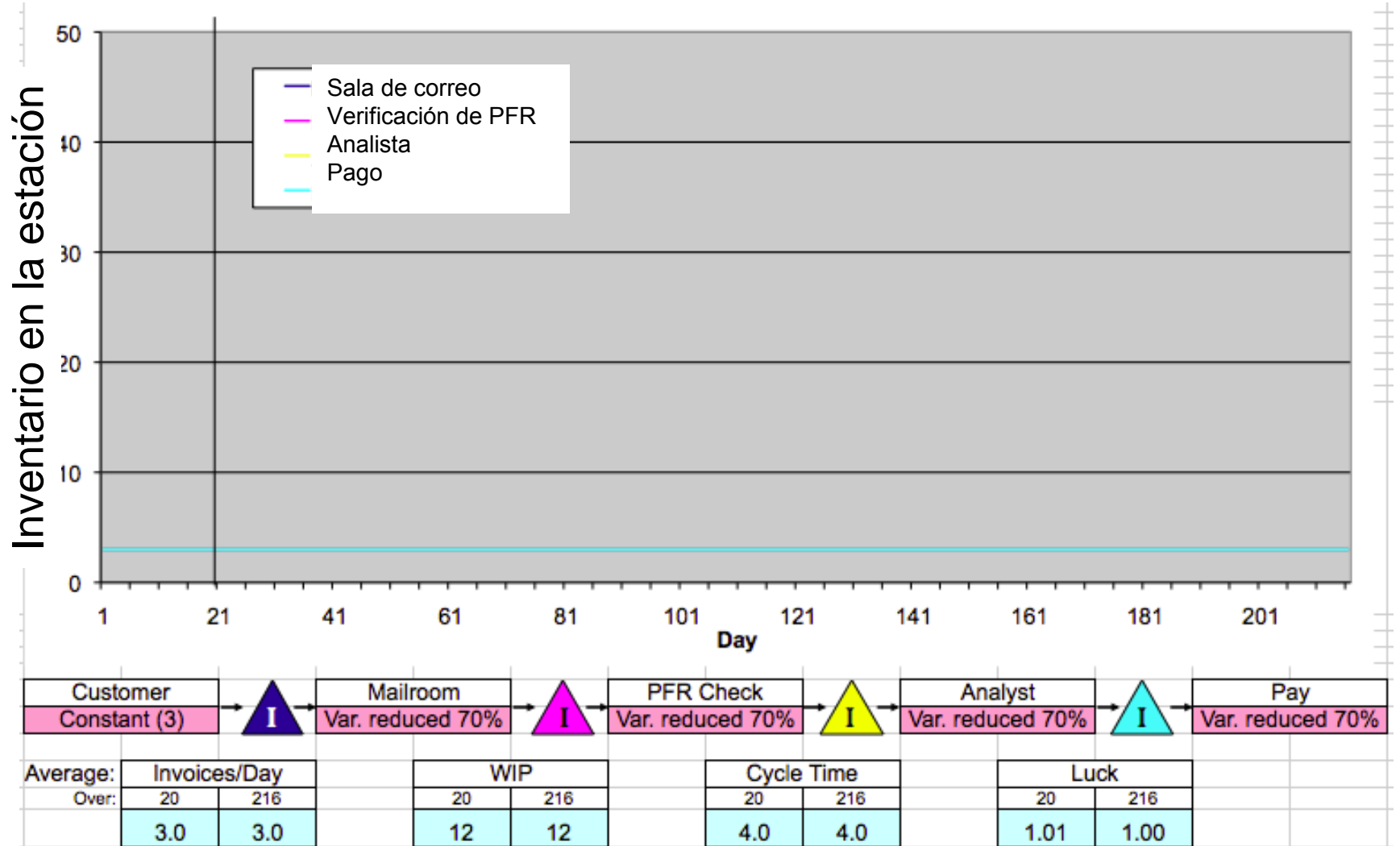
| | | | | | | | | |
|------------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|
| Customer |  | Mailroom |  | PFR Check |  | Analyst |  | Pay |
| Ave. reduced 20% | I | Standard Die | I | Standard Die | I | Standard Die | I | Standard Die |
| Average: | Invoices/Day | | WIP | | Cycle Time | | Luck | |
| Over: | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 |
| | 2.4 | 2.7 | 12 | 19 | 4.8 | 7.0 | 0.99 | 1.01 |

Menor variación total



| | | | | | | | | |
|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| Customer | → I → | Mailroom | → I → | PFR Check | → I → | Analyst | → I → | Pay |
| Var. reduced 70% | | Var. reduced 70% | | Var. reduced 70% | | Var. reduced 70% | | Var. reduced 70% |
| Average: | Invoices/Day | | WIP | | Cycle Time | | Luck | |
| Over: | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 | 20 | 216 |
| | 3.1 | 3.4 | 15 | 27 | 5.0 | 8.1 | 0.89 | 1.00 |

Demanda constante, variación baja



Tiempo en cola

- Basado en la ecuación de tiempo de cola,

$$\text{Tiempo en cola} = \text{Tiempo de actividad} * \left(\frac{\text{Utilización}}{1 - \text{Utilización}} \right) * \left(\frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$$

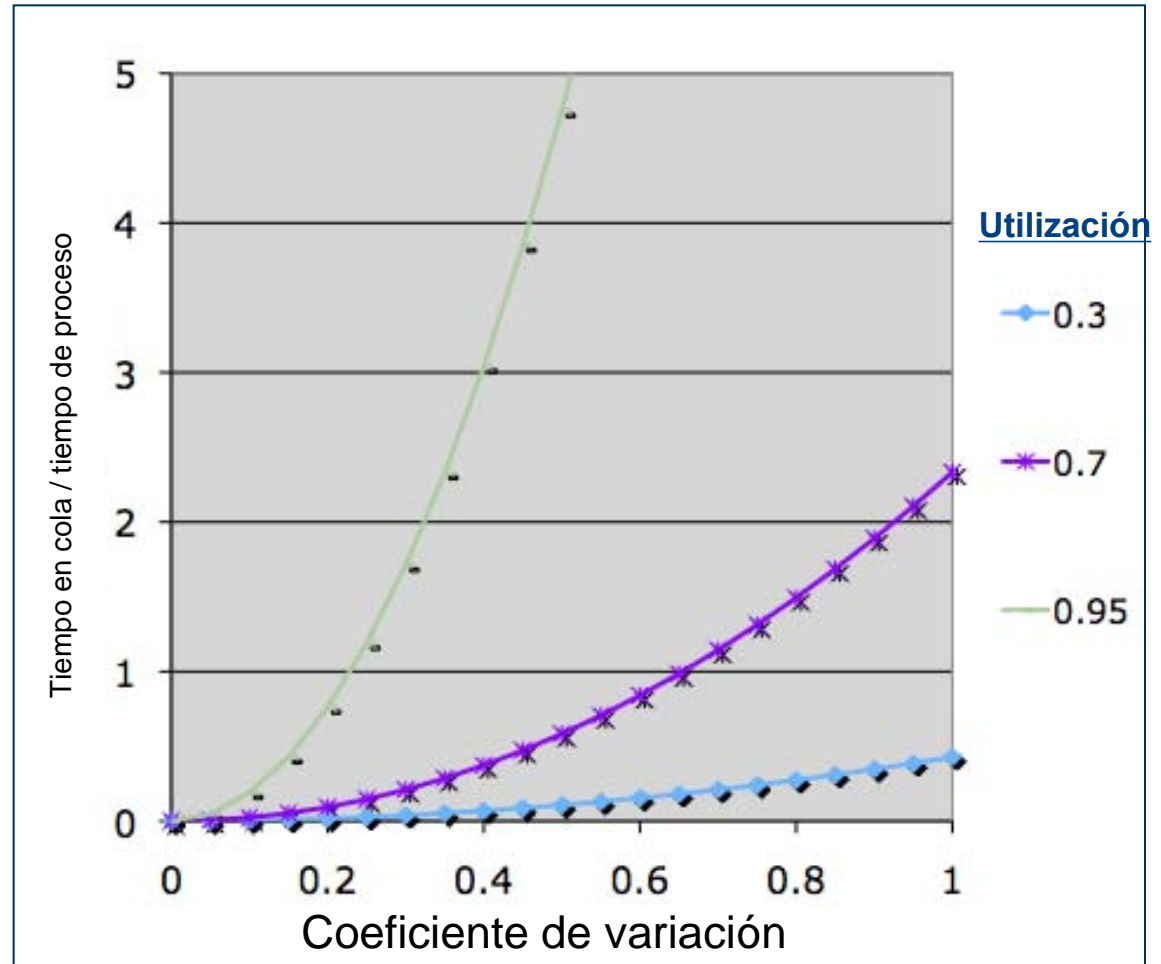
- CV_a es variación de entrada
 - Que quizás no podemos controlar
- CV_p es variación de proceso
 - Que deseamos minimizar
- La tasa de utilización es demanda/capacidad
 - Cabe mencionar que para ser “eficiente” debería ser 1...

Tiempo en cola = Tiempo de espera

Tiempo de actividad = tiempo de procesamiento

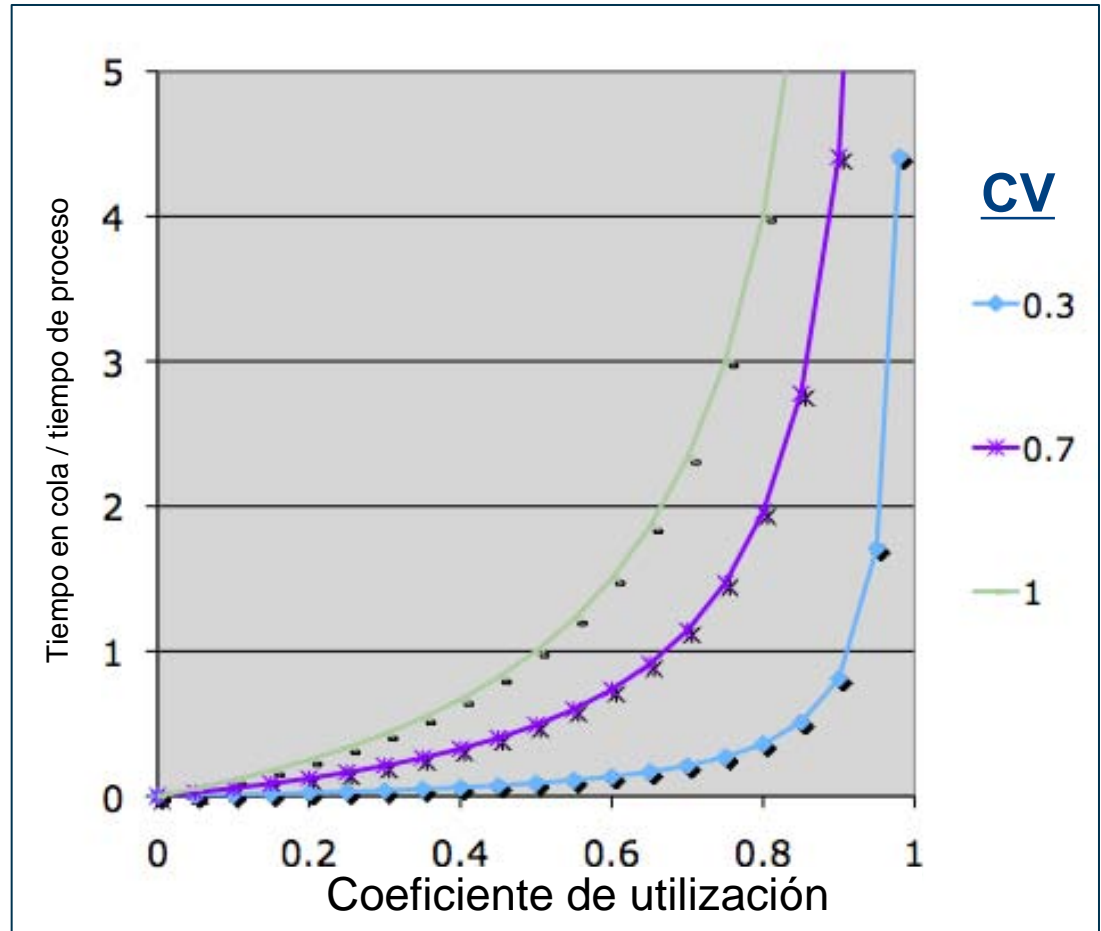
Control de la variabilidad

- Se requieren grandes reducciones de variabilidad si la utilización es alta
- Esta es la motivación detrás del enfoque 6-Sigma



Control de la utilización (sobrecarga)

- Para cualquier nivel de variación, algún nivel de utilización hace que el tiempo en cola explote
- Esto es *muri y mura* en acción
- Con frecuencia, un pequeño cambio marca una diferencia drástica



Simulación: resumen

- **Simulamos el sistema para analizar el comportamiento en un periodo más largo con más iteraciones**
- **Hicimos varios mejoramientos que demuestran el poder de la filosofía Lean:**
 - **Menos variabilidad de ENTRADA y de PROCESO**
 - **Se redujo levemente la utilización promedio del sistema**
 - **Se permite menos variabilidad y algo de “sobrecapacidad” en respuesta a la necesidad del cliente – *Pull***
 - **La eliminación de la variabilidad permitió un flujo más uniforme respecto de la demanda del cliente – perfección**

Lecciones

- **La variabilidad reduce el desempeño esperado del proceso**
- **La variabilidad se puede producir en todos los procesos en toda la empresa, desde fabricación a ingeniería, desde funciones administrativas hasta el cuidado del paciente**

Agradecimientos

Contribuyentes

- **Isabel Alarcón - GEPUC**
- **Ken Gilbert - University of Tennessee at Knoxville**
- **Sharon Johnson - Worcester Polytechnic Institute**
- **Hugh McManus - LAI/Metis Design**
- **Earl Murman – MIT**
- **Barrett Thomas – University of Iowa**

Colaboradores

- **Sue Siferd - Arizona State University**
- **Alexis Stanke – MIT**

MIT OpenCourseWare
<http://ocw.mit.edu>

RES.16-001 Lean Enterprise en Español

For information about citing these materials or our Terms of Use, visit: <http://ocw.mit.edu/terms>.