



# Teoría de Restricciones y Cadena Crítica en la Administración de Proyectos

---

Facultad de Ingeniería  
Universidad de Buenos Aires

Ing. Juan Gabardini

Octubre 2007



# Agenda

---

- Introducción
- Planificación PERT/Camino Crítico
- Problemas
- Teoría de las Restricciones (TOC)
- Planificación con Cadena Crítica (CCPM)
- CCPM & PMBOK
- CCPM & FDD
- Evaluación



# Introducción

---

- Presentación
- Expectativas
- Contenido
  - Planificación PERT/Camino Crítico
  - Teoría de las Restricciones (TOC)
  - Planificación con Cadena Crítica (CCPM)
  - CCPM & PMBOK
  - CCPM & FDD



# Planificación PERT/Camino Crítico

---



# Planificación PERT/Camino Crítico

---

- Origen

- PERT: Booz Allen Hamilton & USA Navy ~ 58
- CPM: Du Pont & Reminton Rand ~ 58



# Método del camino crítico

---

1. Listar las actividades requeridas para completar el proyecto (aka Work breakdown structure)
2. Estimar tiempos (duración) de cada actividad
3. Red de dependencias
4. Cálculo de márgenes (identificación del CC)
5. Asignación de recursos y ajustes
6. Control basado en el camino crítico



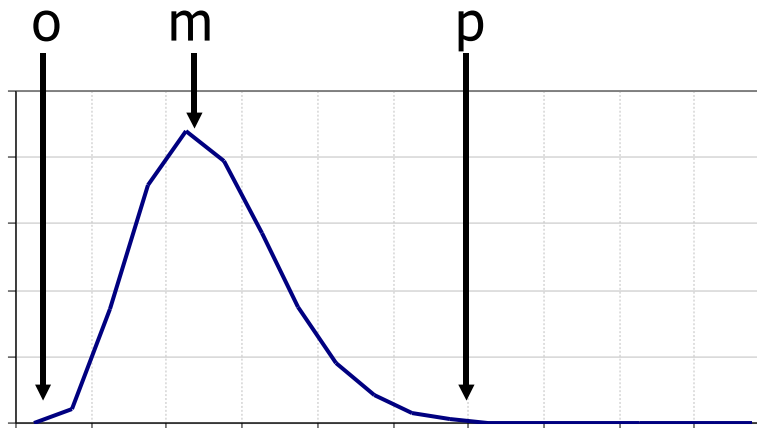
# Definición de Camino Crítico

---

- El **Camino Crítico** es la secuencia de actividades en la red que suman mayor duración
- Determina el tiempo más corto en que es posible completar el proyecto

# PERT

- $t_e = \frac{o + 4m + p}{6}$





# Ejemplo de Camino Crítico

---

Ejemplo



# FAQ de un usuario de CPM

---

- Cómo controlo mi proyecto?
  - Márgenes de las actividades
  - EV
- Cuando tengo que replanificar?
  - Cambios 'normales': alcance, dependencias
  - La incertidumbre en las estimaciones
  - Disponibilidad de recursos



# Problemas del PERT/CPM

---

- No considera la asignación de los recursos
- Las tareas a controlar cambian a lo largo del proyecto
- No hay indicadores únicos de la salud del proyecto
- Incertidumbre en las estimaciones está parcialmente manejada
  - Cuanto llevará hacer el proyecto?



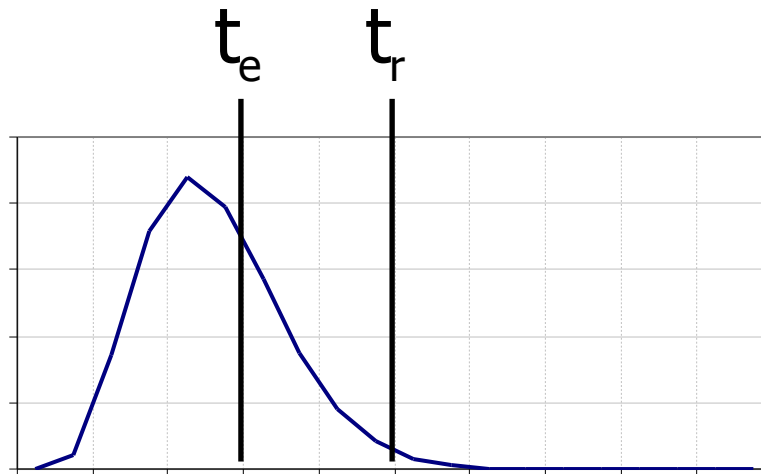
# Incertidumbre en las estimaciones

---

- Se planifica con un solo valor
- Resultado final del proyecto: Monte Carlo
  - Distintas simulaciones tienen distintos caminos críticos
  - ¿Cómo lo uso en la administración y seguimiento?

# Problemas adicionales - variación

- Las variaciones se compensan?
- $\text{var} = t_r - t_e$



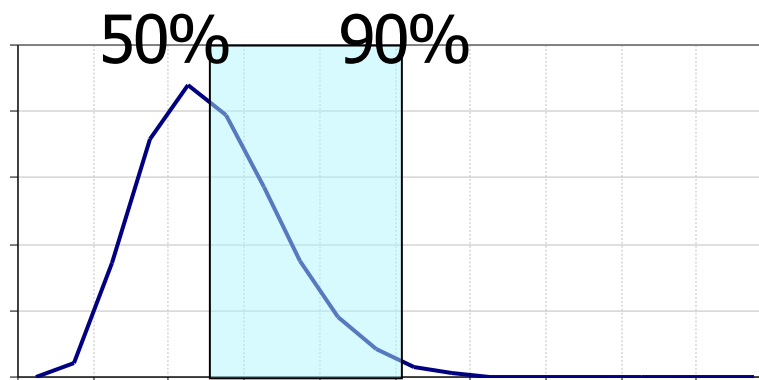
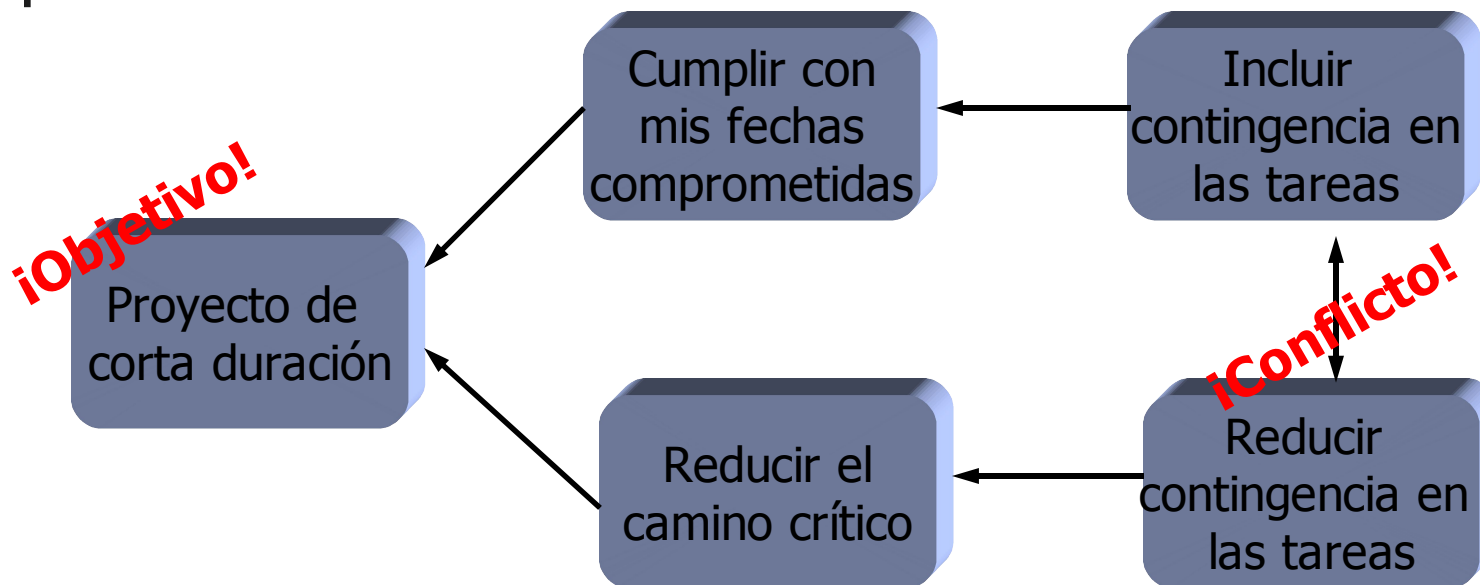


# Hay variaciones de ambos signos?

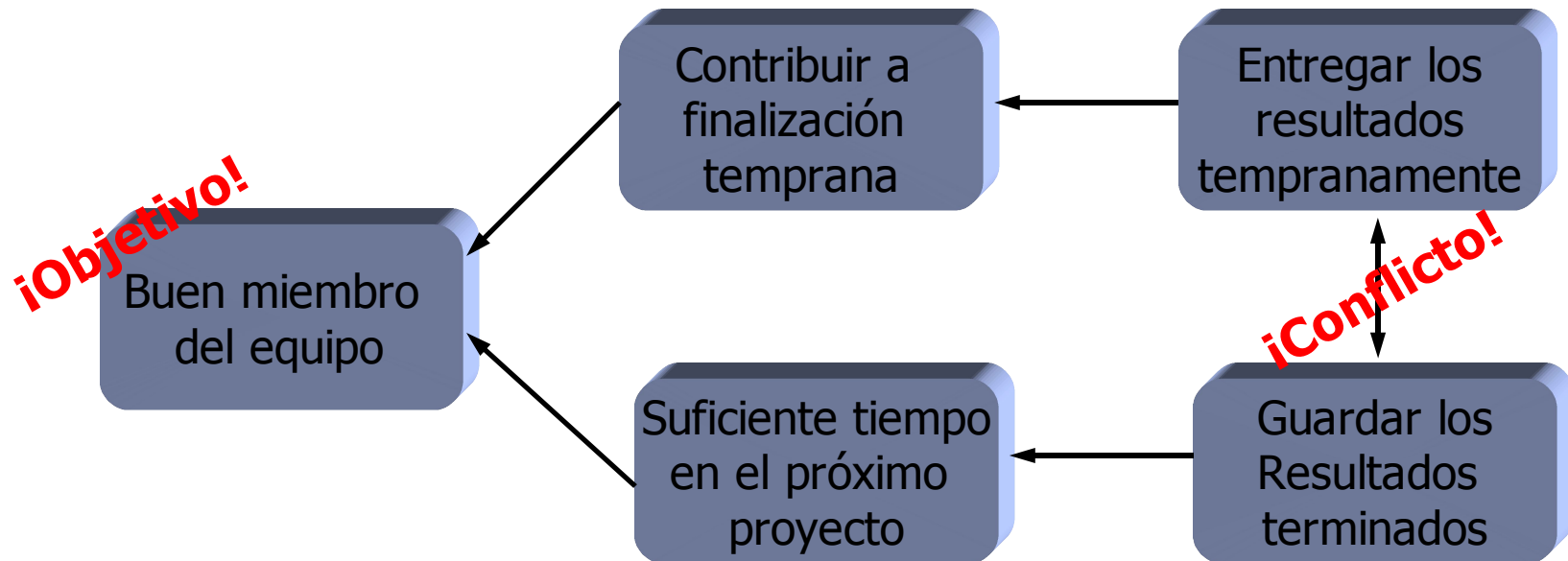
---

- Síndrome del estudiante
- El trabajo se expande para llenar el tiempo (ley de Parkinson)
- Multitarea
- Proteger mis futuras estimaciones
- Si se libera tempranamente, ¿hay tareas que puedan comenzar?

# Comportamiento y conflictos



# Comportamiento y conflictos





# Problemas adicionales - Organización

---

- Iniciar más proyectos que la capacidad
  - Stress, multitasking
- Efecto “bola de nieve”
- Interferencia
  - Los proyectos en curso no terminan pero se producen cambios de prioridades que hacen que otros proyectos comiencen
- Propagación
  - Los problemas en un proyecto se propagan a otros.
- Los Project Managers y Resource Managers tienen frecuentes conflictos sobre prioridades y asignación de recursos compartidos.



# Problemas adicionales - ASAP/ALAP

---

- Visión financiera
- Visión riesgos
- Visión retrabajo
- Visión foco



# Resumiendo los Problemas

---

- Comportamiento humano
- Manejo de los recursos
- Manejo de la incertidumbre



# Teoría de las Restricciones

---



# Teoría de las Restricciones

---

- Eliyahu Goldratt – The Goal (84,86,92)
- Inicialmente para manufactura
- Extendido luego a
  - Proyectos – Critical Chain
  - Contabilidad – TOC Accounting /  
Throughput Accounting
- Proceso de mejora continua
  - Qué cambiar?, Hacia que cambiar?, Cómo provocar el cambio?
  - TOC Thinking Processes



# Teoría de las Restricciones

---

- Mejora en los procesos de generación de valor
- La organización:
  - Tiene un objetivo
  - Es un sistemas en los que los recursos están unidos por los proceso
- Lograr el objetivo depende sólo de uno o unos pocos eslabones de la cadena



# Teoría de las Restricciones

---

- Queremos la Mejora continua, ¿pero qué debemos mejorar?
- La mejora local, ¿se traduce en mejora global?
  - Simulación



# Que mejorar?

---

- Todo?
  - ¡Enfocarse en un sólo problema!
  - Ok, pero ¿Por dónde empezamos?



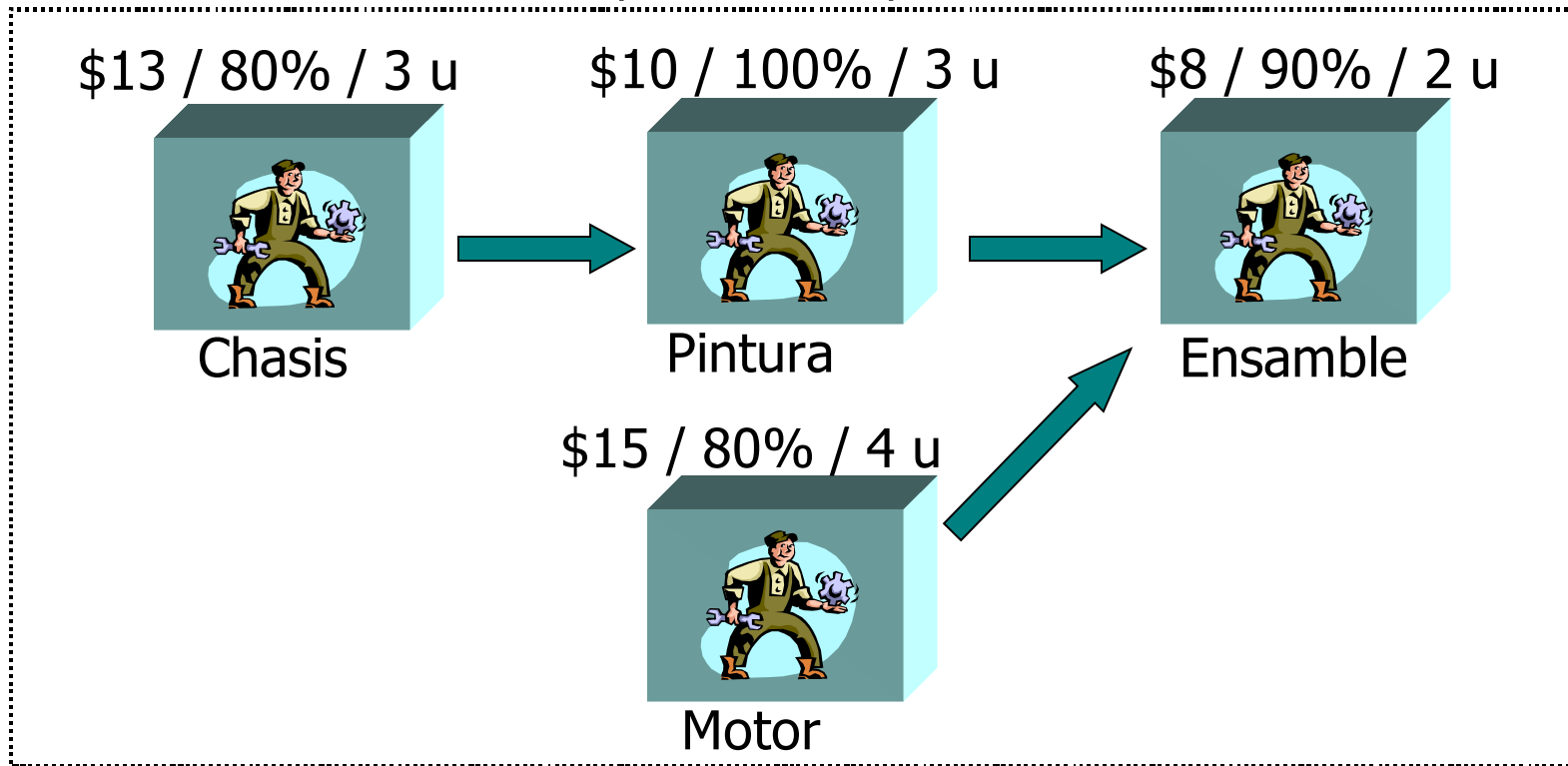
# Ejemplo de la caminata Boy Scout

---

- Un grupo de BS deben ir de un campamento a otro en un sendero que sólo permita avanzar en fila india. Se considera que llegan al destino cuando todos llegaron
- Cómo organizarlos?

# Que mejorar?

Costo / Eficiencia / Producción



¿Qué debo mejorar?

¿Cuál es la restricción?



# Five step of focusing

---

- Identificar la restricción del sistema
- Decidir como aprovechar la restricción
- Subordinar todo a la decisión anterior
- Elevar la restricción
- Iterar si la restricción cambió

No olvidar revisar las iteraciones previas para no caer en que la política adoptada sea la principal restricción



# Precondiciones

---

- Definir el sistema y su objetivo
  - Sistema: suele empezarse por la producción
  - Objetivo: suele tener la forma “Ganar más dinero”
- Definir como medir el objetivo



# Cómo medimos “Ganar dinero”

---

- Throughput (T)
  - “unidades de objetivo” producido por el sistema en la unidad de tiempo
  - Beneficio (venta – materia prima)
- Investment (I)
  - Dinero inmovilizado en el sistema
- Operating expense (OE)
  - Dinero gastado por el sistema



# Throughput World Thinking

---

Orden de mejora

2. Mejorar Throughput
3. Reducir Investment
4. Reducir Operating expense

## vs Cost World Thinking



# Cómo medimos?

---

- Net profit (NP) =  $T - OE$
- Return on investment (ROI) =  $NP / I$
- Productivity (P) =  $T / OE$
- Investment turns (IT) =  $T / I$



# Identificar la restricción

---

- Mercado
  - No hay suficientes ventas
- Proveedores
  - No hay suficientes materias primas
- Interno
  - No hay suficiente capacidad



# Aprovechar (exploit)

---

- Optimizar entradas y salidas, setup, retrabajo, ... evitar desperdicios (waste/muda)
- Planificar el uso cuidadosamente en función de la demanda (drum)

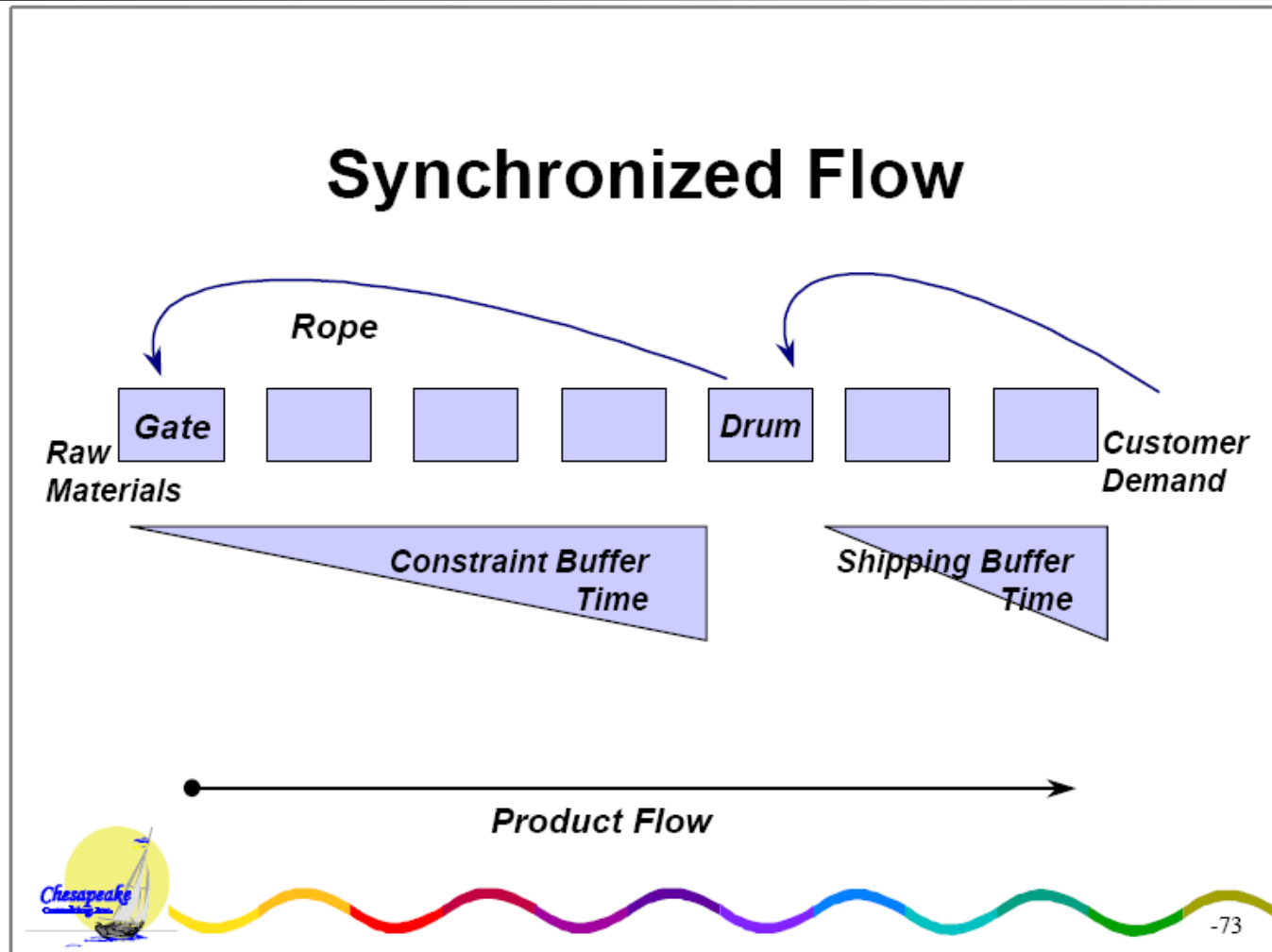


# Subordinar

---

- Mantener la restricción operando óptimamente considerando la variabilidad
  - Buffer: material disponible en la entrada
  - Shipping buffer: margen en el calendario de entrega
- El nuevo trabajo se inicia (rope)
  - A la velocidad definida por el drum
  - Con la anticipación definida por buffer

# Drum Buffer Rope





# Subordinar

---

- Mentalidad correccaminos
- La performance medida en función de la restricción
- Capacidad adicional en recursos que no son restricción
- Control a través de los buffers
  - Buffer Management meeting (15 min) x turno
  - Mejora continua



# Elevar / Iterar

---

- Aumentar la capacidad de la restricción
- ¿Cambió la restricción?



# Critical Chain Project Management

---



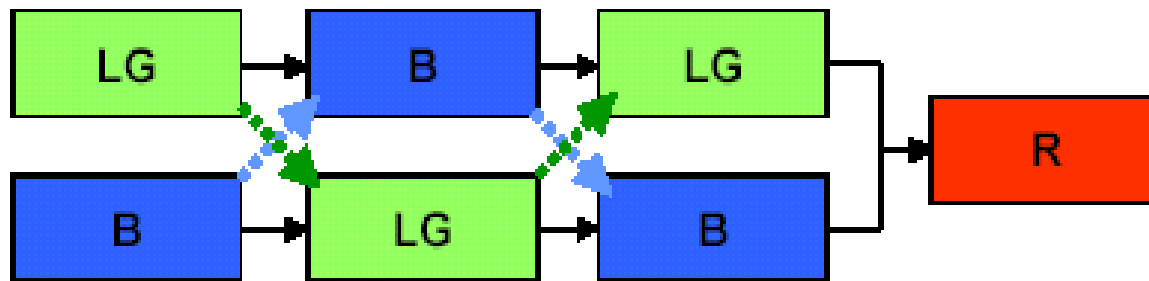
# Problemas en la Adm. de Proy.

---

- Comportamiento humano
- Manejo de los recursos
- Manejo de la incertidumbre

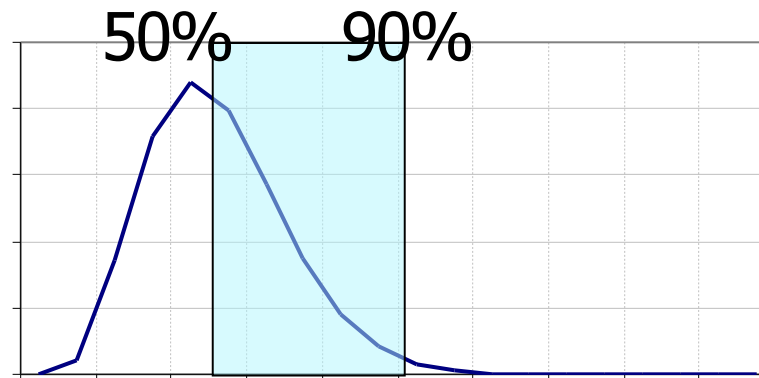
# Una evolución del Camino Crítico

- Secuencia de tareas que impiden que el proyecto se realice en menos tiempo
- El camino crítico puede cambiar durante la ejecución del proyecto
- No tiene en cuenta las restricciones de recursos



# Critical Chain

- Critical Chain: el camino más largo considerando las dependencias entre tareas y dependencias de recursos
  - Quitar la contención de recursos antes de definir la Critical Chain
  - Realizar el plan con estimaciones de 50%, agregar la incertidumbre como buffers al final de las cadenas de tareas





# Resumiendo (Soluciones)

---

- Comportamiento humano **Contrarrestar los síndromes!**
- Manejo de los recursos **Monotarea! Sincronización!**
- Manejo de la incertidumbre **Drum Buffer Rope!**



# Modificaciones hacia Cadena Critica I

---

- Reducir estimados a 50-50
- Eliminar contención de recursos e identificar la CC
- Agregar un buffer de proyecto para la contingencia de la CC
- Tareas ALAP, protegidas por buffers
- Proteger la CC de problemas en las cadenas no criticas con feeding buffers



# CCPM - Calendarización

---

- Buffers: es menos que la suma de las contingencias de las tareas de la cadena.
  - Propuesta: 50%
- Late finish (ALAP)
  - Reduce el retrabajo
  - Posterga los pagos (cashflow!)
  - Focaliza al grupo en menos tareas
- Planificación Good Enough (<25% Buffer del proyecto)



# Proceso calendarización - Identificar

---

1. Red de tareas ALAP con estimación 50 y recurso principal asignado
2. Repetir hasta que no haya conflictos
  1. Analizando de derecha a izquierda, resolver los conflictos de recursos moviendo una de las tareas hacia la izquierda.
3. Identificar la cadena crítica (secuencia más larga)



# Proceso calendarización - Aprovechar

---

1. Formas de resecuenciar?
2. Proteger el proyecto con el Project buffer (50% del tiempo de la CC)
3. Proteger la cadena crítica con resource buffers



# Proceso calendarización - Subordinar

---

1. Proteger la CC con feedings buffers (50% del tiempo precedente)
2. Si se generaron conflictos de recursos, resolverlos, arrastrando las tareas precedentes



# Proceso calendarización - Elevar

---

1. Disminuir el tiempo del proyecto modificando el uso o agregando recursos para evitar conflictos y disminuir los tiempos de las tareas.
2. Reiniciar el proceso!



# Ejercicio

---

## Datos del ejercicio



# Tamaño de los buffers

---

- Método simple: 50% de la duración CC
- Método estadístico
  - $\text{sqr}(\text{sum}((D_{90\%} - D_{50\%})^2))$
- Recomendaciones
  - Al menos 10 tareas en la CC
  - Ninguna tareas  $D_i > 20\% D_{CC}$
  - Buffer  $> 25\% D_{CC}$
  - Si hay menos de 4 tareas
    - Feeding Buffer  $> \max(D_i)$



# Modificaciones hacia Cadena Critica II

---

- Proteger la CC de falta de recursos con buffer de recursos
- Los Líderes de proyecto indican a los recursos duración en inicio estimado de las actividades, no hitos.
- Recursos trabajan en las tareas con mentalidad correccaminos (sin multitasking ni síndrome de estudiante)
- Los Líderes de proyecto controlan el avance del proyecto por control de buffers.



# Buffer de recursos

---

- Que pasa con paralelismo entre cadenas
- Buffer de recursos
  - Dependiente de cantidad disponible
  - Tamaño promedio de la tarea
  - Tiempo de setup (viaje, entrenamiento, etc)
- No reserva esfuerzo (costo), sólo es una herramienta para indicar al Project Manager y a los recursos la necesidad de trabajar en el CC



# Buffer de Costo

---

- Cómo nos controlaran?
  - Baseline de gastos?
  - Cashflow?
- Incluir los costos ahorrados en el project buffer
  - Se mantiene el mismo grupo?
  - Usamos un grupo estándar para costear (Burn rate)
  - Otros costos distribuidos uniformemente
  - Total ahorrado o cuadrado de la suma?



# Restricciones externas

---

- Ejemplos
  - Fechas de entrega parcial
  - Revisiones / aprobaciones de 3ros
  - Recursos compartidos de la organización
- Son restricciones?
  - Evaluación como riesgo
  - Seguir los 5 pasos (aprovechar y subordinar)
  - Se incluyen en la Cadena Crítica



# Proveedores

---

- En el peor de los casos, una dependencia externa
- La cadena crítica depende de ellos?
  - Podemos incentivarlos para que entreguen antes, o para que no se atrasen?
- Dependen de nosotros?
  - Debemos poner un buffer?
- Similar al concepto JIT (pull)



# Riesgos

---

- Project Buffer
  - Orientado a las causas comunes
- Medida del impacto de los riesgos
  - Alto: mayor que el buffer de costo o de proyecto (otros...)
  - Medio: consume  $2/3$  de los project/cost buffer o  $2/3$  de los feeding buffers
  - Bajo:  $1/3$
- El resto del manejo de riesgos es igual



# Ejercicio

---

## Datos del ejercicio



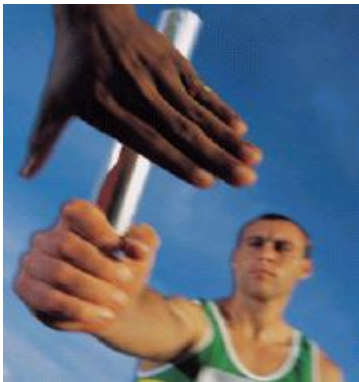
# CCPM: Control

---

# CCPM - Comportamiento

## Ética de carrera de postas

2. Empezar tan pronto como la tarea fue asignada
3. Realizarla continuamente hasta terminarla
4. Avisar que fue terminada



Cómo se logra esto???



# CCPM – Control - Comportamiento

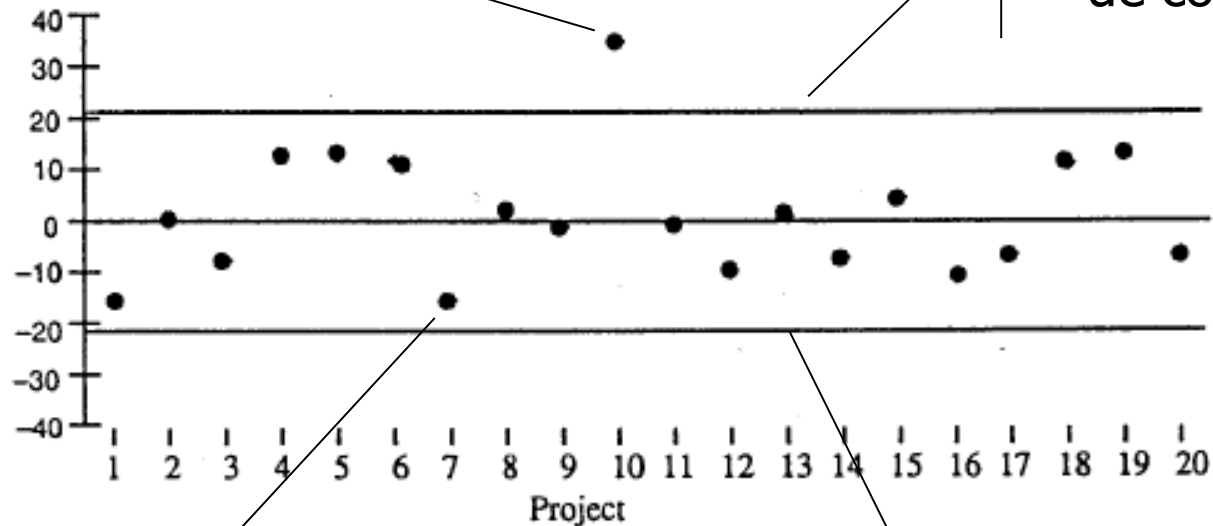
---

- La dirección del proyecto debe promover el uso de estimaciones del 50% y no presionar a la gente para cumplir con los estimados
- La dirección debe permitir que la gente trabaje en una sola tarea por vez
- Realizar el plan con estimaciones de 50%, agregar la incertidumbre como buffers al final de las tareas
  - Cuando puedo usar los buffers?

# Control estadístico de Procesos

Fuera de control

Límite superior de control



Bajo control

Límite inferior de control



# CCPM - Control

---

- Periódicamente, el PL actualiza el estado de las tareas, según lo informado por los recursos
- Los retrasos restan al buffer, los finales tempranos suman. (limites absolutos o relativos?)
  - Consumo del buffer  $< 33\%$ : no hacer nada
  - Consumo del buffer  $33\% - 66\%$ : planificar acciones
  - Consumo del buffer  $> 66\%$ : actuar
- Recordatorio a recursos necesarios en tareas del Critical Chain
  - Un tiempo antes de la finalización de la tarea precedente
- No comenzar un proyecto si excede la capacidad de los recursos críticos (Drum)



# CCPM - Control

---

- Proteger las sincronizaciones de caminos con feeding buffers
  - ¿Qué mejora con respecto a Critical Path?
  - ¿Qué pasaría con una simulación de Monte Carlo en un proyecto CCPM?
- Controlar los feeding buffers



# Causas especiales?

---

- Debe actuarse sobre ellas inmediatamente si afectan a la Cadena Crítica
- Reunión diaria 10-15 min



# Como anda el proyecto?

---

- Buffer de proyectos
  - Nivel y evolución
  - Calendario y costo
- Tareas de CC impedidas
- Otras...



# Multiproyectos

---

- Algunos recursos compartidos se convierten en Restricciones, por lo tanto en el Drum
- Los proyectos individuales deben subordinarse a la restricción
  - Utilizar lo mejor posible esos recursos
- No se inician nuevos proyectos si superan la capacidad de los recursos (Rope)



# CCPM y PMBOK

---



# Áreas

---

- Integration
- Scope
- **Time**
- **Cost**
- Quality
- Human Resource
- Communication
- Risk
- Procurement



# Mencionado en PMBOK

---

- 6.5.2 Schedule development: Tools and Techniques
  - Herramienta de calendarización
- 7.1.2 Cost estimating: Tools and Techniques
  - Costos asociados a los buffers



# Debería estar mencionado

---

- Outputs de las actividades anteriores
- Métricas y forma de control y comunicación, tanto de calendario como de costo, tanto interno como con proveedores.
- Manejo de riesgos, distinción entre causas comunes y especiales



# TOC, CCPM y FDD

---



# Proceso FDD

---

1. Shape modeling (aka Overall Model)
2. Feature List
3. Plan by Subject area (aka Plan by Feature)
4. Design by Feature Set (aka Design by Feature)
5. Build by Chief Programmer Work Package (Build by Feature)



# ¿Cómo Administramos Tradicionalmente?

---

- ¿Cómo Planificamos?
  - Alcance
  - WBS
  - Estimación
  - Calendarización y Presupuesto
  - Hitos
- ¿Cómo controlamos?
  - Cumplimiento de Alcance
  - Estimado vs Real
  - Cumplimiento de hitos
- Crosby
  - “quality as conformance to specification”



# ¿Cómo Administramos Ágilmente?

---

- ¿Medidas del Proyecto?
  - Difícil, dependen de una planificación total del proyecto
- Medidas del proceso
  - Proceso bajo control y fuera de control
  - Límites de control
  - Causas comunes y causas especiales
- Deming
  - “quality as conformance to process”



# Planificación de proy. en FDD

---

- Planificación
  - Shape Modeling
  - Feature List
  - Plan by Subject area
- Tareas
  - Develop Feature Set n
  - Integration
  - Product test
  - ...



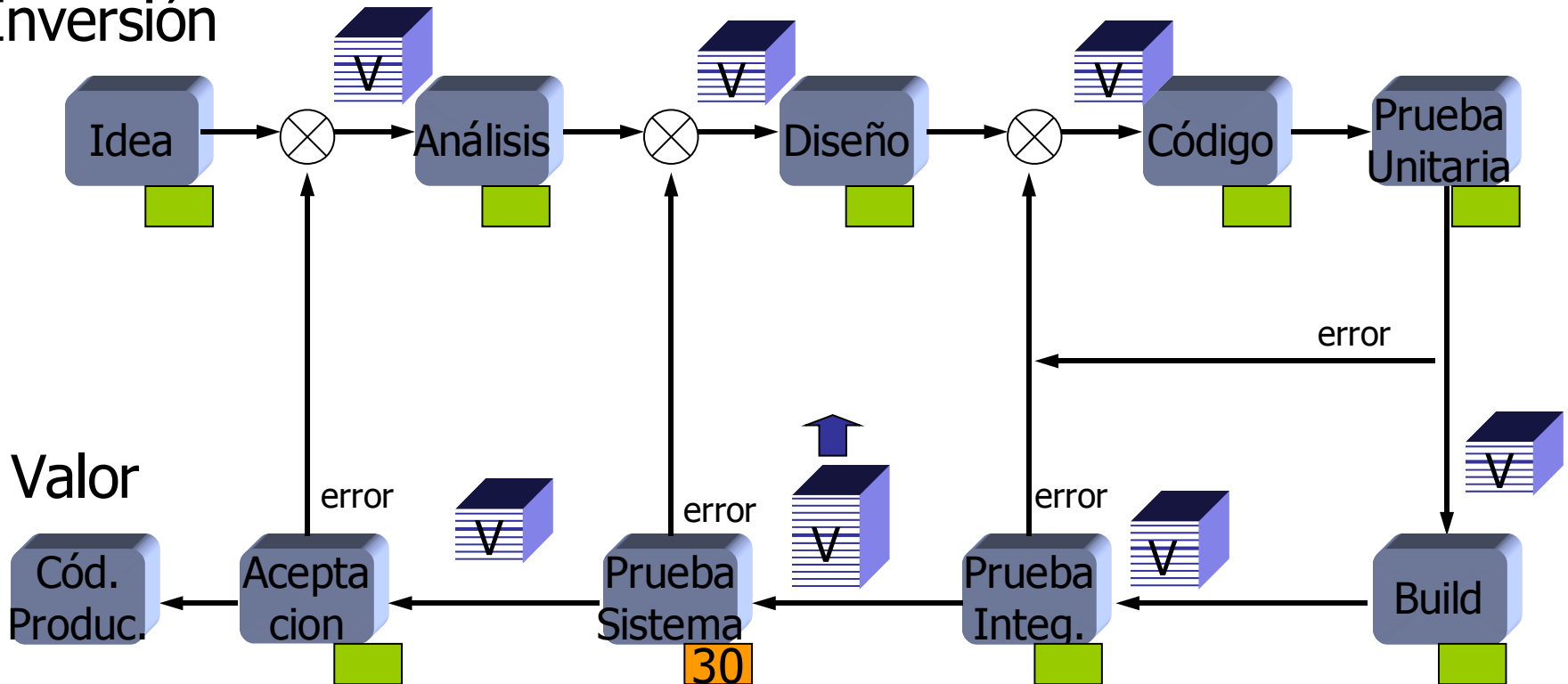
# Métricas de proceso

---

- Costo
  - ¿Es valor agregado?
- Producción
  - Inversión
  - Valor del producto (Throughput)
  - Lead time

# Modelo del proceso

Inversión





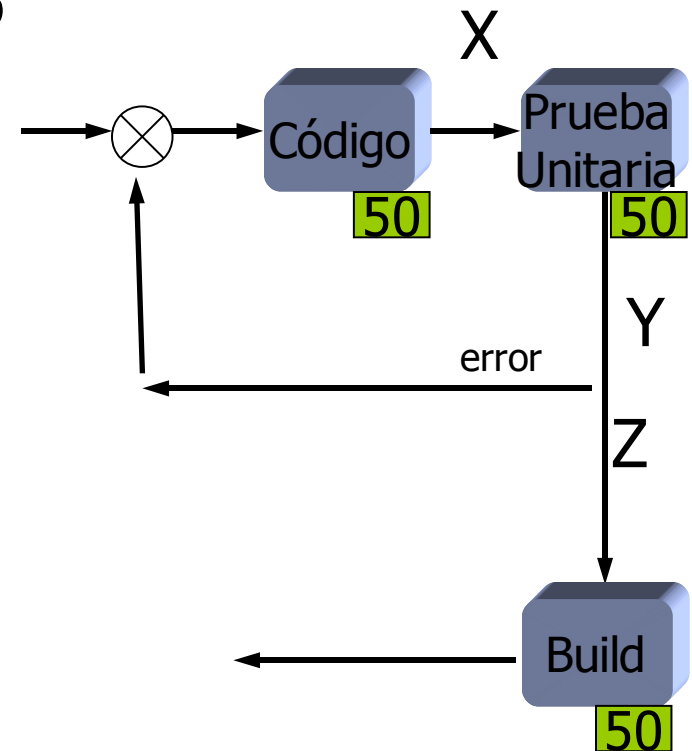
# Lectura de las Métricas

---

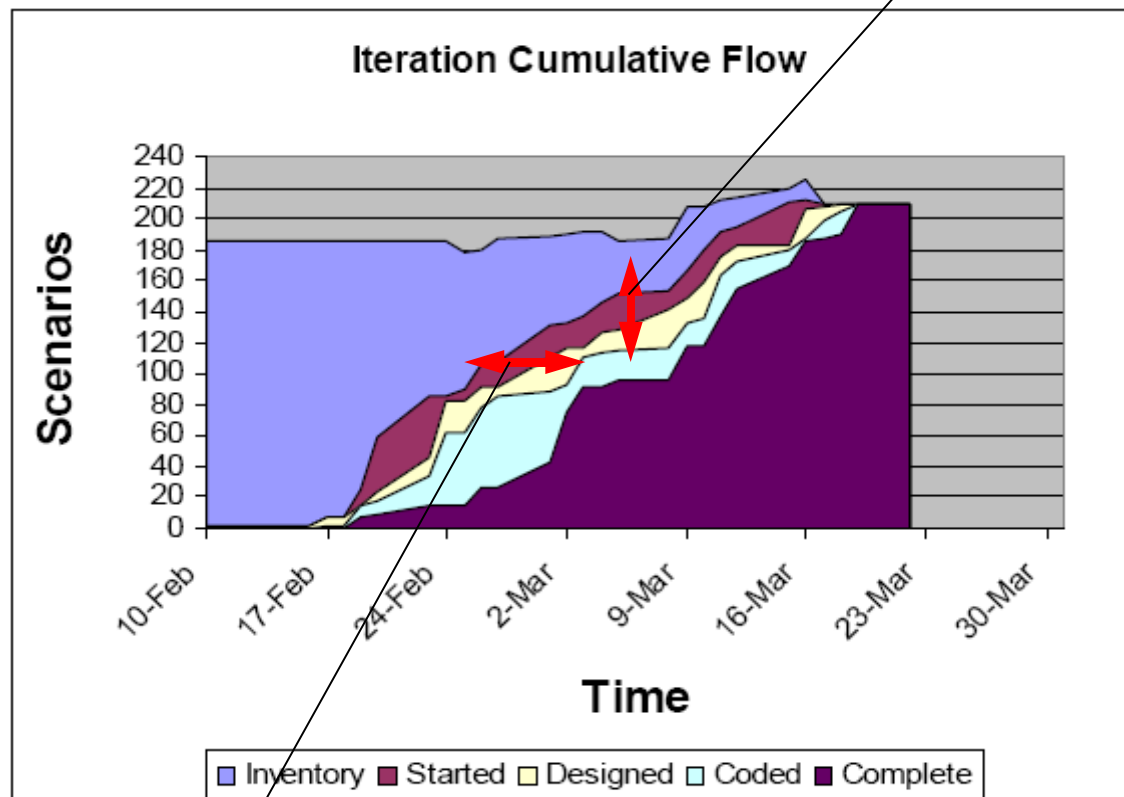
- La acumulación de inventario es mala
- El inventario pierde valor con el tiempo
- La optimización local no implica optimización global
- Siempre hay una restricción

# Costo Calidad

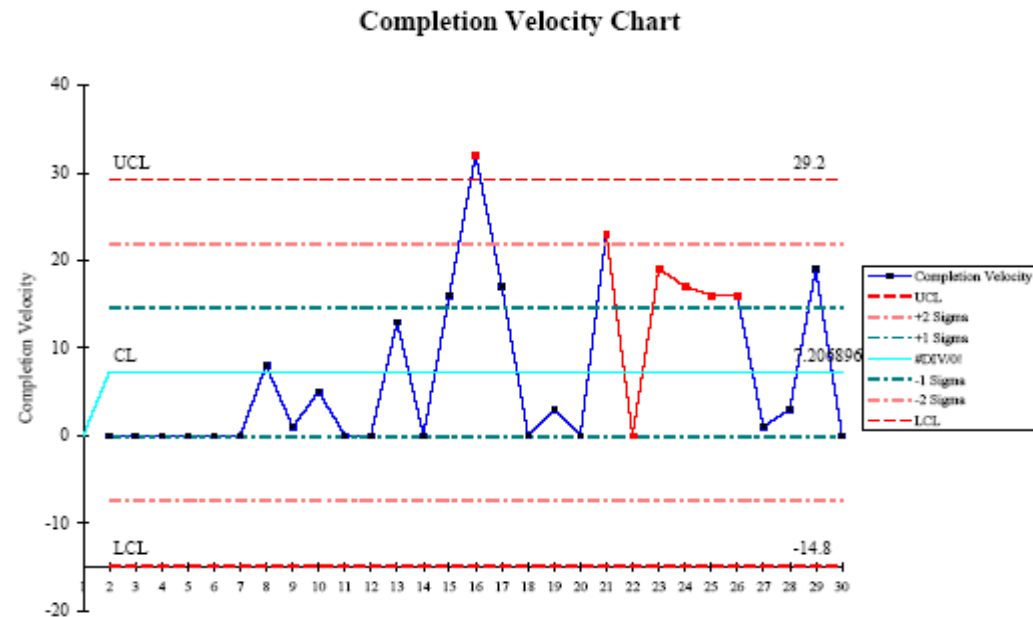
- 1 Falla se corrige en 1/5 tiempo de una unidad nueva
  - $X = 50?$
  - $Y = 50?$
  - $Z = 50?$
- ¿Cuántas fallas son aceptables?
- ¿Se acumula código?



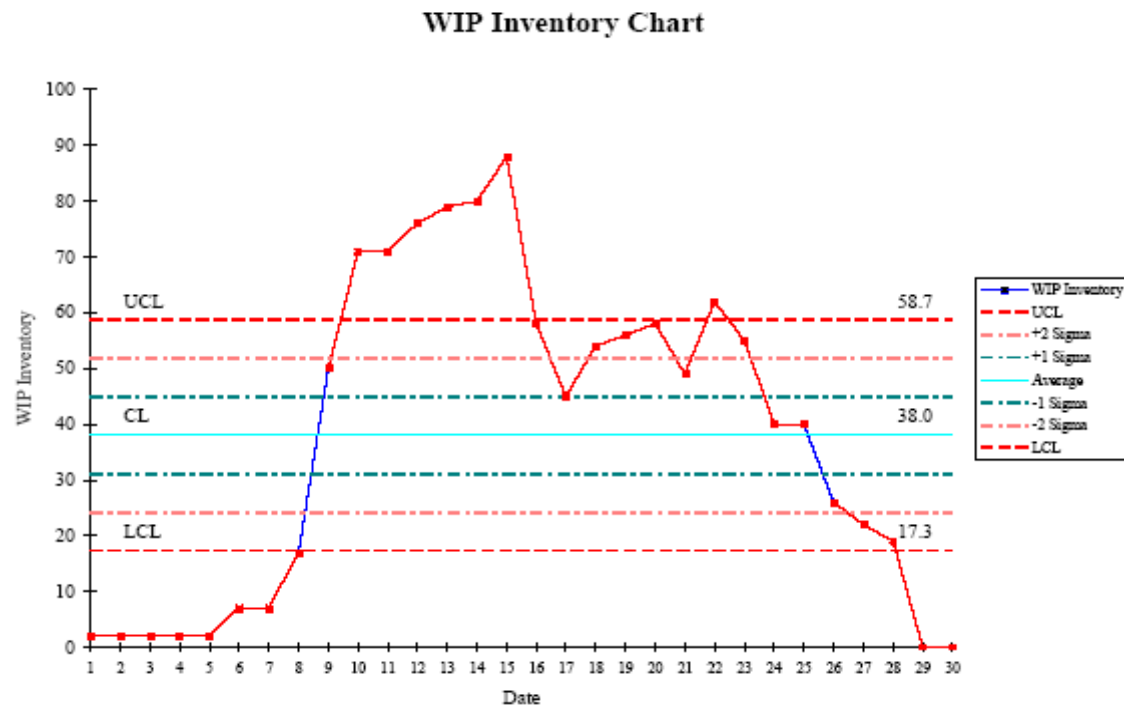
# Flujo Acumulado



# Velocidad de Producción



# Work in Process





# Trabajo del Administrador

---

- Lograr el flujo continuo (mura)
  - Mantener el Issue Log (y riesgos)
  - Resolver Issues antes que frenen el flujo
  - Los issues no resueltos incrementan el inventario
- Monitorear
  - Buffers: Proyecto y Feeding
  - Cantidad de Inventario bloqueado
- Tendencias
- Roles de especialistas
  - Los especialistas escasos son restricciones



# Conclusiones

---



# Conclusiones CCPM

---

- La calendarización:
  - Se mantiene durante todo el proyecto
  - Permite focalizar los esfuerzos de los PL
  - Permite calendarios más cortos y más seguros, absorbiendo los riesgos conocidos y desconocidos
- Control (Buffer management):
  - Visión clara del estado proyecto
  - Guía sobre donde asignar recursos



# Conclusiones Generales

---

- Qué ganamos:
  - Mejorar el Time 2 Market
  - Compensar Variaciones
    - - retrabajo, - presión, - incertidumbre
    - + control, + rápido, + oportunidades
- ¿Realidad o ficción?
  - Estimaciones: Proveedores, clientes
  - Comportamiento: Gerencia, recursos
- TOC y CMMI
  - Unidos por Deming



# Evaluación

---

## Preguntas



# Bibliografía

---

- **Critical Chain Project Management**  
Artech House, 2000, Lawrence P. Leach
- **[www.goldratt.com](http://www.goldratt.com)**
- **Theory of Constraints**  
North River Press Publishing Corporation, 1990, Eliyahu M. Goldratt
- **Critical Chain**  
North River Press Publishing Corporation, 1997, Eliyahu M. Goldratt
- **Agile Management**  
Prentice Hall, 2004, David Anderson
- **Feature-Driven Development**  
Prentice Hall, 2002, Palmer / Felsing
- **PMBOK 3rd edition**  
PMI, 2004