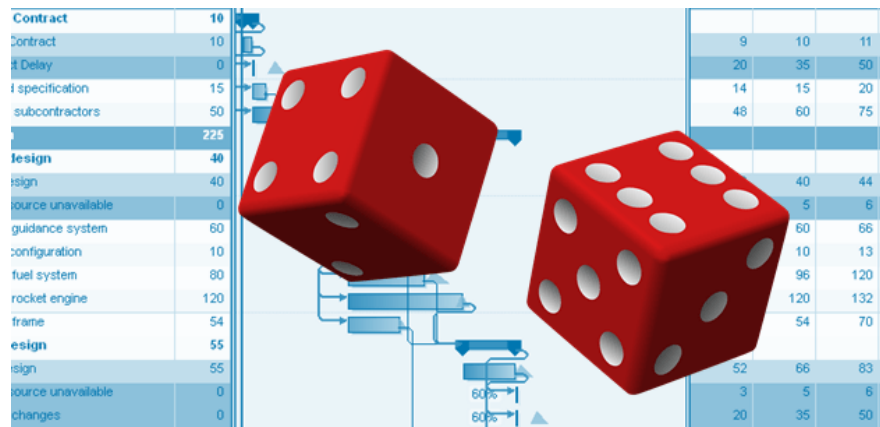




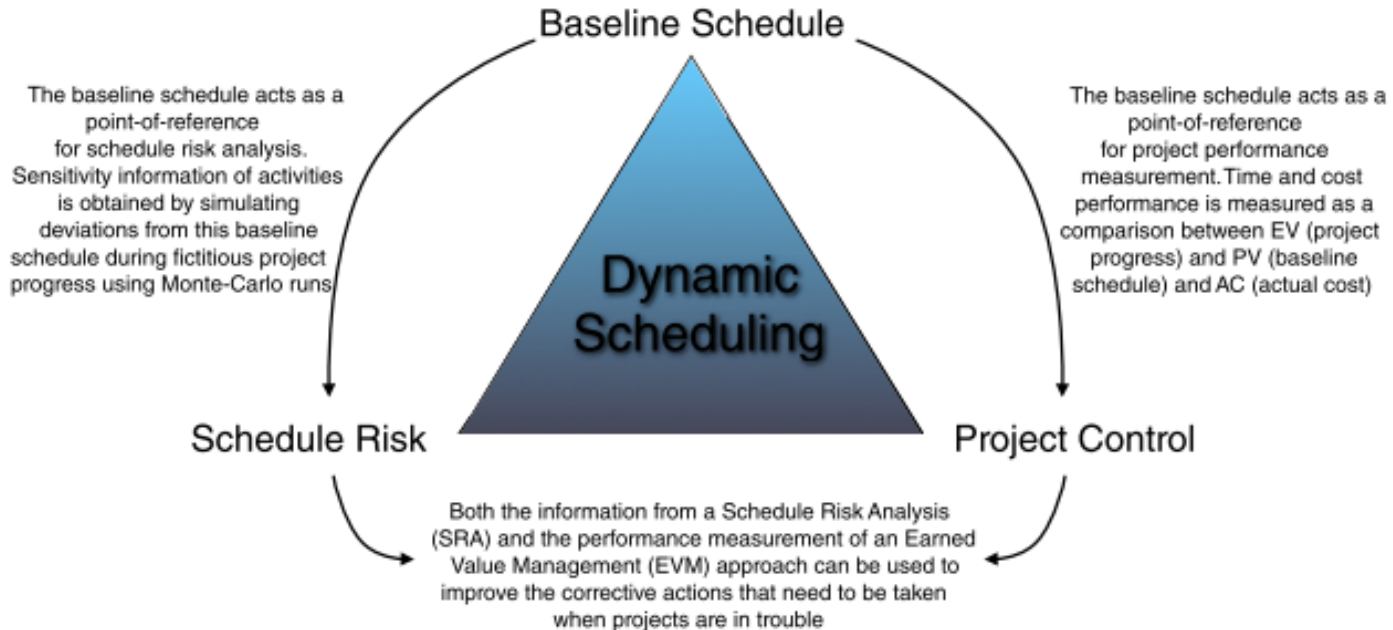
INDICADORES DE SENSIBILIDAD

Fernando Acebes

fernando.acebes@uva.es

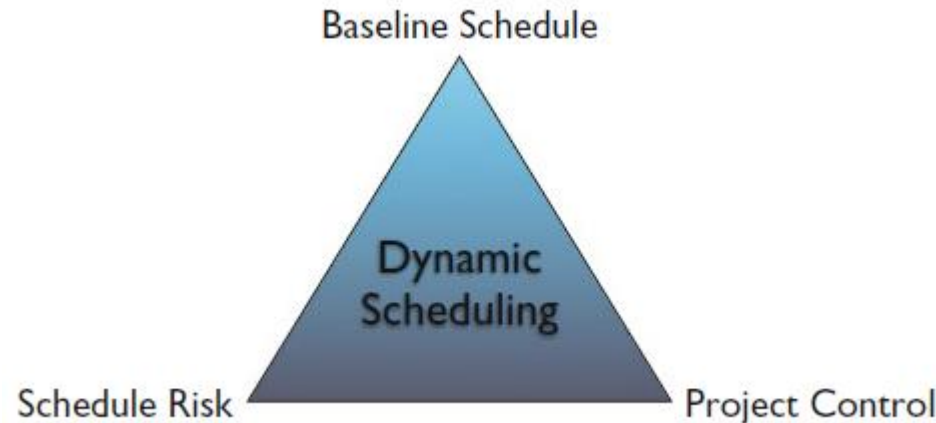
Dpto. de Organización de Empresas y C.I.M

Dynamic Scheduling



La **programación dinámica (Dynamic Scheduling)** se utiliza para referirse a un proceso dinámico de gestión de proyectos para **controlar los proyectos** utilizando la información de la programación de base de un proyecto y su correspondiente riesgo.

Dynamic Scheduling



Se refiere a **tres fases** integradoras del ciclo de vida del proyecto a fin de desencadenar y dirigir el proceso de adopción de decisiones sobre **medidas correctivas** para volver a poner en marcha los proyectos en caso de problemas:

- Baseline Scheduling
- Schedule Risk Analysis
- Project Control

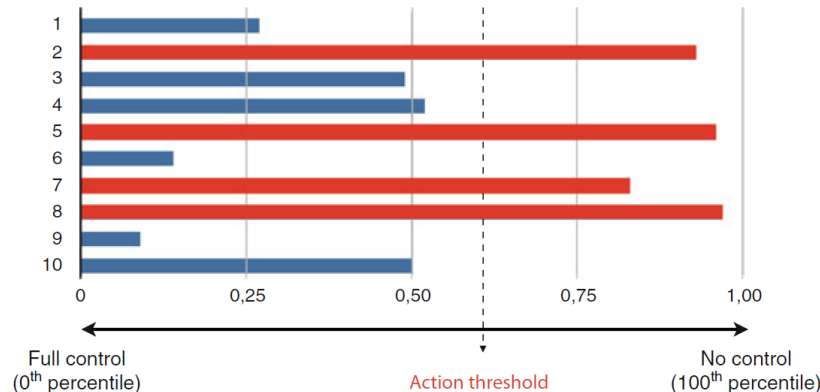
Dynamic Scheduling

Project Baseline Scheduling, Risk Analysis y Project Control son pasos cruciales en la vida de un proyecto.

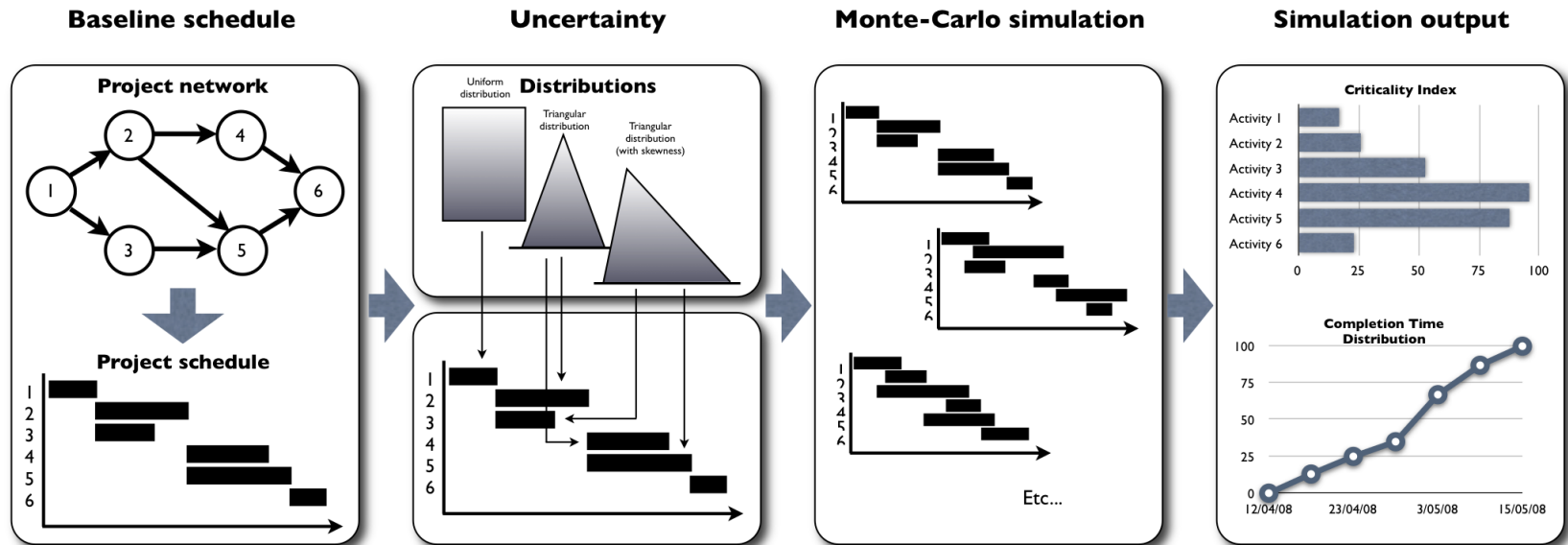
- **Baseline Scheduling:** elaborar un calendario que indique una fecha de inicio y finalización de cada actividad del proyecto, teniendo en cuenta las relaciones entre las actividades, las limitaciones de recursos y otras características del proyecto, y con el objetivo de alcanzar un determinado objetivo de programación.
- **Schedule Risk Analysis:** analizar los puntos fuertes y débiles del calendario de referencia de un proyecto a fin de obtener información sobre la [sensibilidad de la programación](#) y los posibles cambios que sin duda se producen durante la marcha del proyecto.

Dynamic Scheduling

- **Project Control:** medir el rendimiento (tiempo y costo) de un proyecto durante su avance y utilizar la información obtenida durante las etapas de programación de la línea de base y de análisis de riesgos para supervisar y actualizar el proyecto y **adoptar medidas correctivas** en caso de problemas.



Schedule Risk Analysis

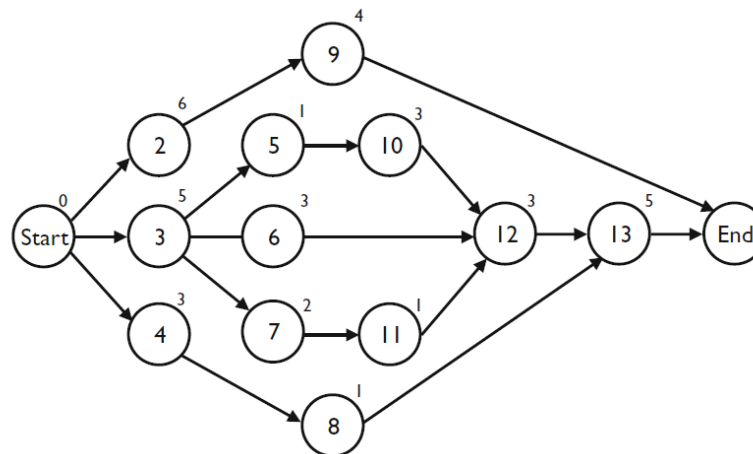


La secuencia de actividades que deben seguirse para aplicar el procedimiento **SRA** se puede describir en los siguientes puntos:

- Cronograma de referencia
- Definir incertidumbre
- Simulación de Monte Carlo
- Análisis de Resultados

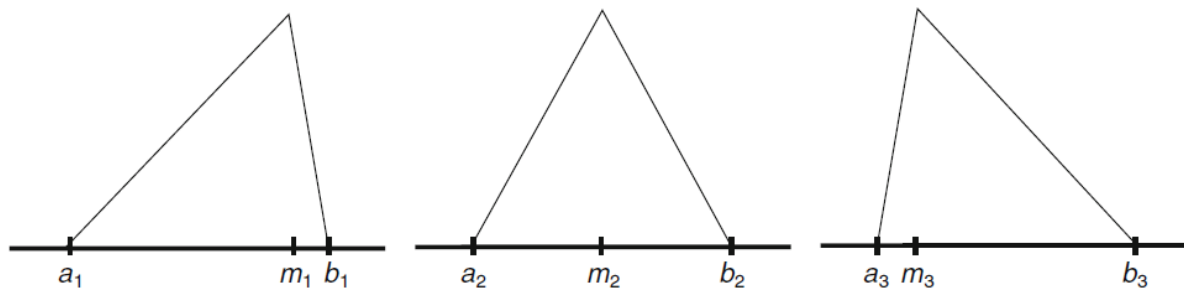
Schedule Risk Analysis

- **Baseline Schedule:** La definición de la línea de base de la programación es el componente clave de la evaluación cuantificada del riesgo porque actúa como punto de referencia para todos los cálculos realizados durante la simulación posterior. Proporciona información sobre la duración prevista del proyecto, las fechas de inicio y finalización de las actividades y sobre la utilización de varios tipos de recursos a lo largo del tiempo.



Schedule Risk Analysis

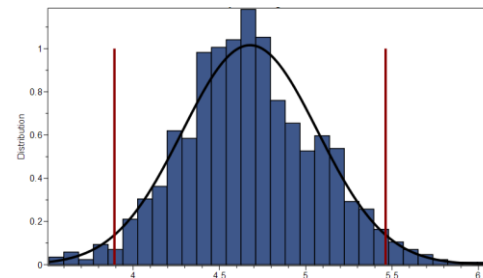
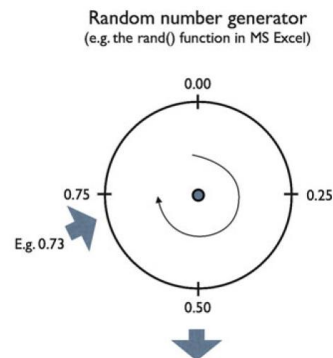
- **Incertidumbre:** La duración de las actividades está sujeta a un margen de error (incertidumbre), que da lugar a variaciones inesperadas en la duración de las actividades. Para ello se determina la función de distribución más adecuada del comportamiento de la actividad, que se incorporará a la fase de simulación.



Funciones de distribución triangular: sesgo hacia valores mínimos, simétrico sin sesgo y sesgo hacia valores máximos

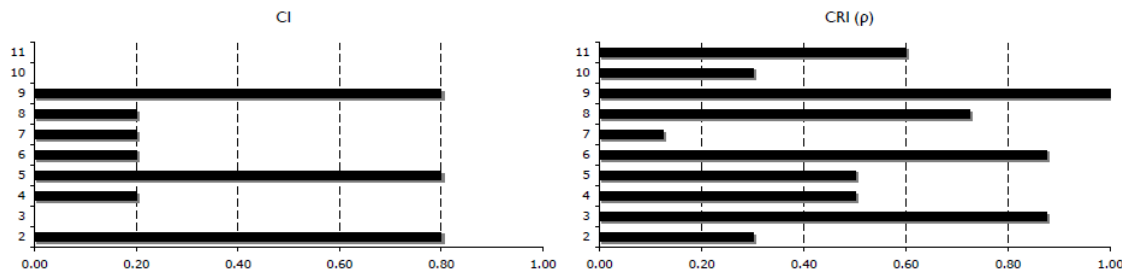
Schedule Risk Analysis

- **Simulando la planificación del proyecto:** Una vez que las funciones de distribución de la duración correspondiente a cada actividad se han determinado, se aplica la Simulación de Monte Carlo como una de las técnicas probabilísticas más extendidas para las previsiones conceptuales de duraciones y toma de decisiones. Durante cada simulación, se asigna una duración aleatoria a cada actividad según su distribución función. Por lo tanto, para cada simulación, la duración del proyecto es diferente.



Schedule Risk Analysis

- **Análisis de sensibilidad.** Durante cada simulación, se recogen datos de duración para todas las actividades del proyecto y la duración total del proyecto. Con estos datos, se realiza un análisis de sensibilidad para conocer la **influencia de cada actividad en la duración total del proyecto**. El resultado obtenido para cada actividad informa sobre la **importancia de esta actividad** para el proyecto y cómo la variación de los parámetros de la primera afecta a la segunda.



Índices de Sensibilidad

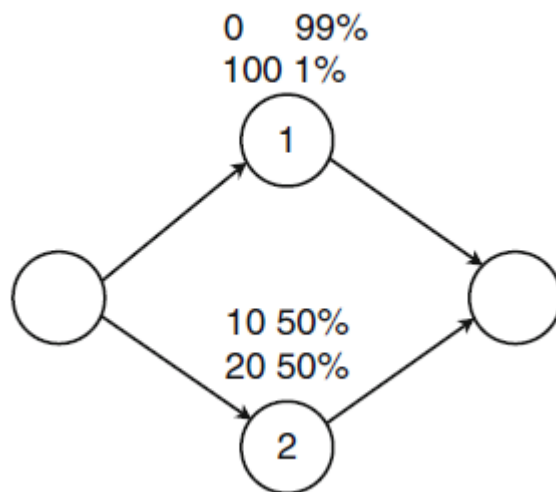
Índice de Criticidad - C_i : Probabilidad de que una actividad pertenezca al camino crítico.

- Cuando el análisis PERT comenzó, las redes de proyecto eran analizadas utilizando métodos deterministas
- En **análisis deterministas**, el término “**Criticidad**” está bien definido: una actividad es crítica si pertenece al camino crítico.
- Cuando las duraciones son inciertas (poseen **incertidumbre**) existe una métrica comúnmente utilizada para medir la criticidad de una actividad: se puede calcular señalando el número de iteraciones en las que la actividad es crítica.

Sin embargo, esta definición tiene **varios defectos**

Índices de Sensibilidad

- El uso del índice de criticidad CI ha sido criticado en toda la literatura ya que **se basa en consideraciones probabilísticas**, que están muy lejos de la visión de la dirección sobre el proyecto.
- Además, la métrica **sólo considera probabilidades**, mientras que generalmente se sabe que el riesgo de una actividad depende de una combinación de probabilidad e impacto.



La actividad 1 tiene el mayor impacto potencial en la duración del proyecto

$$CI_1 = 0,01 \text{ (1\%)}$$

$$CI_2 = 0,99 \text{ (99\%)}$$

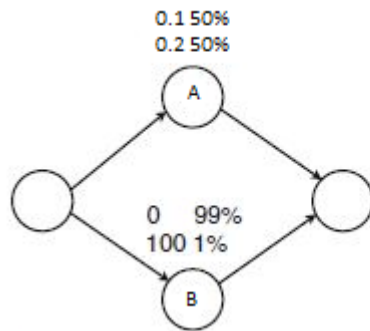


Índices de Sensibilidad

- La actividad 2 es la actividad más crítica (mayor índice de criticidad).
- La actividad que está causando principalmente el riesgo es la actividad 1, y pequeños ajustes en la actividad 2 no provocarán mucha diferencia en el riesgo.
- El riesgo en una actividad depende del impacto de varios resultados y de su probabilidad.
- El problema con la métrica Índice de Criticidad es que solo considera el primer aspecto (probabilidad).

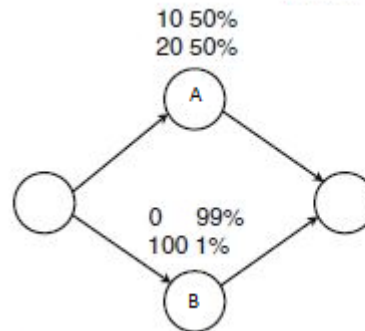
Índices de Sensibilidad

- Podemos hacer más importante a la actividad A sin modificar su índice de Criticidad.



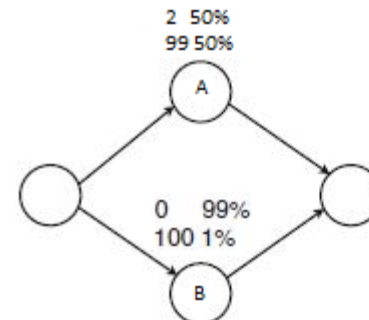
Duración del Proyecto
Valor Medio: 1.15
Std. desv.: 9.94

Índice de Criticidad
A: 99%
B: 1%



Duración del Proyecto
Valor Medio: 15.9
Std. desv.: 9.81

Índice de Criticidad
A: 99%
B: 1%



Duración del Proyecto
Valor Medio: 51.0
Std. desv.: 48.5

Índice de Criticidad
A: 99%
B: 1%

Índices de Sensibilidad

Criticality Index: CI

El índice de criticidad mide la probabilidad de que una actividad se encuentre en el camino crítico.

$$CI = \Pr(tf_i = 0). \quad \Pr, \text{ indica la probabilidad de } x$$

Puede calcularse fácilmente como la frecuencia de una actividad que es crítica en las ejecuciones de la simulación

$$\hat{CI} = \frac{1}{nrs} \sum_{k=1}^{nrs} \mathbf{1}(tf_i^k = 0),$$

nrs, número de simulaciones

$$\mathbf{1}(G) \equiv \begin{cases} 1, & \text{if } G \text{ is true,} \\ 0, & \text{if } G \text{ is false.} \end{cases}$$

Índices de Sensibilidad

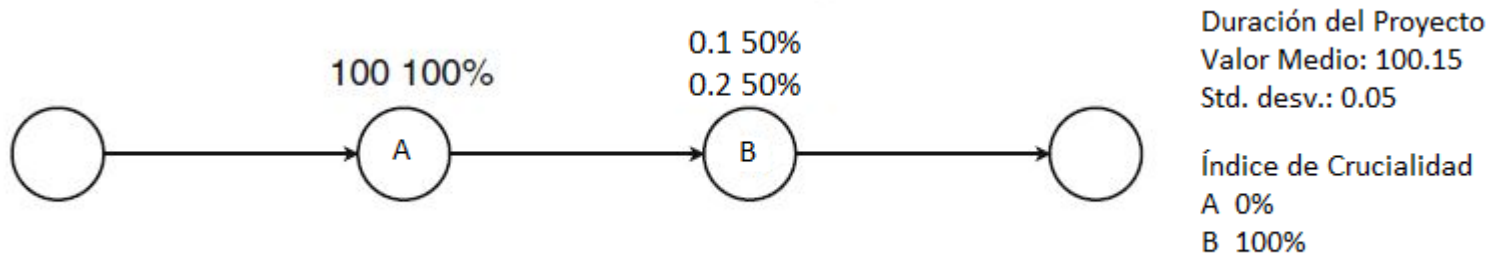
- Posibles soluciones: **Índice de Crucialidad - CrI**

Correlación entre la duración de la actividad y la duración total del proyecto

- Esta métrica tiene varias ventajas:
 - Se puede utilizar cuando existe limitación de recursos
 - Puede ser utilizada para medir la sensibilidad de la duración de las actividades y también para otros aspectos del proyecto (camino estocásticos).
- El índice de Crucialidad es un **indicador de la variabilidad de la actividad** en la duración del proyecto. Si la duración de una actividad es grande y la duración del proyecto es grande, y viceversa, la actividad tiene un alto Índice de Crucialidad

Índices de Sensibilidad

- El índice de Crucialidad puede producir resultados contra intuitivos, ya que **sólo muestra el efecto del riesgo** en la duración total del proyecto.
- Si una actividad no tiene incertidumbre, su índice de Crucialidad es 0, aunque pertenezca al camino crítico.



- A es la actividad más importante porque contribuye más a la duración absoluta del proyecto. Pero la **incertidumbre** del proyecto es aportada completamente por B

Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

$$CRI = | \text{Corr}\{\text{Activity Duration, Project Duration}\} |$$

Correlación entre la duración de la actividad y la duración total del proyecto

Esta medida refleja la importancia relativa de una actividad de una manera más intuitiva y calcula la parte de la incertidumbre de la duración total del proyecto que puede explicarse por la incertidumbre de una actividad.

Esta medida puede calcularse mediante:

Pearson's product-moment

Spearman's Rank Correlation

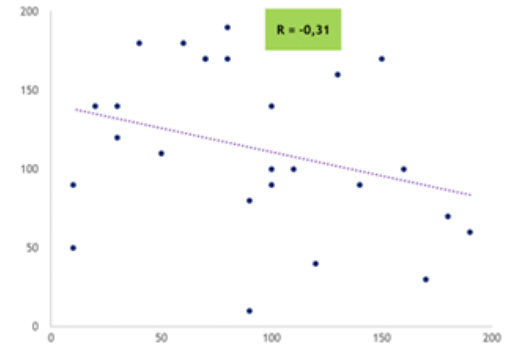
Kendall's tau rank correlation



Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

Pearson's Cruciality Index



- Medida tradicional del grado de **relación lineal** entre dos variables.
- La correlación es 1 en el caso de una relación lineal positiva clara
- - 1 en el caso de una relación lineal negativa
- y algún valor intermedio en todos los demás casos.
- Cuanto más cerca se encuentre el coeficiente de -1 o 1, mayor será el valor de más fuerte la correlación entre estas dos variables.

Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

Pearson's Cruciality Index

$$\widehat{\text{CRI}}(r) = \frac{\sum_{k=1}^{\text{nrs}} (d_i^k - \bar{d}_i)(\text{RD}^k - \overline{\text{RD}})}{\text{nrs} \sigma_{d_i} \sigma_{\text{RD}}}$$

$$\sigma_{d_i} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{\text{nrs}} (d_i^k - \bar{d}_i)^2}{\text{nrs}}} \text{ and } \sigma_{\text{RD}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{\text{nrs}} (\text{RD}^k - \overline{\text{RD}})^2}{\text{nrs}}}.$$

O también:

$$\text{CRI}(r) = \left| \frac{\sum \{(SAD - \overline{SAD}) * (SPD - \overline{SPD})\}}{\sqrt{\sum (SAD - \overline{SAD})^2 * \sum (SPD - \overline{SPD})^2}} \right|$$

| x |

Corr{x,y}

SAD

SPD

The absolute value of x

The correlation between x and y

The simulated activity duration

The simulated project duration

Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

Spearman's Cruciality Index

- El $CRI(\rho)$ asume que los valores de las variables (es decir, la duración de la actividad y la duración de los proyectos) se convierten en rangos, seguidos del cálculo de la diferencia entre los rangos de cada observación de las dos variables.
- Mide el grado de correspondencia entre dos clasificaciones y evalúa la importancia de esta correspondencia

Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

Spearman's Cruciality Index

$$\widehat{\text{CRI}}(\rho) = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^{\text{nrs}} \delta_k^2}{\text{nrs}(\text{nrs}^2 - 1)}$$

Donde δ_k es la diferencia entre los valores del ranking de la duración de la actividad y la duración real

Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

Kendall's Tau Cruciality Index

- El $CRI(\tau)$ asume que los valores de las variables (es decir, la duración de la actividad y la duración del proyecto) se convierten en rangos, mide el grado de correspondencia entre dos rankings y evalúa la importancia de esta correspondencia.
- El indicador calculado según esta fórmula tiene en cuenta las **posibles no linealidades** convirtiendo los valores de las variables en rangos

Índices de Sensibilidad

Cruciality Index: CRI

Kendall's Tau Cruciality Index

$$CRI(\tau) = \frac{4P}{nrs(nrs - 1)} - 1$$

donde P se usa para representar el número de pares concordantes de las variables di y RD.

O también:

$$\widehat{CRI}(\tau) = \left[\frac{4}{nrs(nrs - 1)} \sum_{k=1}^{nrs-1} \sum_{\ell=k+1}^{nrs} \mathbf{1} \{ (d_i^\ell - d_i^k)(RD^\ell - RD^k) > 0 \} \right] - 1.$$

Índices de Sensibilidad

- Por lo tanto, ambos indicadores (Índice de Criticidad e Índice de Crucialidad) ofrecen información complementaria para tomar decisiones.
- Actividades con alta **Crucialidad** deberán ser tratadas debido a la **incertidumbre** que crean sobre el proyecto.
- Actividades con alta **Criticidad** deberán ser **acortadas**, pues son susceptibles de convertirse en "cuellos de botella".

Índices de Sensibilidad

Significance Index (SI): Mide la importancia relativa de la actividad

$$SI = E \left(\frac{d_i}{d_i + tf_i} \cdot \frac{RD}{E(RD)} \right)$$

$E(x)$ indica el valor esperado de x

d_i , duración de la actividad i

tf_i , holgura de la actividad i

RD , duración real

La SI se ha definido como una respuesta parcial a las críticas del CI. En lugar de expresar la criticidad de una actividad mediante el concepto de probabilidad, el SI tiene como objetivo exponer la importancia de las actividades individuales en la duración total del proyecto.

Índices de Sensibilidad

Schedule Sensitivity Index: SSI

$$SSI = \left[\sqrt{\frac{\text{Var}(d_i)}{\text{Var}(\text{RD})}} \right] \cdot \text{CI}$$

$\text{Var}(x)$, indica la varianza de x

CI, índice de criticidad

RD, duración real

El PMBoK menciona el análisis cuantitativo de riesgos como uno de los muchos métodos de evaluación de riesgos y propone combinar la duración de la actividad y las desviaciones estándar de la duración del proyecto (σ_{di} y σ_{RD}) con el índice de criticidad. Se le conoce como el Índice de Sensibilidad de Programación (Schedule Sensitivity Index, SSI).

Índices de Sensibilidad

Management-Oriented Index: MOI

$$MOI_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{max}} \frac{1}{(E(TF_i) - Post_Density_i + 1)}$$

$$Post_Density_i = \frac{Total\ Successor\ s_i}{n}$$

Donde $E(TF_i)$ es el valor esperado de la holgura de la actividad i .
 $Post_Density_i$ equivale al número total de sucesoras de la actividad i ,
dividido entre el número total de actividades del proyecto

Esta métrica fue la primera en combinar la información de actividad con la información de la red topológica

Índices de Sensibilidad

RESUMEN

nrS	Number of simulation runs (index $s = 1, \dots, nrS$)
d_i^s	Duration of activity i during simulation run s
c_i^s	Cost of activity i during simulation run s
s_i^s	Slack of activity i during simulation run s
RD^s	Real duration of the project under simulation run s
RC^s	Real cost of the project under simulation run s

$\mathbf{1}(G)$	General indicator function $\equiv \begin{cases} 1, & \text{if } G \text{ is true,} \\ 0, & \text{if } G \text{ is false.} \end{cases}$
$\delta_{dur,s}$	Difference between ranking values of d_i^s and RD^s of simulation run $s = rank(d_i^s) - rank(RD^s)$ for $s = 1, \dots, nrS$
$\delta_{cost,s}$	Difference between ranking values of c_i^s and RC^s of simulation run $s = rank(c_i^s) - rank(RC^s)$ for $s = 1, \dots, nrS$
$\overline{X}$	Average value of the variable X $= \sum_{s=1}^{nrS} \frac{X^s}{nrS}$
σ_X	Standard deviation of the variable X $= \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^{nrS} (X^s - \overline{X})^2}{nrS - 1}}$

Índices de Sensibilidad

CI

Criticality Index

→ Probability that an activity lies on the critical path

$$= \frac{1}{nrS} \sum_{s=1}^{nrS} \mathbf{1}(s_i^s = 0)$$

SI

Significance Index

→ Measures the relative importance of an activity i

$$= \frac{1}{nrS} \sum_{s=1}^{nrS} \left(\frac{d_i^s}{d_i^s + s_i^s} \frac{RD^s}{\overline{RD}} \right)$$

SSI

Schedule Sensitivity Index

→ Measures the criticality and significance of an activity i

$$= \frac{\sigma_{d_i}}{\sigma_{RD}} \text{CI}$$

Índices de Sensibilidad

CRI(r) Cruciality Index

→ Pearson's product moment correlation

$$= \frac{\sum_{s=1}^{nrS} (d_i^s - \bar{d}_i)(RD^s - \overline{RD})}{(nrS - 1)\sigma_{d_i}\sigma_{RD}} \text{ or } \frac{\sum_{s=1}^{nrS} (c_i^s - \bar{c}_i)(RC^s - \overline{RC})}{(nrS - 1)\sigma_{c_i}\sigma_{RC}}$$

CRI(ρ) Cruciality Index

→ Spearman's rank correlation

$$= 1 - \frac{6}{nrS(nrS^2 - 1)} \sum_{s=1}^{nrS} \delta_{dur,s}^2 \text{ or } 1 - \frac{6}{nrS(nrS^2 - 1)} \sum_{s=1}^{nrS} \delta_{cost,s}^2$$

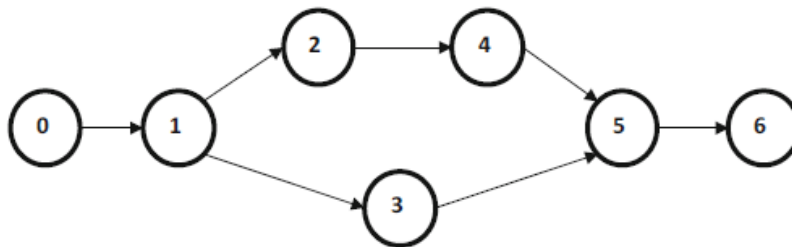
CRI(τ) Cruciality Index

→ Kendall's tau rank correlation

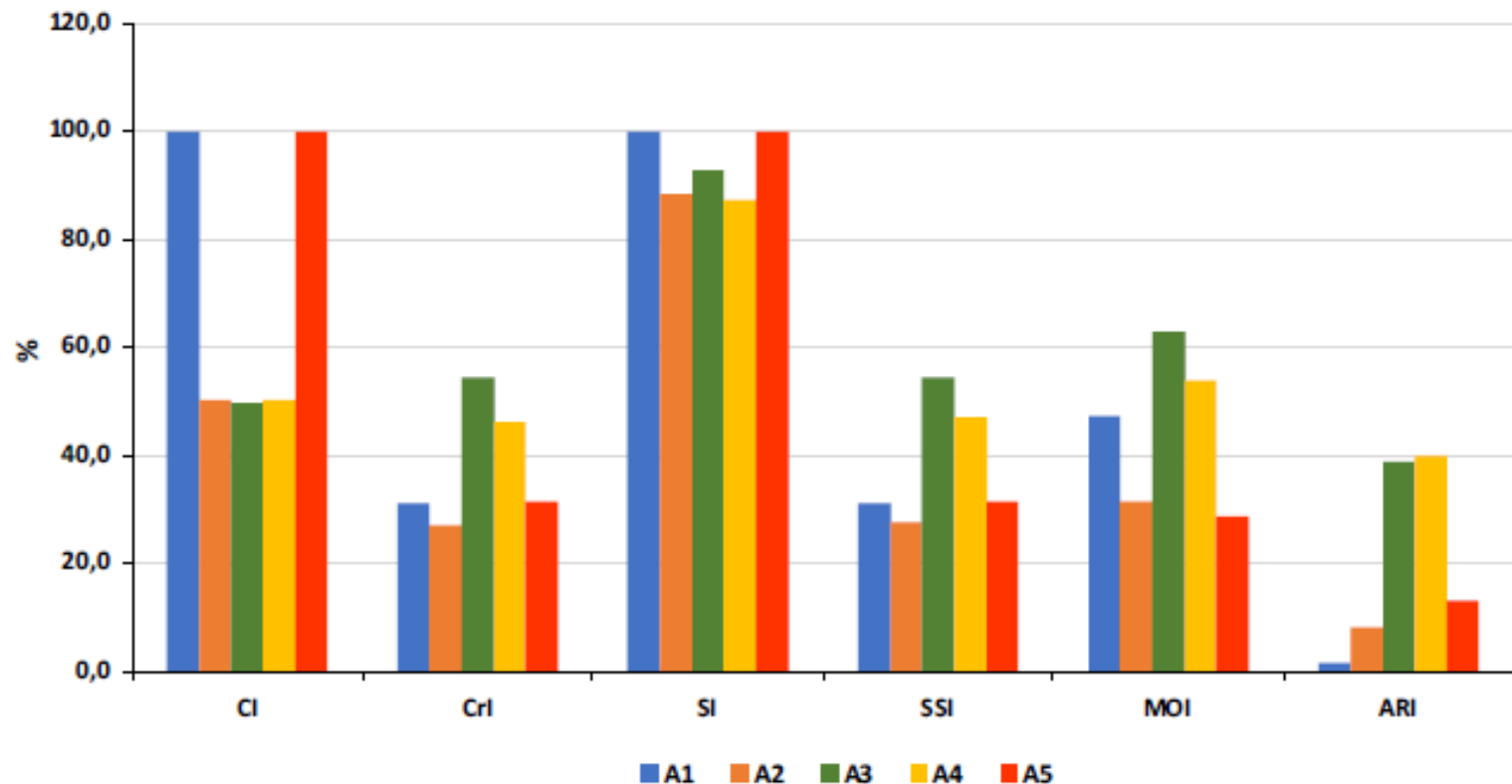
$$= \left[\frac{4}{nrS(nrS - 1)} \sum_{s=1}^{nrS-1} \sum_{\ell=s+1}^{nrS} \mathbf{1} \{ (d_i^\ell - d_i^s)(RD^\ell - RD^s) > 0 \} \right] - 1$$

$$\text{or } \left[\frac{4}{nrS(nrS - 1)} \sum_{s=1}^{nrS-1} \sum_{\ell=s+1}^{nrS} \mathbf{1} \{ (c_i^\ell - c_i^s)(RC^\ell - RC^s) > 0 \} \right] - 1$$

Índices de Sensibilidad



Activity	μ (time units)	σ (time units)	Precedents activities
A1	5	0,4000	–
A2	5	0,7000	A1
A3	10	1,4000	A1
A4	5	1,2000	A2
A5	5	0,4000	A3, A4



Project Control

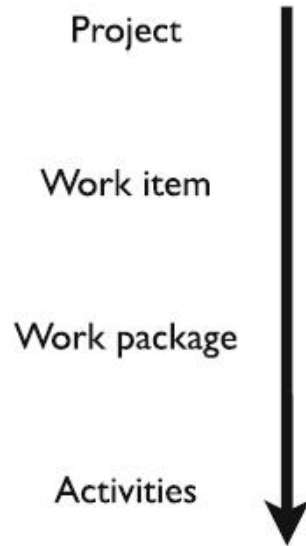
- Un **control** eficiente del proyecto requiere una gestión centrada en los elementos de riesgo del proyecto y acciones correctivas cuando sea necesario que contribuyan al éxito general del proyecto.
- El nivel óptimo de **control** se puede definir en el plan del proyecto definiendo las partes del proyecto que requieren un alto grado de atención.
- La construcción de una estructura de división del trabajo (**WBS**) es un paso importante en la gestión y el dominio de la complejidad inherente a un proyecto.
- Implica la descomposición de los principales **entregables** del proyecto en componentes más pequeños y manejables hasta que los entregables se definan con suficiente detalle para apoyar el desarrollo de las actividades del proyecto.

Project Control

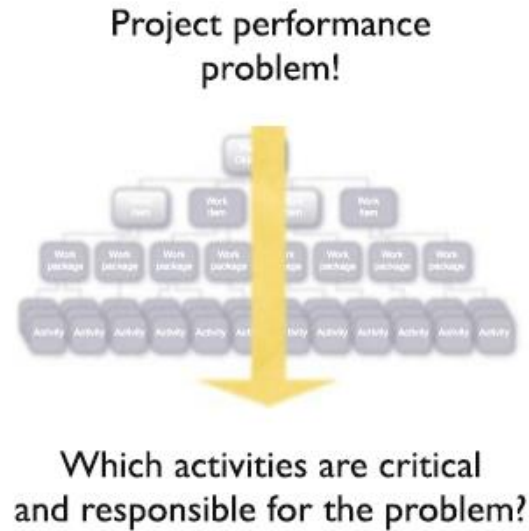
- El WBS se visualiza a menudo gráficamente como un árbol jerárquico y tiene varios niveles de detalle.
- El nodo principal da un valor de descripción del alcance del proyecto. Debajo de este nodo raíz, se pueden definir varios niveles.
- El segundo nivel es el nivel de los elementos de trabajo en los que se encuentra el alcance del proyecto. desglosado en piezas manejables (ítems) para poder hacer frente al proyecto complejidad.
- El nivel WBS inferior se utiliza para las operaciones de proyecto
- Se muestran dos WBS ficticios para ilustrar la relevancia y el uso de los dos enfoques alternativos de **control de proyectos**.

Project Control

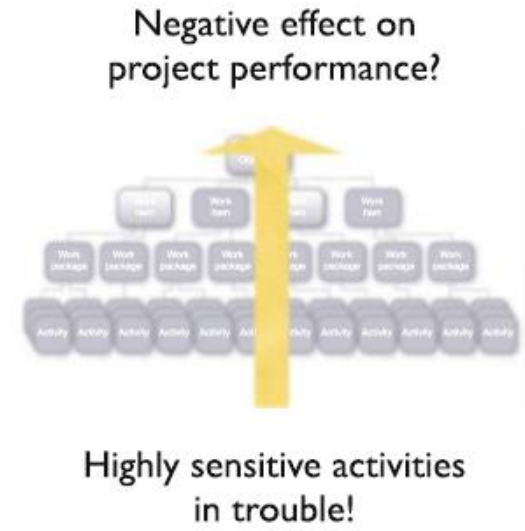
WBS levels



EVM: top-down



SRA: bottom-up

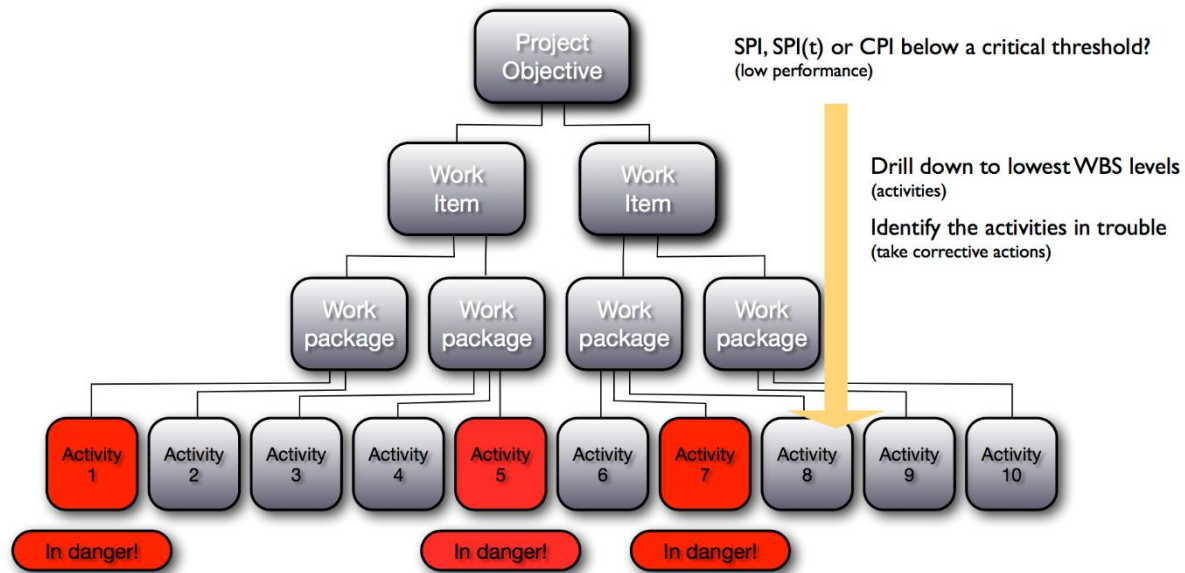


El **top-down Project control** se utiliza para referirse a un enfoque descendente, comenzando con mediciones en el nivel superior del WBS para detectar problemas u oportunidades en el nivel de actividad más bajo.

El **botón-up Project control** se refiere a un enfoque de control opuesto en el que la información de la actividad se utiliza para controlar el rendimiento del proyecto.

Project Control

Seguimiento de proyectos top-down



- Un proceso de seguimiento de proyectos se basa en información general sobre el rendimiento del proyecto que puede utilizarse para activar el proceso de toma de decisiones de acción correctiva basado en la actividad en los niveles inferiores del WBS.

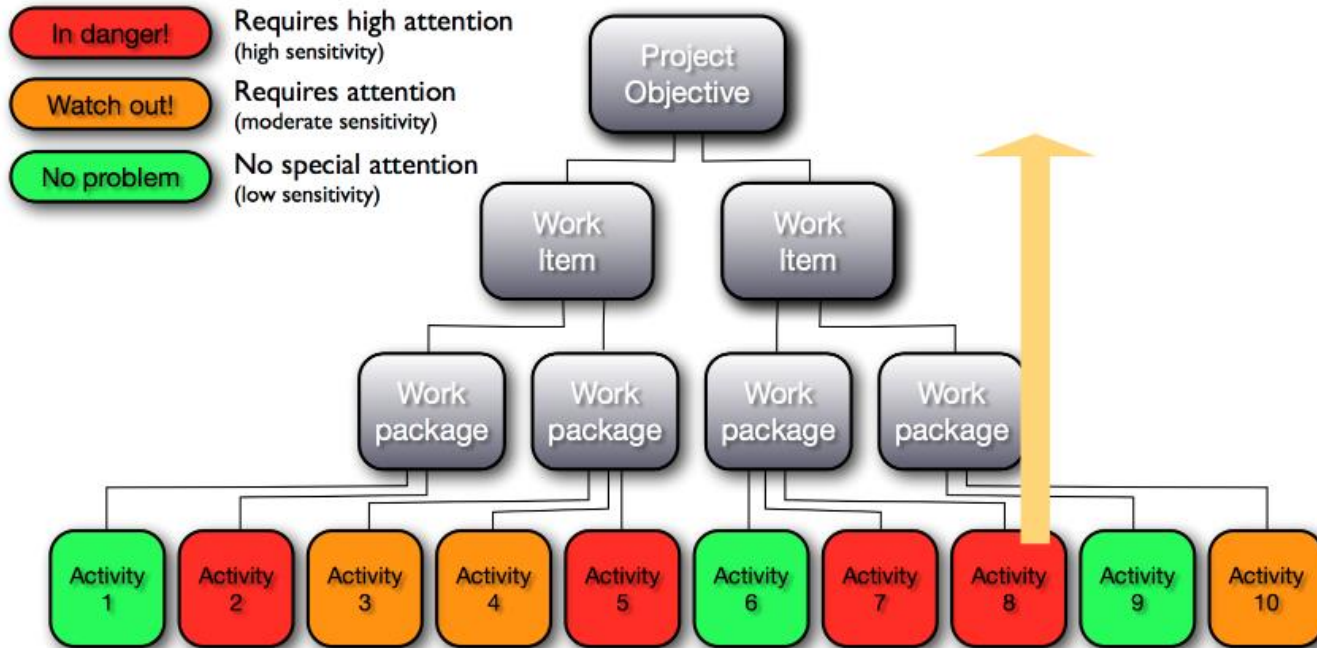
Project Control

Seguimiento de proyectos top-down

- EVM proporciona índices de rendimiento de costes y plazos de un proyecto (**CPI, SPI o SPI(t)**) y proporciona un rendimiento global basado en la información del proyecto.
- El director de proyecto puede decidir tomar acciones correctivas cuando un el estado de ejecución del proyecto desciende por debajo de un **umbral crítico** (por ejemplo, $SPI(t) < 0,75$).
- Si las acciones correctivas son necesarias, el director de proyecto necesita profundizar en los niveles más inferiores de la WBS (hasta el nivel de la actividad individual) y tomar las medidas correctivas apropiadas sobre aquellas actividades que están en problemas (especialmente aquellas actividades que pertenecen al camino crítico).

Project Control

Seguimiento de proyectos bottom-up



- Es necesario un enfoque de seguimiento de proyectos basado en actividades (es decir, a niveles de WBS inferiores a los que se suelen aplicar a las medidas de rendimiento basadas en el Valor Ganado) en caso de que no se aplique la gestión eficaz de los proyectos o no se proporcionen índices fiables de rendimiento de los proyectos.

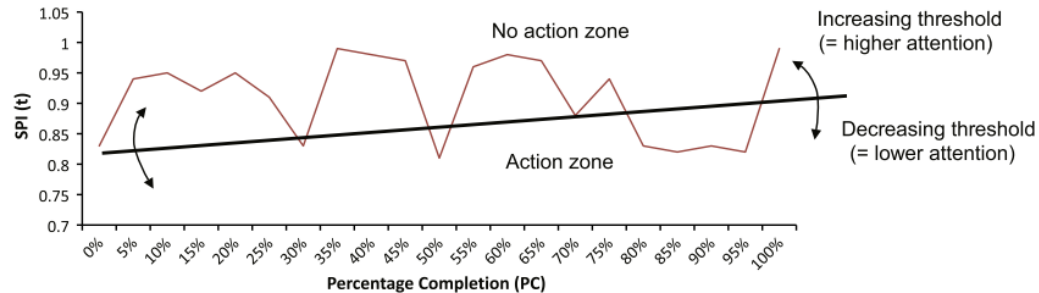
Project Control

Seguimiento de proyectos bottom-up

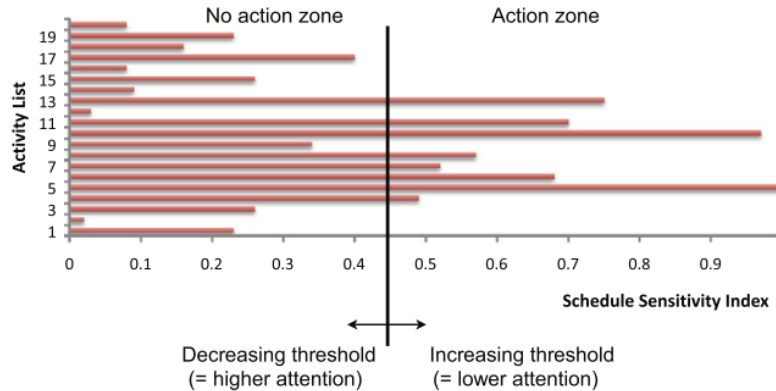
- Pero a menudo, exige un control más fuerte sobre un subconjunto más grande de actividades y un proceso de decisión de seguimiento continuo basado en el camino crítico.
- En este caso, la información de las actividades individuales es necesaria para gestionar eficazmente el seguimiento del proyecto y el proceso de toma de decisiones de acciones correctivas con el fin de mejorar el rendimiento general del proyecto.
- Las medidas fiables de **sensibilidad** a la actividad basadas en la SRA proporcionan directrices generales en las que debe centrarse un director de proyecto.
- Permite al director del proyecto restringir su atención sólo a una parte (altamente sensible) del proyecto, sin dejar de ser capaz de proporcionar una respuesta precisa durante el seguimiento del proyecto con el fin de controlar el rendimiento general del proyecto.

Project Control

Top-down tracking method

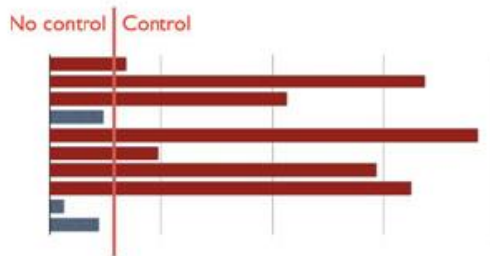


Bottom-up tracking method

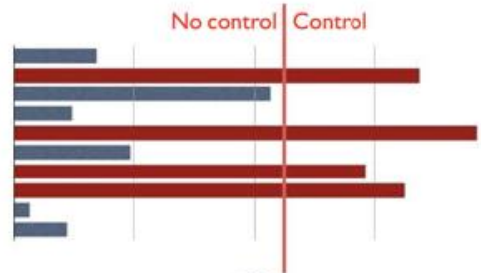


- Los umbrales de acción deben ser establecidos por el director del proyecto utilizando la información de sensibilidad a las actividades para centrar su atención en las actividades más arriesgadas del proyecto.

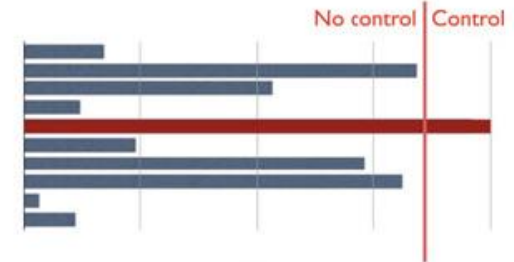
Project Control



The control freak



The efficient manager



The lazy manager

