



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

**MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**  
**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DESARROLLO DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN DEL  
RIESGO ESTACIONAL DE PROYECTOS**

Autor: D. Raúl Gómez Barajas  
Tutor: D. Adolfo López Paredes  
Tutor: D. Javier Pajares Gutiérrez  
Valladolid, Abril, 2016



## RESUMEN

En este Trabajo Fin de Máster hemos realizado un estado del arte sobre los principales indicadores más utilizados en dirección de proyectos, la integración del riesgo en forma de indicadores, el estudio de la variabilidad de la duración en un proyecto en función de la variación de la duración de las actividades y los riesgos estacionales. A partir de simulaciones realizadas en distintas redes de proyectos y mediante la Simulación de Montecarlo, damos respuesta al comportamiento de la Schedule Risk Baseline (SRB) cuando existen riesgos estacionales, damos a conocer la existencia del error cometido cuando se trata de integrar este riesgo en una única distribución de probabilidad y estudiamos el comportamiento de la SRB ante variaciones en las duraciones medias de las actividades que componen el proyecto. Y, por último, al comprobar que este comportamiento de la SRB, al igual que otros autores demostraron con la varianza del proyecto, es difícil de predecir, desarrollamos un indicador, Risk Baseline Index (RBI), que representa la mejora o el empeoramiento de la variabilidad del proyecto.

## ABSTRACT

We performed a state of art in This End Master of art on the main index most commonly used in Project Management, the integration of the risk as index, the study of the variability of the project durations based on the variation of the duration of activities and seasonal risks. From simulations realized on different networks projects and by Montecarlo Simulations, we respond to the behavior of the Schedule Risk Baseline (SRB) when there are seasonal risks, we give to know the error when this risk is include in only one probability distribution and we study the behavior of the SRB to changes in the mean durations of the activities of the project. And finally, how it's difficult to make a forecast of this behavior, as other authors prove with the project variance, we develop an index, Risk Baseline Index, which represents the improvement or worsening of the project variability.



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Adolfo López y a Javier Pajares el haberme dedicado su tiempo para llevar a cabo este apasionante Trabajo Fin de Máster. He disfrutado y aprendido mucho.

A mis padres, a Tino y a Julia por haberme ayudado y apoyado para realizar este máster.

Y el más importante de todos es para M<sup>a</sup> Paz, eres mi fuerza y mi energía. Lo que has hecho a lo largo de todo el máster no tiene precio. Gracias a ti y por ti, soy quién soy. Sin ti, nada de esto habría sido posible.



## CONTENIDO

<b>Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Estructura del documento.....	1
<b>Capítulo 2 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>3</b>
2.1 Indicadores en la metodología de la Gestión del Valor Ganado (EVM).....	3
2.2 The Cost Control Index (CCoI) and the Schedule Control Index (SCoI).....	6
2.3 Indicadores de Criticidad y Crucialidad.....	7
2.4 Sensibilidad de la variabilidad del proyecto a la duración media y varianza de las actividades.....	9
2.5 Riesgos estacionales.....	9
2.6 Conclusiones.....	11
<b>Capítulo 3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
3.1 Redes de proyectos.....	13
3.2 Crystal Ball. Simulación de Montecarlo.....	17
3.3 Cálculo de la Schedule Risk Baseline (SRB).....	17
3.4 Error en la estimación en el caso de que exista riesgo estacional.....	18
3.5 Variación en la duración o en la varianza de las actividades.....	19
3.6 Risk Baseline Index (RBI).....	20
<b>Capítulo 4 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....</b>	<b>21</b>
4.1 Resultados de las SRB.....	21
4.2 Error en la estimación en el caso de que exista riesgo estacional.....	25
4.3 Variación en la duración o en la varianza de las actividades.....	27
4.4 Conclusiones.....	32
<b>Capítulo 5 RISK BASELINE INDEX SIN RIESGO ESTACIONAL.....</b>	<b>33</b>
5.1 Introducción.....	33
5.2 Resultados Acebes et al. sin riesgo estacional.....	35
5.2.1. Actividades 1, 4 y 7. Camino 1.....	36
5.2.2. Actividades 2 y 5. Camino 2.....	40
5.2.3. Actividades 3, 6 y 8. Camino 4.....	42
5.3 Conclusiones.....	45
<b>Capítulo 6 RISK BASELINE INDEX CON RIESGO ESTACIONAL.....</b>	<b>47</b>
6.1 Proyecto mes de mayo.....	47
6.2 Proyecto mes de noviembre.....	48
6.3 Conclusiones.....	56

<b>Capítulo 7 CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
7.1 Conclusiones.....	57
7.2 Principales aportaciones.....	61
7.3 Líneas futuras de investigación.....	61
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>65</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>67</b>



## **Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Introducción.**

En la presente memoria se desarrolla el Trabajo Fin de Máster (TFM) de la titulación Máster en Ingeniería Industrial por la Universidad de Valladolid. Es un trabajo de investigación que surge a partir de un artículo de Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014 que explora el efecto de los riesgos estacionales en proyectos.

Al asignar duraciones deterministas a las actividades que componen un proyecto no existen problemas de variabilidad en las duraciones de los proyectos. Sin embargo, en los proyectos reales, esto no es así, las actividades tienen duraciones variables que producen efectos no deseados, tales como, la incertidumbre o variabilidad en la duración de un proyecto. Además, pueden verse influenciadas por otros tipos de incertidumbre, por ejemplo, una incertidumbre aleatoria como es el riesgo estacional. Si se representa la variabilidad del trabajo remanente del proyecto en función de la programación respecto del tiempo, se obtiene la Schedule Risk Baseline (SRB) del proyecto.

Una vez realizada la programación de un proyecto, se pueden explorar distintos escenarios, asignando más o menos recursos a las actividades, lo que implica una variación en su duración y en la duración total del proyecto y su variabilidad. Por tanto, la SRB también será distinta para cada uno de esos escenarios.

Sería de gran ayuda disponer de un indicador que representase si un escenario es mejor que otro en términos de variabilidad del proyecto y, por tanto, de riesgo a la hora de realizar la programación de proyectos y facilitar su gestión.

### **1.2 Objetivo.**

El objetivo del TFM es el estudio del efecto de los riesgos estacionales en proyectos y desarrollar indicadores para su gestión.

Para ello, consideramos del riesgo estacional en otras redes proyectos, y otros riesgos estacionales distintos, al que aparece en Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014. Estudiamos, en un marco estocástico, la sensibilidad de la variabilidad de un proyecto frente a variaciones en las duraciones medias, o varianzas, de las actividades que lo componen, o cuando existen errores en las estimaciones de esas actividades y el desarrollo de indicadores para la gestión de proyectos con riesgos estacionales.

### **1.3 Estructura del documento.**

El presente TFM consta de ocho capítulos incluido este primer capítulo de introducción.

En el capítulo 2 realizamos un estado del arte sobre los principales indicadores utilizados en dirección de proyectos, factores importantes a la hora de realizar la programación de un

proyecto, como la criticidad y crucialidad, sensibilidad de la variabilidad de un proyecto a la duración media y varianza de las actividades y sobre el riesgo estacional.

En el capítulo 3 desarrollamos la metodología que se ha seguido en el TFM, donde también presentamos las redes de proyectos utilizadas y el indicador desarrollado (Risk Baseline Index, RBI).

El capítulo 4 contiene los resultados de las simulaciones de todas las redes de proyectos, y el estudio de los efectos de los riesgos estacionales frente a distintos escenarios.

Los capítulos 5 y 6 tratan del indicador Risk Baseline Index. El primero de ellos para un proyecto en el que no existe riesgo estacional y el capítulo 6 para dos escenarios distintos de riesgo.

En el capítulo 7 se exponen las conclusiones del TFM acompañadas de las posibles líneas futuras de investigación.

## Capítulo 2 ESTADO DEL ARTE.

El objetivo principal de este capítulo es realizar un estado del arte sobre los indicadores más importantes en la dirección de proyectos, la integración del riesgo en forma de indicadores, los parámetros importantes a tener en cuenta en la programación de un proyecto, la sensibilidad de la variabilidad del proyecto a variaciones en las actividades y sobre el riesgo estacional.

### 2.1 Indicadores en la metodología de la Gestión del Valor Ganado (EVM).

La EVM es una metodología de seguimiento y control de proyectos que sirve para comparar el desarrollo de un proyecto respecto a la planificación del mismo. Durante el ciclo de vida de un proyecto y ante los posibles cambios que puedan surgir, o se quieran realizar, también es útil para comprobar su impacto o implantación.

Según el PMBOK 5th Edition la EVM: “*es un método muy utilizado para la medición del desempeño*”. Integra las dimensiones de alcance, plazo y coste e indica, en unidades monetarias, el posible retraso o adelanto de las actividades, así como su infra/sobre coste, Pajares y López 2007.

La EVM maneja tres variables:

- Valor Planificado (Planned Value, PV): coste del trabajo realizado si se sigue la programación del proyecto. Esta variable coincide con la línea base de costes.
- Valor Ganado (Earned Value, EV): coste presupuestado del trabajo que se ha realizado.
- Coste Real (Actual Cost, AC): coste en el que se ha incurrido para el trabajo realizado.

Con estas tres variables se pueden construir las siguientes variaciones del proyecto:

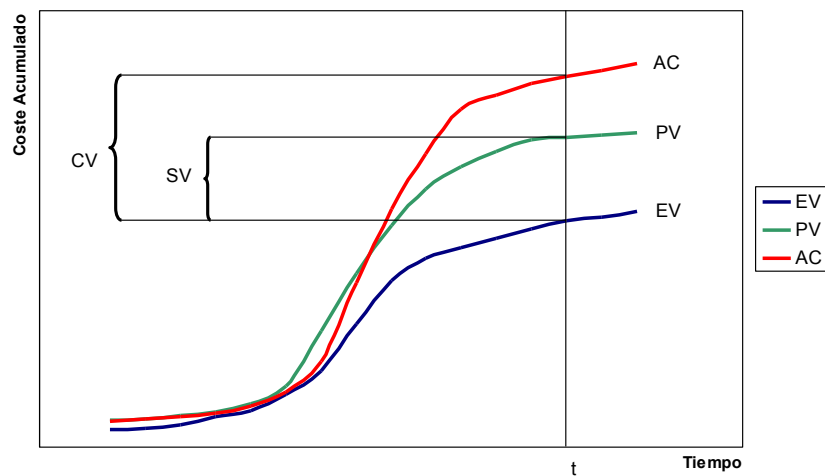
- Variación del cronograma (Schedule Variance, SV): se calcula como la diferencia de EV y PV. Refleja la posición del proyecto en función de la programación. La diferencia negativa indica que existe retraso respecto a la línea base del cronograma y la positiva que existe adelanto. Al finalizar el proyecto esta diferencia es cero.

$$SV = EV - PV \quad (1)$$

- Variación del coste (Cost Variance, CV): se calcula como la diferencia de EV y AC. Este indicador refleja si el proyecto se encuentra por encima o por debajo del presupuesto. La diferencia negativa indica que existe un sobrecoste y la positiva que existe un infracoste. La diferencia al final del proyecto será la diferencia entre el presupuesto y el coste total del proyecto.

$$CV = EV - AC \quad (2)$$

En la figura 2.1 se encuentran graficadas la evolución de las tres variables fundamentales de la EVM en función del tiempo y las varianzas en un determinado tiempo de un proyecto.



**Figura 2.1:** Variables fundamentales y varianzas.

Estas tres variables también se pueden poner en forma de indicadores permitiendo comparar proyectos de distintos tamaños, Pajares y López 2007. Estos indicadores son:

- Índice de desempeño del cronograma (Schedule Performance Index, SPI): se calcula como el cociente de EV por PV. Nos indica cómo de eficientemente se usa el tiempo, Practice Standard for Earned Value Management 2nd Edition. Si es igual a la unidad, significa, que el proyecto se encuentra según lo planeado. Si es inferior a uno, el proyecto está retrasado y si es superior a uno, el proyecto se encuentra por delante de la línea base del cronograma.

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (3)$$

- Índice de desempeño del coste (Cost Performance Index, CPI): se calcula como el cociente de EV por AC. Nos indica como de eficientemente se usan los recursos en el proyecto, Practice Standard for Earned Value Management 2nd Edition. Si es igual a la unidad significa que se ha gastado según lo planificado. Si es inferior a uno el proyecto está incurriendo en sobrecostos y si es superior a uno existen infracostos.

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (4)$$

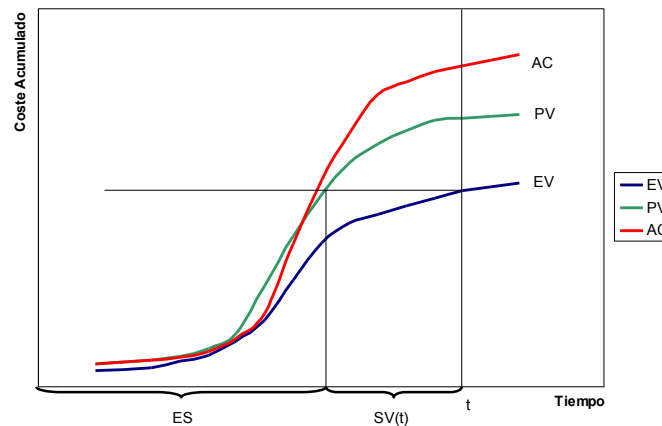
- Índice crítico (Critical Ratio, CR): se calcula como el producto de SPI por CPI.

$$CR = CPI \cdot SPI \quad (5)$$

Existen varias limitaciones de la EVM como se explica en el artículo de Pajares y López 2007, por ejemplo, la pérdida de la capacidad predictiva de SV y SPI. También proponen la utilización de la programación ganada (Earned Schedule, ES).

El proyecto finaliza todas las actividades han concluido, el EV coincidirá con el PV y, de esta forma, la SV, será cero. A medida que nos acerquemos al final la SV tenderá a cero. Sucede de igual forma con el SPI, que tenderá a uno y parecerá que existe una mejora en el proyecto, aunque este se encuentre muy retrasado. Por lo que queda constancia de la ineficacia de la capacidad predictiva de estas variables al finalizar el proyecto.

La ES tiene un concepto similar al EV pero en términos de plazo. La utilización de la ES se recomienda también en las conclusiones de Vanhoucke y Vandewoerde 2006. En la figura 2.2 se puede ver la ES:



**Figura 2.2:** Earned Schedule y Schedule Variance (t).

Los indicadores en términos de la ES son los siguientes:

- La ES es la fecha en la que el PV coincide con el EV actual. La forma matemática de calcularla para un determinado momento es la siguiente:

$$ES = t_A + \frac{EV - PV_A}{PV_B - PV_A} \quad (6)$$

- Varianza en plazo en función del tiempo (Schedule Variance (t), SV(t)): se calcula como la diferencia de ES y el tiempo en el que nos encontramos (Actual Time, AT).

$$SV(t) = ES - AT \quad (7)$$

- Índice de desempeño del cronograma en función del tiempo (Schedule Performance Index (t), SPI(t)): se calcula como el cociente de ES por AT.

$$SPI = \frac{ES}{AT} \quad (8)$$

## 2.2 The Cost Control Index (CCoI) and the Schedule Control Index (SCoI).

La incertidumbre, o variabilidad de un proyecto, se encuentra en todas las actividades cuando se ejecuta un proyecto real. En Pajares y López 2011, se propone una extensión de la EVM mediante dos nuevos indicadores para integrar la variabilidad del proyecto y el análisis del riesgo en el seguimiento de proyectos. Los indicadores son the Cost Control Index (CCoI) y the Schedule Control Index (SCoI). Que “*permiten analizar si el proyecto está adelantado respecto a la variabilidad o hay cambios estructurales y sistémicos sobre el ciclo de vida del proyecto*”.

Para construir los indicadores, los autores introducen el concepto de lo que es la Línea Base de Riesgos (Risk Baseline, RB), que es la representación del riesgo remanente del proyecto respecto del tiempo. Es decir, el riesgo en términos de variabilidad del trabajo de las actividades que quedan por hacer en coste o duración. En el caso de ser en coste se denomina Cost Risk Baseline (CRB) y si es en programación Schedule Risk Baseline (SRB).

A partir de estas baselines calculan los pesos para cada periodo de tiempo de la siguiente forma:

$$wc_t = CRB_{t-1} - CRB_t \quad (9)$$

$$ws_t = SRB_{t-1} - SRB_t \quad (10)$$

$$\sum_{t=1}^t wc_t = \sigma_{pc}^2 \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^t ws_t = \sigma_{ps}^2 \quad (12)$$

“c” se refiere a coste y “s” a schedule, programación El subíndice “p” indica que es del proyecto y “t” tiempo.

Crean los buffers CPBf para coste y SPBf para programación del proyecto, a partir, de un nivel de confianza y gracias a los datos estadísticos obtenidos a partir de una simulación:

$$CBf_t = wc_t \cdot \frac{CPB_f}{\sigma_{pc}^2} \quad (13)$$

$$SBf_t = ws_t \cdot \frac{SPB_f}{\sigma_{ps}^2} \quad (14)$$

Los acumulados serían:

$$ACBf_t = CBf_t + ACBf_{t-1} \quad (15)$$

$$ASBf_t = SBf_t + ASBf_{t-1} \quad (16)$$

Obteniendo finalmente los dos indicadores mediante la siguiente expresión:

$$CCoI_t = ACBf_{t=ES} + CV_t = ACBf_{t=ES} + EV - AC \quad (17)$$

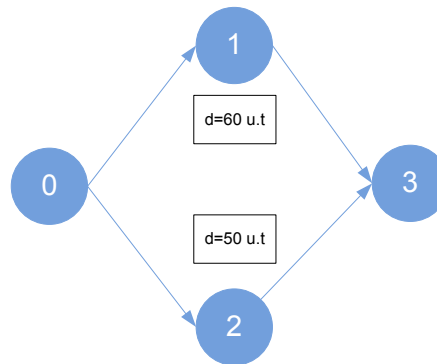
$$SCoI_t = ASBf_t + SV(t) = ASBf_t + ES + AT \quad (18)$$

Utilizaremos el concepto de Schedule Risk Baseline para el análisis del riesgo y construir un indicador para la gestión de riesgos en este TFM.

### 2.3 Indicadores de Criticidad y Crucialidad.

En la programación de proyectos, se utilizan metodologías como la del Método del Camino Crítico (CPM), Project Evaluation and Review Technique (PERT), etc. que permiten establecer la duración mínima de un proyecto y determinar la flexibilidad del mismo.

Para explicar el concepto de criticidad vamos a utilizar la red de proyecto de la figura 2.3, en la que los valores de las duraciones de las actividades son deterministas y la actividades 0 y 3 son ficticias de principio y fin respectivamente:



**Figura 2.3:** Diagrama de proyecto duraciones deterministas.

Observamos como el camino crítico (CC) se corresponde al camino superior. La actividad 1 siempre es crítica y la duración media del proyecto es de 60 u.t.

Pero, si asignamos a las actividades valores estocásticos en forma de funciones de distribución de probabilidad, o valores probabilísticos, para duración y/o coste y realizamos simulaciones del proyecto un número suficiente de veces, obtenemos una distribución de probabilidad de duración y/o coste del proyecto.

Para el ejemplo de la figura 2.3 si asignamos los valores de la tabla 2.1 a las duraciones de las actividades, el resultado es muy distinto. Nótese como la media de las duraciones de las actividades son las mismas que en la figura 2.3:

**Tabla 2.1.** Duración de actividades.

Actividades	Duración	Probabilidad
A1	50	0.5
	70	0.5
A2	0	0.8
	250	0.2

En este caso la actividad 1 pertenece al CC un 80% de las veces, y tras realizar las simulaciones, se obtienen una duración media de 98.16 u.t. y una varianza de 5876.79.

Por tanto, podemos definir la criticidad de un camino, y el valor de la criticidad de las actividades que lo componen, como el porcentaje en el que, éste es el camino crítico del proyecto.

Si se tiene en cuenta sólo valores deterministas y no incorporar la incertidumbre de las actividades, puede inducir a errores de estimación tanto de duración como de coste.

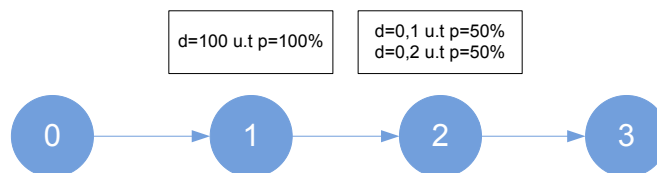
En Williams 1992 se demuestra cómo es necesario tener más indicadores, a parte de la criticidad, en el caso de que existan redes estocásticas o haya restricciones de recursos. Además, introduce el indicador de la crucialidad de las actividades.

Si en el ejemplo anterior, modificamos las duraciones de la actividad 1 según la tabla 2.2, la criticidad de dicha actividad continúa siendo la misma, pero, se hace más importante en lo que se refiere a la variación del riesgo del proyecto en términos de varianza:

**Tabla 2.2.** Duración de la actividad 1.

Actividades	Duración	Probabilidad	Var. Proyecto
A1	50	0.5	5876.79
	70	0.5	
A1'	40	0.5	6127.12
	80	0.5	
A1''	30	0.5	6531.48
	90	0.5	

Lo podemos ver fácilmente con el ejemplo de la figura 2.4, tomado de Williams 1992:



**Figura 2.4:** Diagrama de proyecto en serie.

Las actividades 0 y 3 son actividades ficticias de inicio y fin. La criticidad de las actividades 1 y 2 es del 100%, pero la crucialidad es distinta. La duración media del proyecto es de 100.15 u.t. y la varianza es de 0.0025. Aunque la actividad 1 contribuye más a la duración total del proyecto, la incertidumbre de éste depende únicamente de la actividad 2.

La crucialidad de una actividad, se define como la contribución de dicha actividad a la varianza del proyecto.

En este caso la crucialidad de la actividad 1 es del 0% y la de la actividad 2 es del 100%.

Con estos dos indicadores, concluimos que las actividades que tienen una criticidad alta, deben ser acortadas, pues son susceptibles de convertirse en cuellos de botella. Y debemos actuar en las que tienen alta crucialidad porque son las que generan la incertidumbre del proyecto.



## **2.4 Sensibilidad de la variabilidad del proyecto a la duración media y varianza de las actividades.**

En los trabajos de Cho, J. y Yun, B. 1997, Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999 y Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2013 se estudian los efectos de la variabilidad del proyecto cuando se someten a variaciones en las duraciones medias y en las varianzas de las actividades.

Las conclusiones más importantes a las que llegan estos autores son:

- Para proyectos en los que en la red existe un camino lo suficientemente más largo que el resto, la duración del proyecto se puede obtener como la suma de las duraciones medias de las actividades de ese camino dominante. La contribución de la incertidumbre de cada actividad en la del proyecto, se puede determinar analíticamente. Cho, J. y Yun, B. 1997
- Para proyectos en los que las duraciones de los caminos son parecidas esa aproximación analítica no es fiable. Cho, J. y Yun, B. 1997
- La magnitud de cambio en la duración de un proyecto depende de si la actividad, en la que se la realiza una variación en la duración media, pertenece a un camino con una alta criticidad y el número de caminos críticos. Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999.
- Aumentar la duración media de una actividad no produce una disminución de la duración media del proyecto. Sin embargo, puede producir un aumento o descenso de la varianza del proyecto. Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999
- La criticidad no es un indicador completamente significativo que asegure cómo la variación en la duración media de una actividad modifica la duración media del proyecto. La crucialidad es un indicador que provee una información adicional muy útil a este efecto. Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2013.

## **2.5 Riesgos estacionales.**

El riesgo estacional es tratado prácticamente en exclusividad en los trabajos de investigación de Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014 y en Acebes F. 2015. Por lo que todo lo que se cuenta en este apartado está referenciado respecto a estos dos trabajos.

Antes de dar una explicación de lo que son los riesgos estacionales, conviene distinguir entre los dos tipos de incertidumbres que generan riesgos y que se pueden encontrar en la distinta literatura especializada en el tema. Se habla de dos tipos de incertidumbres:

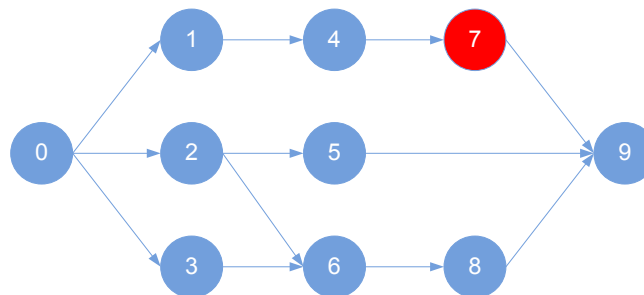
- Incertidumbre epistémica: consecuencia de eventos inesperados en un proyecto.
- Incertidumbre aleatoria: evento estadístico que puede suceder en un proyecto.

Los riesgos estacionales son un tipo de incertidumbre aleatoria, que pueden surgir en un periodo determinado de tiempo en el que se ejecuta un proyecto, o en su totalidad, provocando sobrecostos, o retrasos, debido a las variaciones en el esfuerzo del trabajo, varianzas en la productividad, etc. Para dar una definición más formal podemos partir de la que se da en Acebes, F. 2015 para Riesgo Ambiental, ya que éste, es un tipo de riesgo estacional: “*probabilidad de que un determinado proyecto tenga impactos ambientales adversos más allá de sus límites permitidos*”. Pero no se tiene que limitar sólo el riesgo estacional a riesgos meteorológicos, ya que pueden existir otros tipos de riesgos que sean estacionales y no ser meteorológicos. Por ejemplo, en ciertos periodos del año, la mayor duración y variabilidad en el tiempo de suministros por parte de proveedores, por parte de empresas de transporte que tengan que transportar el producto resultado del proyecto, etc.

Entonces, podemos dar la siguiente definición para Riesgo Estacional: evento estadístico aleatorio, que afectará al menos a una actividad del proyecto, que se produce en un periodo delimitado de tiempo, o a lo largo de todo el proyecto, y pudiendo, incluso, variar estadísticamente a lo largo del tiempo de ocurrencia.

Esta definición implica, que la actividad a la que se encuentra sometida este riesgo puede tomar distintas funciones de distribución dependiendo de si, cuando se ejecuta, se puede producir ese evento aleatorio, es decir, el riesgo estacional.

Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014 analizan la variabilidad producida por un riesgo estacional en la red de proyecto de la figura 2.5:



**Figura 2.5:** Diagrama de proyecto con riesgo estacional.

Ésta red, ya ha sido utilizada en otros trabajos de investigación anteriormente. Posee suficiente entidad sin caer en grandes complejidades. Tiene tres caminos paralelos, con diferentes duraciones y con actividades que pertenecen a varios caminos.

El proyecto consiste en una serie de actividades, con dos actividades de inicio y fin, la 0 y 9 respectivamente, en el que la actividad 7 se encuentra sometida a un riesgo estacional. Éste es en una incertidumbre meteorológica. Consiste en las heladas que se pueden producir en los distintos meses en Valladolid. Para cada uno de los meses hay una probabilidad distinta de que hiele.

Calculan la SRB para cada uno de los meses del año para estudiar la variación del nivel de riesgo, por lo que les permite conocer cuál es la mejor fecha para poder comenzar el proyecto con el menor riesgo posible. También, analizan la contribución del riesgo de las actividades a partir de la criticidad y crucialidad, llegando a la conclusión de que lo mejor es combinar distintos indicadores para entender la contribución de las actividades en el riesgo.

La actividad 7, actividad a la que se encuentra sometida al riesgo estacional, es la más importante, en términos de riesgo, cuando se ejecuta en meses en los que la probabilidad del riesgo es alta. Pero, también es importante resaltar que la importancia del resto de actividades también se ve modificada en función de cuándo comienza el proyecto, aunque no se encuentren sometidas directamente al riesgo estacional.

## 2.6 Conclusiones

En este capítulo hemos explorado los principales indicadores en dirección de proyectos de una metodología ampliamente utilizada y extendida como es la de la Gestión del Valor Ganado (EVM). A pesar de que la EVM integra el alcance, plazo y coste, no tiene en cuenta dimensiones importantes en la dirección de proyectos como, por ejemplo, la incertidumbre o variabilidad de un proyecto.

Hemos visto una extensión del EVM en la que se proponen unos indicadores para integrar el riesgo de los proyectos para su seguimiento y control como son the Schedule Control Index y the Cost Control Index.

Gracias a conceptos como criticidad y crucialidad, concluimos que las actividades con una criticidad alta, deben ser acortadas, pues son susceptibles de convertirse en cuellos de botella y debemos actuar en las que tienen una alta crucialidad porque son las que generan la incertidumbre del proyecto.

En los trabajos en los que se estudia la sensibilidad de la varianza del proyecto frente a variaciones de la media o la varianza, no se propone ninguna metodología para reducir la variabilidad del proyecto ni se explican por qué se producen esos efectos. Además, estos efectos se pueden ver influenciados si existen riesgos estacionales en alguna de las actividades del proyecto que habría que tener en cuenta.

Por tanto, no existe una metodología que explique qué sucede con la SRB cuando se varía la duración media o la varianza de las actividades, con o sin riesgos estacionales, ni existen indicadores que muestren si es conveniente, o no, disminuir o aumentar esa duración o varianza. Y queda por resolver cómo afectan los errores en las estimaciones de duración o varianza de las actividades.



### Capítulo 3 METODOLOGÍA.

En este capítulo, vamos a ver la metodología que hemos seguido para calcular las SRB de distintos proyectos y comprobar su comportamiento frente a variaciones de las duraciones y varianzas de las actividades. Además, describimos el proceso para comprobar cómo no es una buena aproximación, en el caso de proyectos que tengan una actividad afectada por riesgo estacional, integrar en una única función de distribución la duración de la actividad y el riesgo estacional, no discriminando cuando ocurre ese riesgo y cuando no. Y por último, definiremos el indicador desarrollado en este TFM que muestra si es conveniente o no realizar una acción determinada en alguna actividad.

#### 3.1 Redes de proyectos.

Los proyectos con los que se va a trabajar, van desde proyectos con redes sencillas, hasta llegar a redes de proyecto como con la que trabajaron en Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014 y en Acebes F. 2015, ya que como se ha dicho en el capítulo anterior, es un proyecto con suficiente entidad. Además se trabajará con otra red con una condición particular pero, de red similar, es el denominado: Red de proyecto riesgo actividad final.

Todos los proyectos aquí descritos se encuentran sometidos al mismo riesgo estacional que el proyecto del trabajo antes mencionado, a excepción del que se ha denominado como Red de proyecto riesgo actividad final y, del cual, se describirá el riesgo en el apartado correspondiente. El riesgo consiste en la posibilidad de helada en la ciudad de Valladolid, considerando helada cuando la temperatura desciende por debajo de 0° y de los que disponemos de datos estadísticos de la tabla 3.1:

**Tabla 3.1.** Días con temperaturas por debajo de 0° en Valladolid.

DATOS CLIMATOLÓGICOS DE HELADAS													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOT
Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
1997	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	23
1998	8	7	3	2	0	0	0	0	0	0	11	22	53
1999	19	19	4	2	0	0	0	0	0	0	9	16	69
2000	28	5	5	3	0	0	0	0	0	0	5	2	48
2001	7	10	0	3	0	0	0	0	0	0	13	25	58
2002	9	11	2	3	0	0	0	0	0	0	1	2	28
2003	16	15	1	1	0	0	0	0	0	0	1	8	42
2004	14	17	10	2	0	0	0	0	0	0	9	10	62
2005	22	24	13	2	0	0	0	0	0	0	6	18	85
2006	17	20	4	1	0	0	0	0	0	0	1	19	62
2007	13	2	7	2	0	0	0	0	0	0	10	16	50
2008	12	5	8	0	0	0	0	0	0	1	6	18	50
Media	14.58	11.67	4.75	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	6.00	13.67	52.50
SD	6.22	7.18	4.07	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	4.47	7.54	16.93
Var	38.63	51.52	16.57	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	20.00	56.79	286.64

Para calcular la duración de cada una de las actividades lo hacemos con la ayuda de la siguiente expresión:

$$Duración A_i = \frac{Trabajo A_i}{Tasa de trabajo por unidad de tiempo de A_i} \quad (19)$$

La tasa de trabajo viene dada por distribuciones normales y en el caso de que se produzca el riesgo estacional la tasa de trabajo es:

$$\text{Tasa de trabajo con R. E. de } A_i = \frac{\text{Tasa de trabajo por unidad de tiempo de } A_i}{1.25} \quad (20)$$

A continuación, describimos las redes de proyecto que hemos estudiado:

1. Red de proyecto con todas las actividades en serie: todas las actividades se ejecutan en un único camino, en los que las actividades 0 y 4 son actividades ficticias de inicio y fin respectivamente. La actividad que se encuentra sometida al riesgo estacional es la actividad 3.

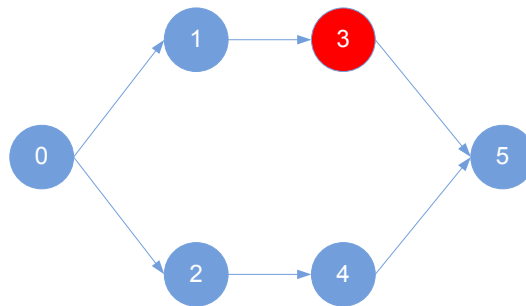


**Figura 3.1:** Red de proyecto actividades en serie.

**Tabla 3.2.** Datos del proyecto actividades en serie.

	TRABAJO				DURACIÓN		
	Trabajo	Tasa	Varianza	ST. D	Duración	Varianza	ST. D
A1	20	10	2.89	1.7	2	0.150	0.387
A2	100	25	22.5625	4.75	4	0.830	0.911
A3	35	5	0.5625	0.75	7	1.350	1.162

2. Red de proyecto con caminos paralelos: este proyecto tiene dos caminos paralelos con dos actividades en cada uno de ellos. Las actividades 0 y 5 son actividades ficticias de inicio y fin respectivamente. La actividad 3 es la que tiene el riesgo estacional.

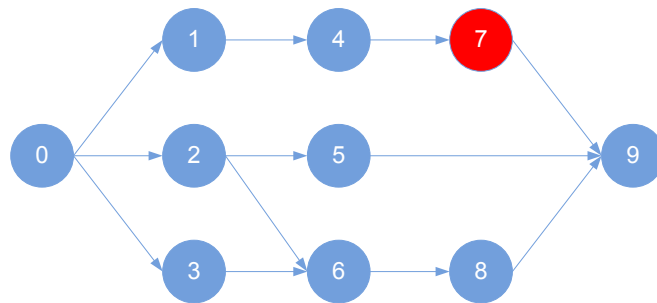


**Figura 3.2:** Red de proyecto caminos paralelos.

**Tabla 3.3.** Datos del proyecto caminos paralelos.

	TRABAJO				DURACIÓN		
	Trabajo	Tasa	Varianza	ST. D	Duración	Varianza	ST. D
A1	20	10	2.89	1.7	2	0.150	0.387
A2	100	20	10.24	3.2	5	0.830	0.911
A3	35	5	0.5625	0.75	7	1.350	1.162
A4	40	10	2.6896	1.64	4	0.560	0.748

3. Red de proyecto Acebes et al.: proyecto descrito en el apartado correspondiente del estado del arte. Actividades ficticias de inicio y fin 0 y 9 respectivamente y la actividad 7 con riesgo estacional.

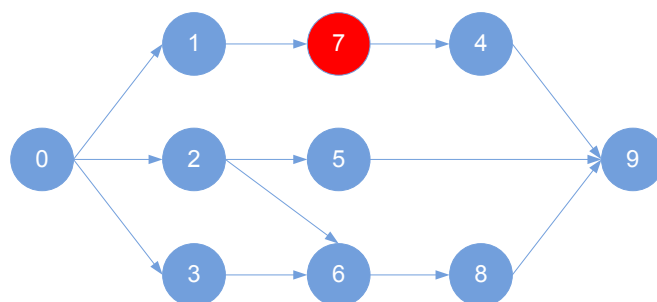


**Figura 3.3:** Red de proyecto Acebes et al.

**Tabla 3.4.** Datos del proyecto Acebes et al.

	TRABAJO				DURACIÓN		
	Trabajo	Tasa	Varianza	ST. D	Duración	Varianza	ST. D
A1	20	10	2.89	1.7	2	0.150	0.387
A2	100	25	22.5625	4.75	4	0.830	0.911
A3	35	5	0.5625	0.75	7	1.350	1.162
A4	30	10	4	2	3	0.560	0.748
A5	48	8	2.1904	1.48	6	1.720	1.311
A6	100	25	9.61	3.1	4	0.280	0.529
A7	80	10	3.24	1.8	8	2.820	1.679
A8	40	20	10.5625	3.25	2	0.140	0.374

4. Red de proyecto Acebes et al. A1A4A7: en esta red invertimos el orden de ejecución y, por tanto, las relaciones de precedencia de A4 y A7. Lo que se hace con esta acción, es estudiar la influencia de que la actividad que tiene el riesgo estacional no esté al final del proyecto y cómo se comporta la SRB al actuar frente a actividades situadas antes y después de la del riesgo estacional. Los datos del proyecto son los mismos que los de Acebes et al.



**Figura 3.4:** Red de proyecto Acebes et al. A1A7A4.

5. Red de proyectos Acebes et al. A7A1A4: la actividad con el riesgo estacional se ejecuta la primera en el camino al que pertenece. Así, estudiamos el efecto en la SRB cuando la actividad con riesgo estacional está al principio de la red del proyecto y se actúa sólo en actividades que se encuentran después del riesgo estacional. Los datos del proyecto son los mismos que los de Acebes et al.

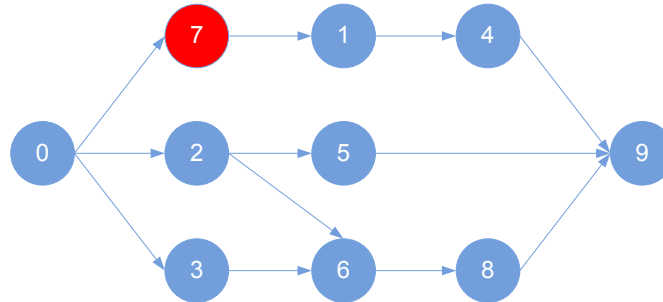


Figura 3.5: Red de proyecto Acebes et al. A7A4A1.

6. Red de proyecto riesgo actividad final: la red de proyectos es similar a la de Acebes et al. pero con varias particularidades. En este caso, las actividades ficticias de inicio y fin son la 0 y la 10. La actividad de riesgo no es la actividad 7, sino que es la actividad 9. El riesgo estacional de este proyecto consiste en que la actividad 9 sólo se puede ejecutar en el mes de septiembre. El resto de datos del proyecto son los mismos que para el de Acebes et al. Un ejemplo de este proyecto puede ser en el que la actividad 9 sea el traslado de una plataforma petrolífera y deba atravesar una zona con poca profundidad, y que sólo tenga una profundidad suficiente para su paso en Septiembre.

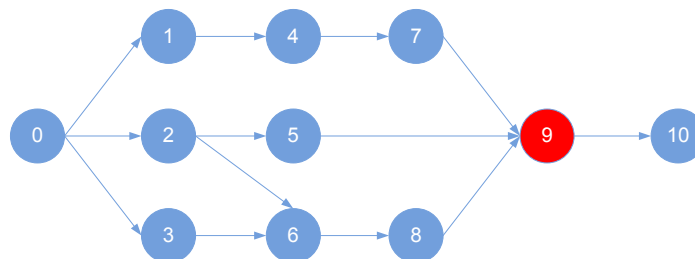


Figura 3.6: Red de proyecto riesgo actividad final.

Tabla 3.5. Datos del proyecto actividad final.

	TRABAJO				DURACIÓN		
	Trabajo	Tasa	Varianza	ST. D	Duración	Varianza	ST. D
A1	20	10	2.89	1.7	2	0.150	0.387
A2	100	25	22.5625	4.75	4	0.830	0.911
A3	35	5	0.5625	0.75	7	1.350	1.162
A4	30	10	4	2	3	0.560	0.748
A5	48	8	2.1904	1.48	6	1.720	1.311
A6	100	25	9.61	3.1	4	0.280	0.529
A7	80	10	3.24	1.8	8	2.820	1.679
A8	40	20	10.5625	3.25	2	0.140	0.374
A9	100	50	25	5	2	0.043	0.208



### 3.2 Crystal Ball. Simulación de Montecarlo.

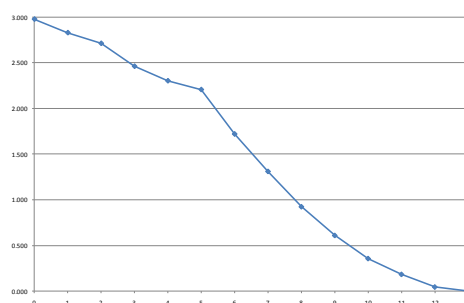
Los proyectos que se han visto en el apartado anterior son eminentemente estocásticos, es decir, que las tasas de trabajo de las actividades son descritas mediante funciones de distribución estadísticas, concretamente, distribuciones normales. Por lo que las duraciones de las actividades también seguirán una función de distribución. Al no ser valores deterministas, se necesita un paquete informático capaz de realizar simulaciones, como es el que hemos utilizado en este TFM, Crystal Ball, con el que hemos ejecutado simulaciones de Montecarlo.

El procedimiento seguido para realizar las simulaciones de Montecarlo en Crystal Ball es el siguiente:

1. Establecer el modelo para las actividades en las que se les ha asignado la función de probabilidad. Es decir, mediante los “Supuestos”, que permite construir el software, se crea la función de distribución normal para cada una de las actividades.
2. Se crean los “supuestos” para obtener los días que hielan en cada uno de los meses, es decir, la ocurrencia del riesgo estacional y calculamos la cantidad de trabajo realizado. De esta forma calculamos el avance de las actividades a lo largo del proyecto.
3. Programar el proyecto con esas duraciones para calcular la duración.
4. Simular el proyecto generando aleatoriamente las tasas de trabajo de las actividades según sus funciones de probabilidad un número suficiente de veces, obteniendo su duración.
5. Obtener resultados gráficos y numéricos de media, varianza, criticidad, crucialidad, etc.
6. Interpretar y decidir con los resultados obtenidos.

### 3.3 Cálculo de la Schedule Risk Baseline (SRB).

La SRB, como ya vimos en el capítulo anterior, es la representación del riesgo remanente del proyecto en función de la programación respecto del tiempo. Para su cálculo, hay que realizar simulaciones y obtener la varianza del proyecto, para cada uno de los periodos del proyecto, del trabajo que queda por hacer, en el caso de que éste, se haya ejecutado hasta el tiempo  $t$  según estaba programado.



**Figura 3.7:** Schedule Risk Baseline.

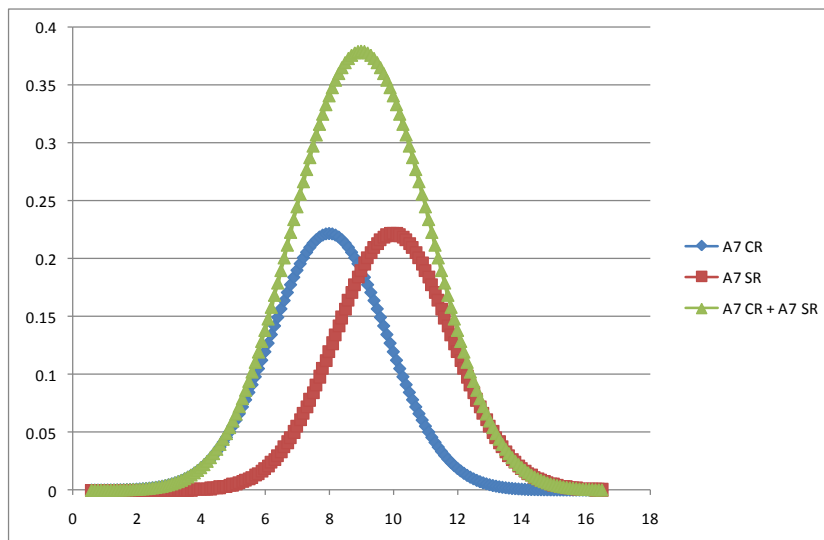
Tiene como característica principal, que su valor siempre va decreciendo hasta que llega a cero justo cuando el proyecto termina según su programación.

Cómo el riesgo estacional es distinto para cada uno de los meses, conviene calcular la SRB para distintas fechas de comienzo del proyecto ya que será distinta para cada uno. Calcularemos las SRB en distintos escenarios, siendo estos en los que el proyecto comienza en la primera semana de cada uno de los meses del año. Así, la actividad con riesgo se ejecutará en distintos meses en función del comienzo y de la duración de las actividades precedentes.

### 3.4 Error en la estimación en el caso de que exista riesgo estacional.

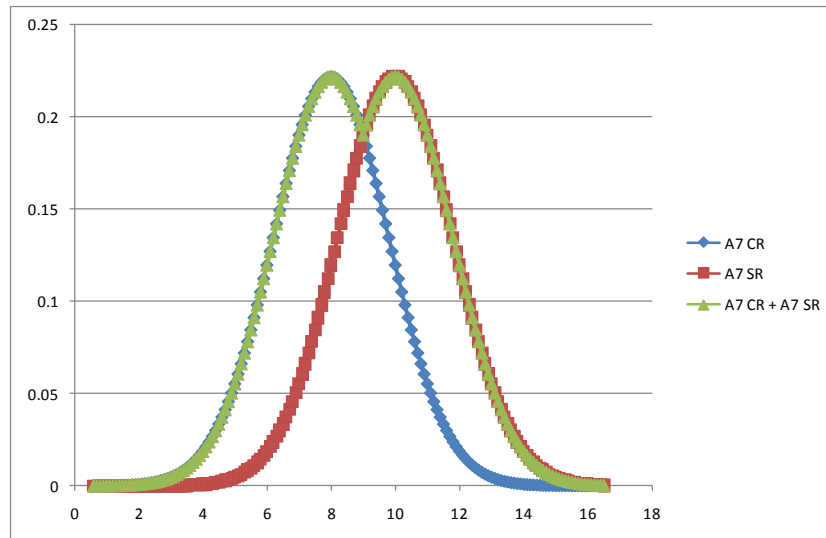
Para demostrar que puede inducir a error integrar en una única función de distribución para el cálculo de la duración de la actividad, con y sin riesgo estacional, se realiza el cálculo de la SRB para dos funciones de distribuciones integradoras de este riesgo y se compara con las SRB que resultan de considerar las dos funciones de distribución por separado, con riesgo estacional y sin riesgo. Para la red de proyecto con riesgo en actividad final, la integración sería distinta y es la que se hace en el punto 3:

1. Función de distribución de “una campana”: en la figura 3.8 se puede ver, en verde, la función de distribución para el cálculo de la duración de la actividad 7 en el que se integra el riesgo estacional. Se ha construido como suma de las funciones de distribución con riesgo estacional y sin riesgo estacional.



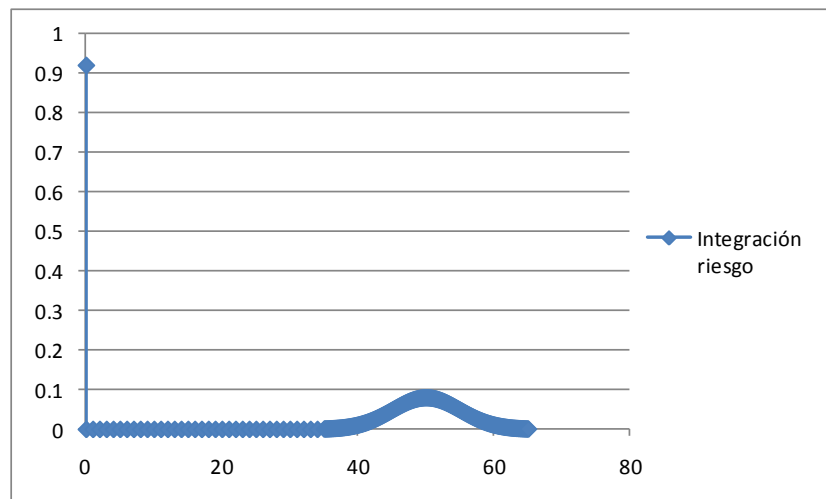
**Figura 3.8:** Función de distribución de “una campana”.

2. Función de distribución de “dos campanas”: en la figura 3.9 se puede ver, en verde, la función de distribución para el cálculo de la duración de la actividad 7 en el que se integra el riesgo estacional. Se ha construido como el máximo de la función de la distribución de probabilidad para cada uno de los puntos.



**Figura 3.9:** Función de distribución de “dos campanas”.

- Integración del riesgo en una función para la red de proyecto riesgo actividad final: en este caso, como la actividad sólo se ejecuta en el mes de septiembre, para integrar la duración y el riesgo en una única distribución se ha seleccionado la de la figura 3.10, en la que la probabilidad de que sea cero se corresponde al porcentaje de semanas que en el que la tasa de trabajo es cero y el resto es la función de distribución de la tasa de trabajo de la actividad 9.



**Figura 3.10:** Función integración de riesgo para red de proyecto riesgo actividad final.

### 3.5 Variación en la duración o en la varianza de las actividades.

Para comprobar el efecto que produce la variación de las duraciones y varianzas de las actividades en la SRB, realizamos el análisis de cada uno de los proyectos, antes descritos, frente a variaciones en alguna de sus actividades, en las que la actividad que tiene el riesgo estacional permanecerá invariable aunque sea la más crucial del proyecto.

### 3.6 Risk Baseline Index (RBI).

El área encerrada bajo la curva SRB representa el riesgo total en función de la programación que existe en un proyecto. Si se realiza alguna acción en el que la duración o varianza de las actividades varíe, por ejemplo, redistribución de recursos, tanto humanos como materiales, influye en la SRB. Si el área resultante es menor, después de llevar a cabo esa acción, queda claro que el riesgo que tiene ese proyecto es menor que el planificado y viceversa.

Podemos crear, por tanto, un indicador que nos informe de si la acción tomada es buena o mala en términos de variabilidad del proyecto. Este indicador es el que hemos denominado como Risk Baseline Index (RBI) y se define como la relación entre el área de la SRB del proyecto frente a una acción tomada por la planificada:

$$RBI = \frac{A'SRB}{A_0SRB} \quad (20)$$

Donde:

- $A'SRB$  es el área de la SRB después de una acción tomada en el proyecto.
- $A_0SRB$  es el área de la SRB del proyecto según está programado.

Una vez creado y definido el indicador, realizaremos simulaciones en la red de proyectos de Acebes, F. et al. para estudiar su comportamiento. En los capítulos 5 y 6 veremos los resultados obtenidos. El primer capítulo será simulando para cuando no exista riesgo estacional y el siguiente para cuando sí que exista este riesgo.

## Capítulo 4 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.

En este capítulo vamos a dar las SRB resultantes para cada uno de los proyectos que hemos descrito en el capítulo anterior, así como, las SRB para las funciones integradoras del riesgo. Veremos los resultados frente a variaciones de duración y varianza en algunas de las actividades en los meses que tienen un área de SRB mayor.

### 4.1 Resultados de las SRB.

Aquí, encontramos las SRB de cada uno de los proyectos, en los que se plantean distintos escenarios de comienzo para cada uno de los meses del año. La red del proyecto con riesgo actividad final, sólo la hemos simulado hasta Junio, porque es el último mes en el que se terminaría, siguiendo la duración media de las actividades, en el mismo año de comienzo:

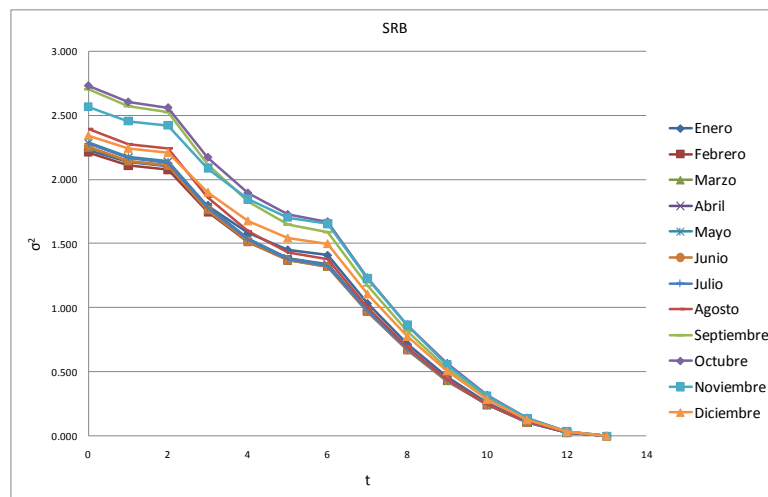


Figura 4.1: SRB para red de proyecto actividades en serie.

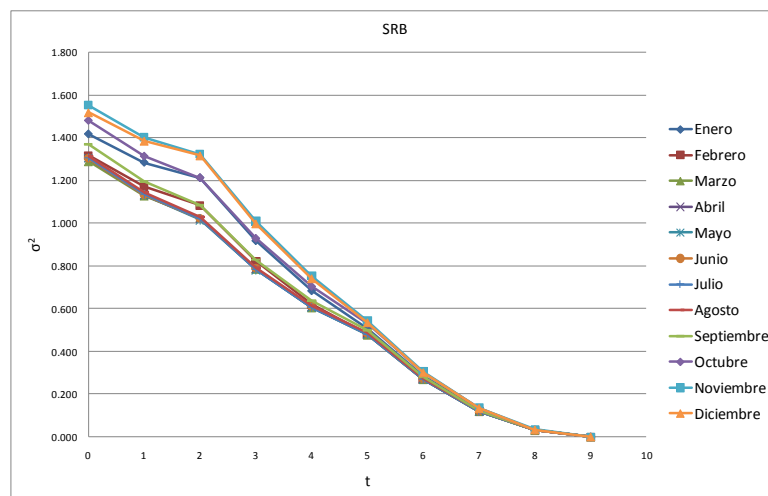


Figura 4.2: SRB para red de proyecto con actividades en paralelo.

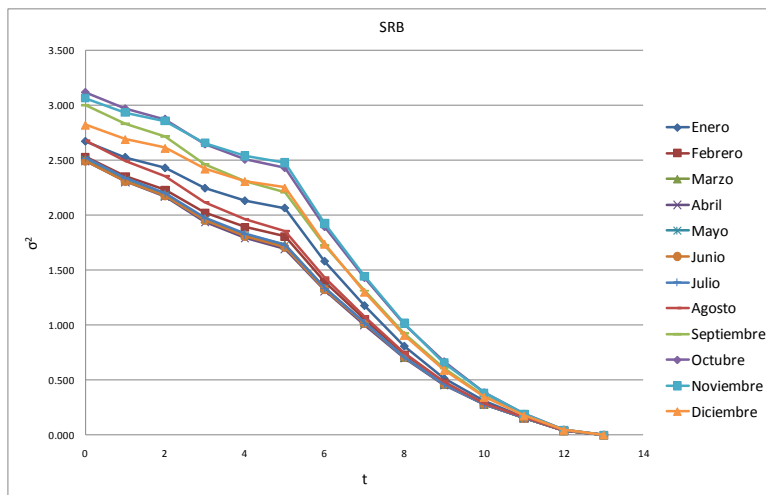


Figura 4.3: SRB para red de Acebes et al.

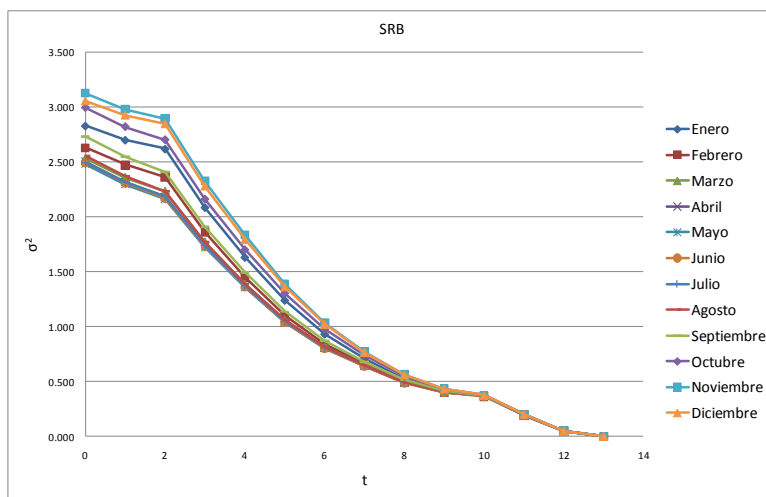


Figura 4.4: SRB para red de Acebes et al A1A7A4.

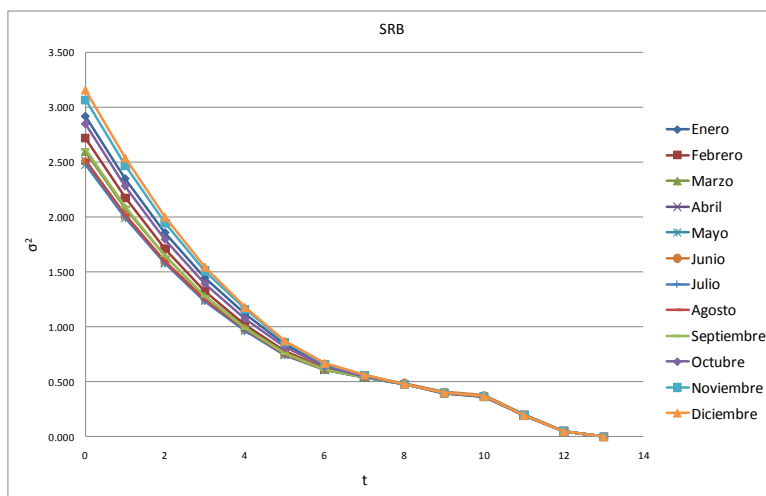


Figura 4.5: SRB para red de Acebes et al A7A1A4.

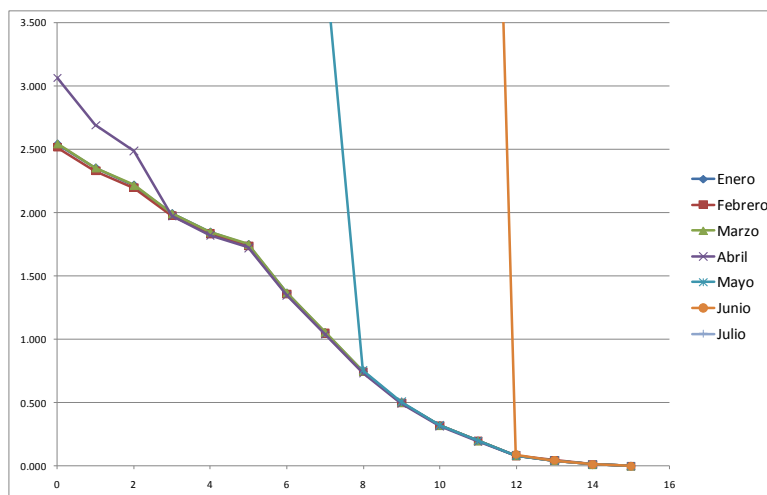


Figura 4.6: SRB para red de proyecto con riesgo actividad final.

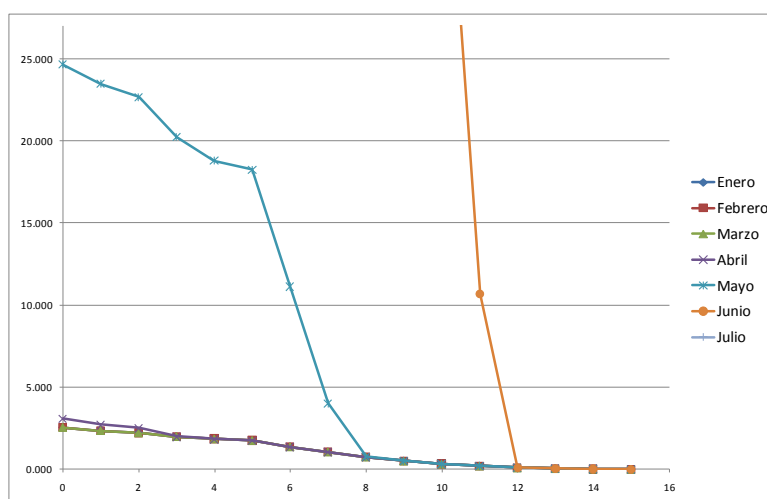


Figura 4.7: SRB para red de proyecto con riesgo actividad final Mayo.

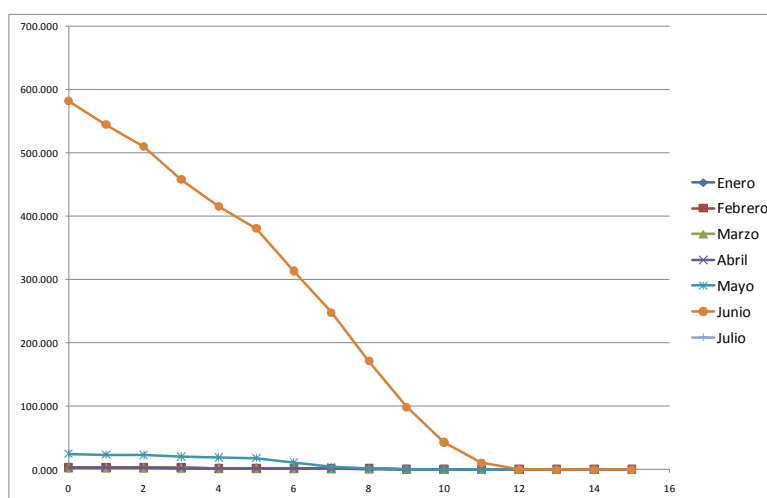


Figura 4.8: SRB para red de proyecto con riesgo actividad final Junio.

En las gráficas de las figuras 4.1 a 4.5 observamos una serie de comportamientos comunes de los proyectos a los que corresponden esas gráficas y que comentamos a continuación:

- Existen distintas SRB para cada uno de los escenarios de cada proyecto. Los valores que toman, dependen de cuándo se ejecute la actividad que tiene el riesgo estacional. Lógicamente, las SRB que toman valores más altos son aquellas en las que la actividad con riesgo estacional se ejecuta en un mes con alta probabilidad de riesgo y viceversa.
- Existe una agrupación de SRB en las que la variabilidad del proyecto es menor. Es debido, a que la actividad con riesgo estacional se ejecuta en los meses estivales o cuando el riesgo de que se produzca una helada es muy bajo, desde abril hasta octubre.
- Las SRB tienden a juntarse a medida que avanza el proyecto. Partimos de la hipótesis de que los proyectos se ejecutan según está programado, por lo que en todos los escenarios de cada proyecto, se completan las actividades más cruciales y la sometida a riesgo estacional al mismo tiempo. Además, como ya comentamos el riesgo al final del proyecto, como no puede ser de otra manera, es cero.
- Para los proyectos de Acebes et al. en los que se modifica el orden de las actividades 1, 4 y 7, comprobamos como las SRB tienden a ser iguales antes, en los casos en los que se ejecuta actividad 7 por delante de las otras actividades del camino al que pertenece. Esta actividad, es la que tiene el riesgo estacional y, además, es la más crucial del proyecto, por lo que cuánto antes se ejecute, antes disminuye la mayor parte del riesgo y, por tanto, la mayor variabilidad.

Para la red de proyecto con riesgo en actividad final, figuras 4.6, 4.7 y 4.8, observamos comportamientos similares pero con algunas particularidades que comentamos a continuación:

- Existen distintas SRB para cada uno de los escenarios del proyecto, que van aumentando su valor, a medida que avanzan los meses de comienzo del proyecto.
- La agrupación de SRB es en los primeros meses del año, ya que se dispone de una gran holgura para que se ejecute la actividad con riesgo estacional en el mes correspondiente, Septiembre, tal cual dijimos cuando explicamos en el capítulo 2 las redes de proyectos y sus riesgos estacionales. Sin embargo para los meses de Mayo y, sobretudo, Junio, aumenta considerablemente porque parte, o la totalidad, de la actividad 9 se ejecuta en Septiembre del año siguiente al comienzo del proyecto.
- Las SRB, al igual que para los otros proyectos tienden a juntarse a medida que se desarrolla el proyecto, debido a la hipótesis de que se ejecuta según la programación. También por esta razón, existe el decrecimiento con tanta pendiente en los meses de Mayo y Junio, ya que, la variabilidad va decreciendo y la duración del proyecto tiende a la mayor suma de la duración media de las actividades según los distintos caminos posibles del proyecto.



#### 4.2 Error en la estimación en el caso de que exista riesgo estacional.

En las gráficas de este apartado, se representan los resultados para las simulaciones de la integración del riesgo estacional en una única función de distribución. Como vimos en el capítulo 3 correspondiente a la metodología, estas funciones las hemos denominado una y dos campanas, representadas en las gráficas en rojo con marcadores con forma de cuadrado y de círculo respectivamente. Para la red de proyecto de riesgo con actividad final, los resultados de la integración del riesgo también se representan en rojo. En las gráficas también se representan las SRB de los escenarios de cada proyecto, que hemos visto en el apartado anterior, para poder comparar los resultados:

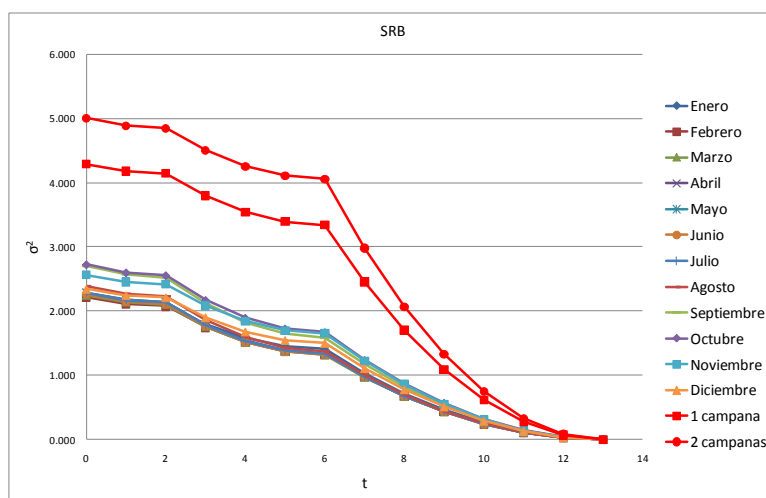


Figura 4.9: Integración de riesgo red de proyecto actividades en serie.

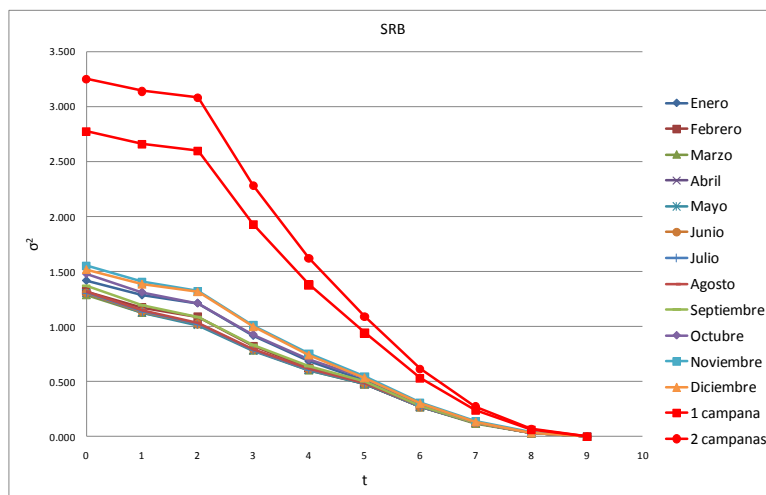


Figura 4.10: Integración de riesgo red de proyecto con actividades en paralelo.

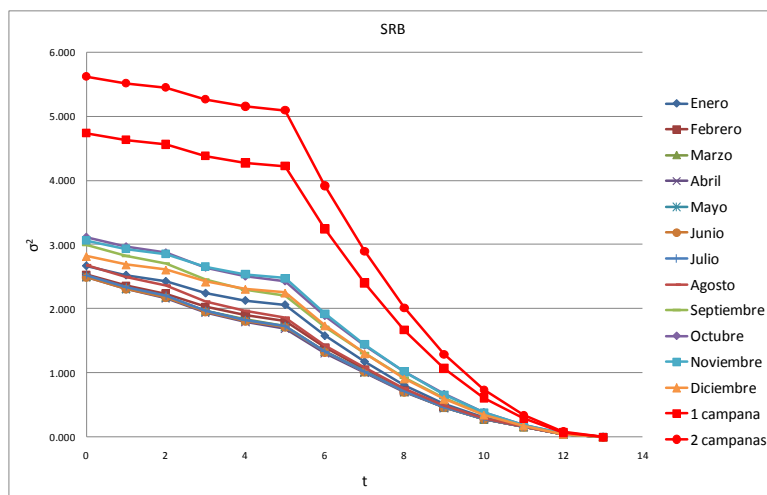


Figura 4.11: Integración de riesgo para red de Acebes et al.

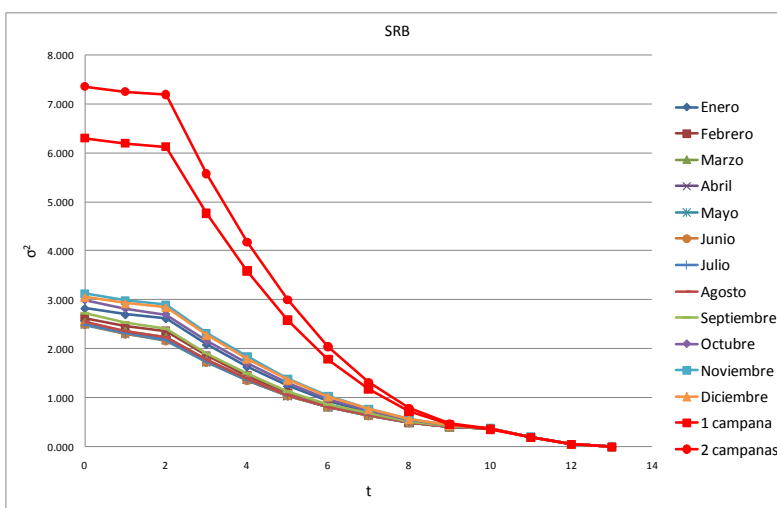


Figura 4.12: Integración de riesgo red de Acebes et al A1A7A4.

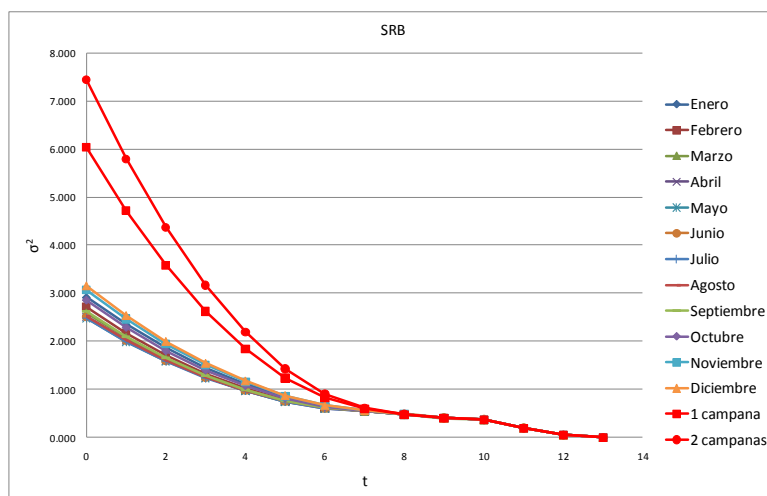
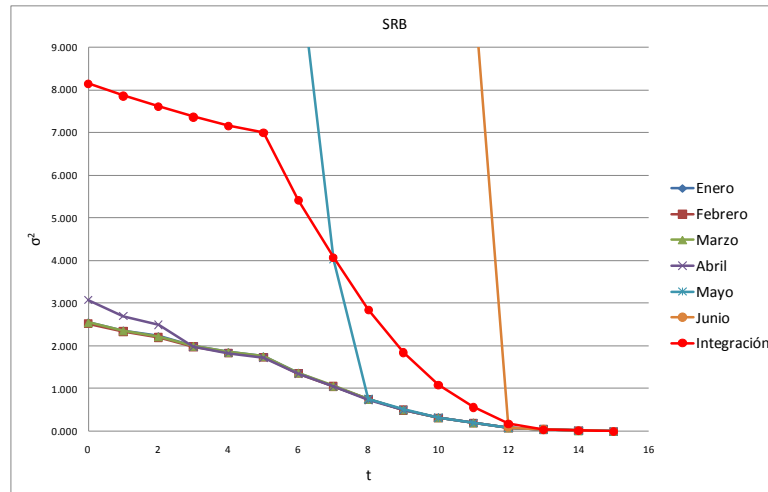


Figura 4.13: Integración de riesgo red de Acebes et al A7A1A4.



**Figura 4.14:** Integración de riesgo red de proyecto con riesgo actividad final.

En las gráficas de las figuras 4.9 a 4.13, podemos observar que, los resultados obtenidos, distan de ser una buena aproximación, ya que, son muy pesimistas si se compara con los resultados de los distintos escenarios en los que hemos tenido en consideración las dos funciones de distribución con/sin riesgo estacional. Y el resultado más pesimista es cuando se hace la integración en dos campanas.

Cabe destacar el comportamiento que aparece en la figura 4.14 correspondiente a la red de proyecto con riesgo actividad final. Aquí, vemos dos situaciones diferentes: una en la que es muy pesimista si se compara con los escenarios de los meses de Enero a Abril. Y otra en la que si se compara con Mayo y Junio es muy optimista. Esto es porque, como ya vimos en el apartado anterior, la probabilidad de que termine el proyecto en el mismo año de comienzo, para los dos últimos escenarios, es muy baja.

En cualquier caso y para todos los proyectos, cuando realizamos la integración del riesgo estacional junto con la duración de la actividad en una única función de distribución, no se obtienen unos resultados que se aproximen a los resultados en los que hemos tenido en cuenta dos funciones de distribución con/sin riesgo estacional.

#### 4.3 Variación en la duración o en la varianza de las actividades.

A continuación, mostramos las gráficas en las que se han planteado distintos escenarios. Hemos modificado la duración media de las actividades del proyecto que pertenecen al camino de la actividad que tiene el riesgo estacional. De tal forma, que hemos reducido la duración de una actividad, o reducido su variabilidad permaneciendo las duraciones y varianzas del resto de actividades según estaba programado. En rojo se representa la SRB planificada del mes considerado.

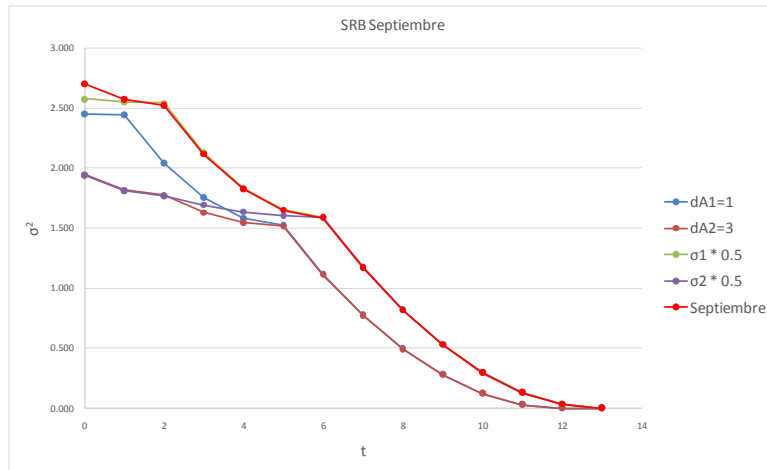


Figura 4.15: SRB para red de proyecto actividades en serie variaciones Septiembre.

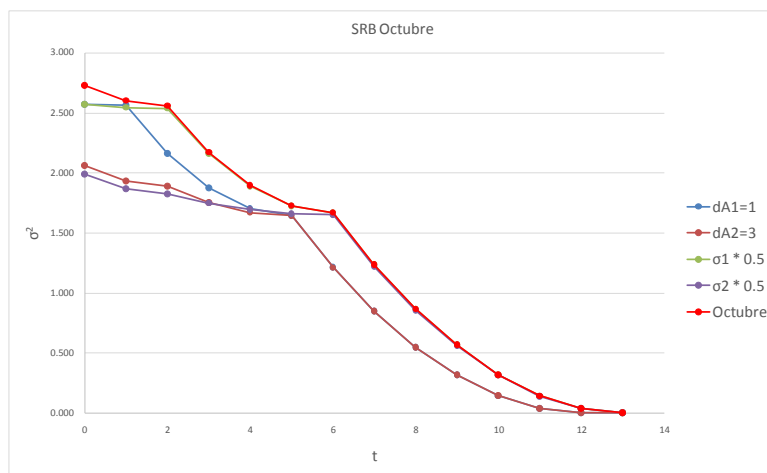


Figura 4.16: SRB para red de proyecto actividades en serie variaciones Octubre.

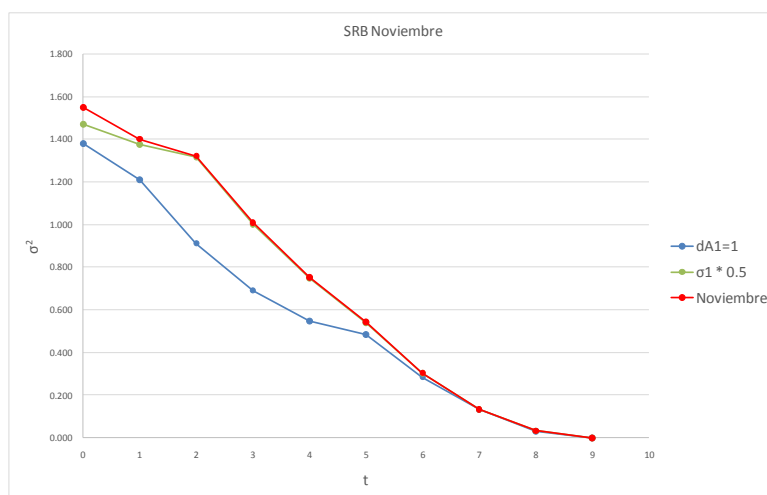


Figura 4.17: SRB para red de proyecto con caminos en paralelo variaciones Noviembre.

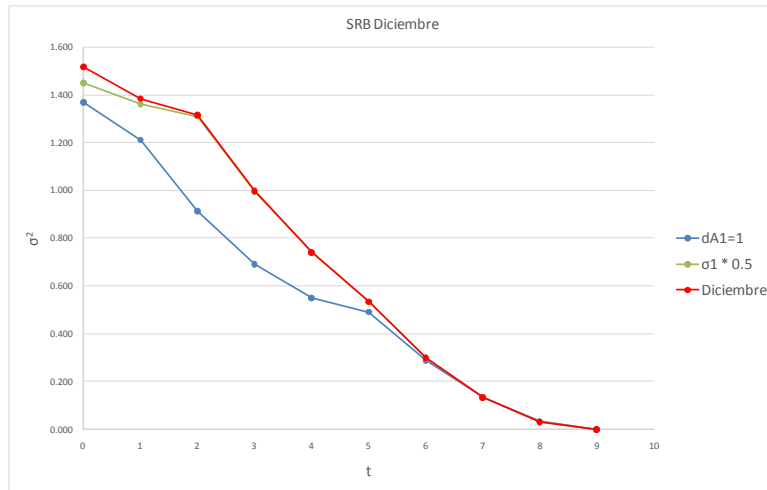


Figura 4.18: SRB para red de proyecto con caminos en paralelo variaciones Diciembre.

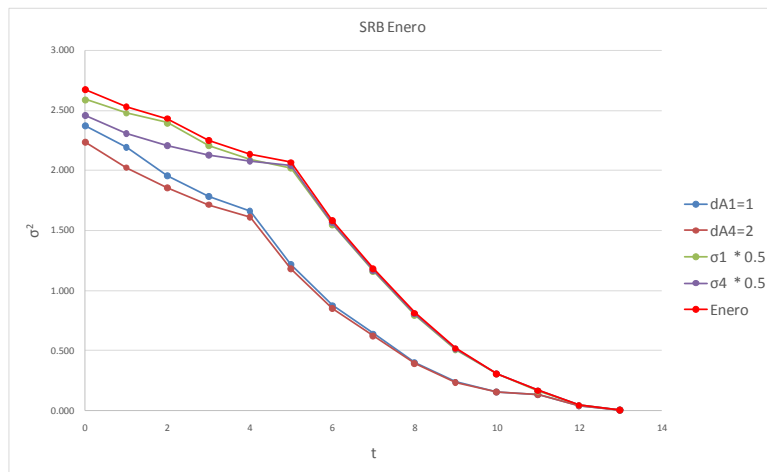


Figura 4.19: SRB para red de proyecto Acebes et al. variaciones Enero.

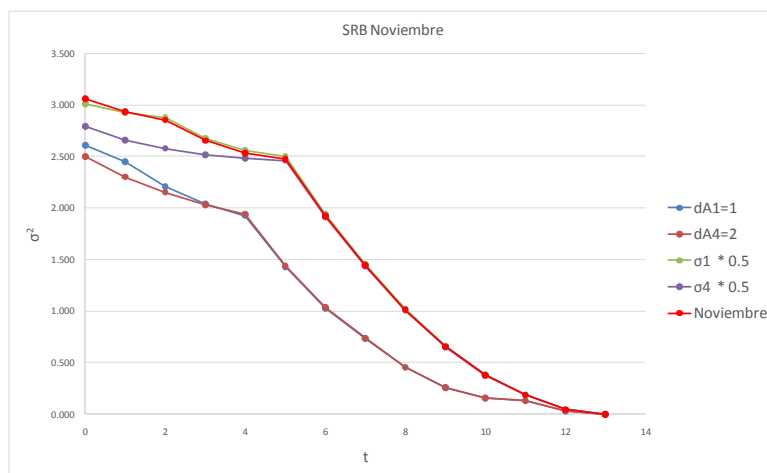


Figura 4.20: SRB para red de proyecto Acebes et al. variaciones Noviembre.

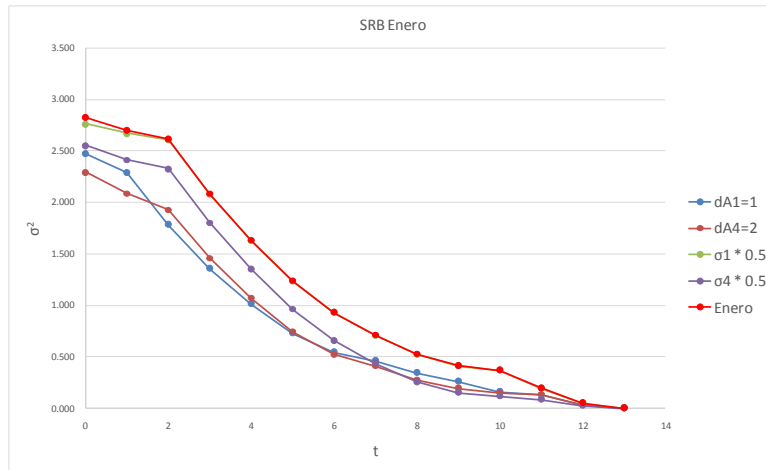


Figura 4.21: SRB para red de proyecto Acebes et al. A1A7A4 Enero.

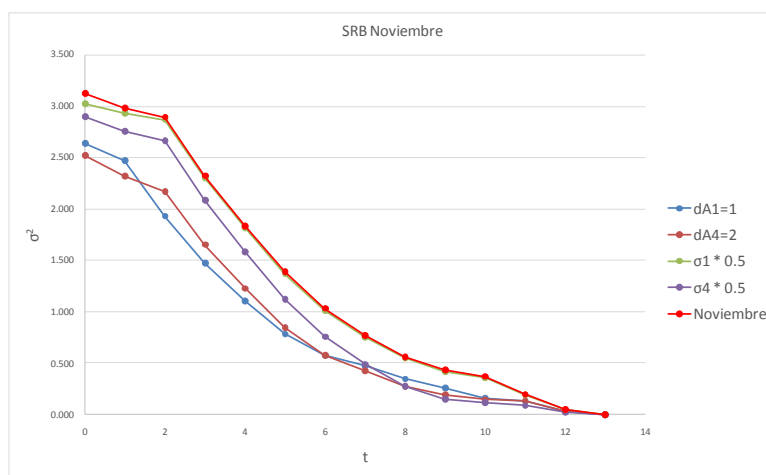


Figura 4.22: SRB para red de proyecto Acebes et al. A1A7A4 Noviembre.

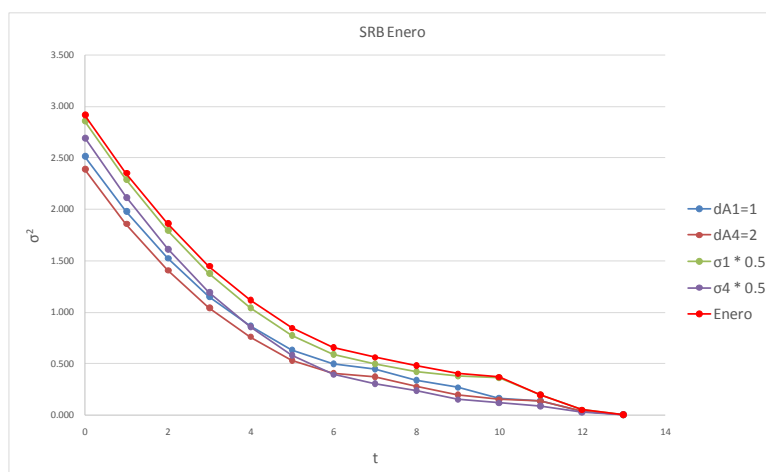
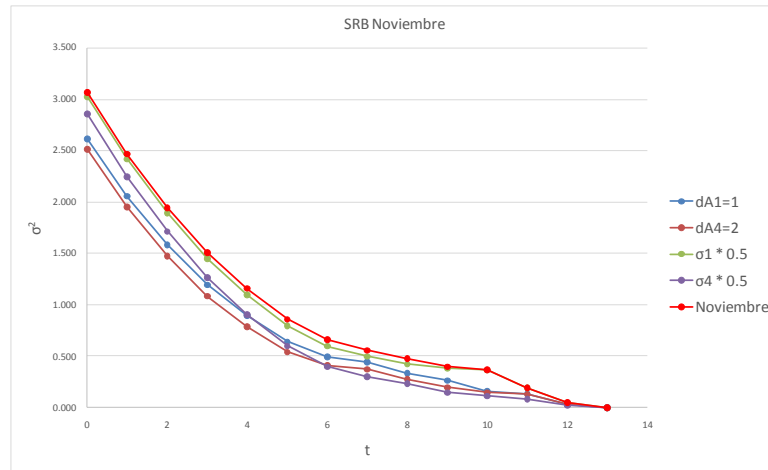
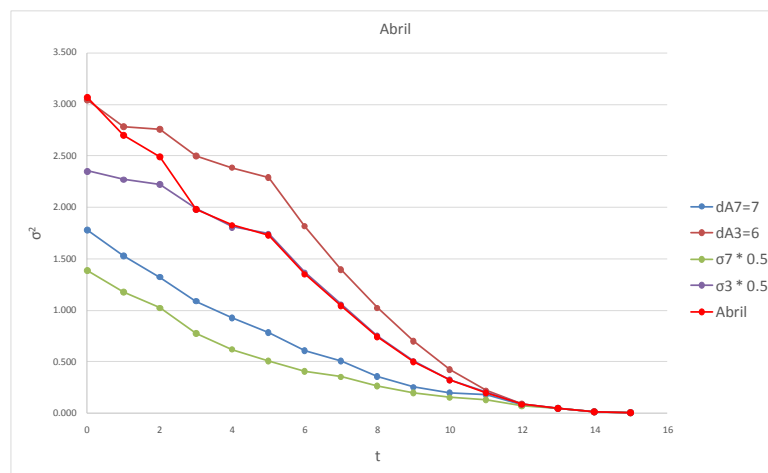


Figura 4.23: SRB para red de proyecto Acebes et al. A7A1A4 Enero.



**Figura 4.24:** SRB para red de proyecto Acebes et al. A7A1A4 Noviembre.



**Figura 4.25:** SRB para red de proyecto riesgo actividad final Abril.

Los cambios más significativos en la SRB, reduciendo su valor y su área, suceden cuando reducimos la duración media de alguna de las actividades y, aún más pronunciados, cuando se actúa sobre la actividad más crucial. Si la actividad más crucial pertenece al camino con más criticidad, entonces, la disminución del valor es mayor.

Sin embargo, si prestamos atención a la gráfica de la figura 4.25, vemos cómo actuando en la duración media de una actividad, provocando una disminución de su duración, implica un aumento de la SRB, de su área y por tanto del riesgo del proyecto. Este efecto, pero para la varianza ya aparece en el trabajo de Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999, en el que comprueban que existen actividades, que al variar la duración media de una actividad, la variabilidad del proyecto puede aumentar, disminuir, fluctuar o permanecer igual. En los capítulos 5 y 6 se podrá ver este efecto similar en el RBI. Sucede porque, a pesar de que la actividad tiene una alta crucialidad, en este caso, es la segunda más crucial y su criticidad no es la más alta.

#### 4.4 Conclusiones.

En este capítulo hemos visto los resultados de las simulaciones efectuadas en distintas redes de proyectos, con distintos riesgos estacionales y en distintos escenarios.

Hemos demostrando mediante las gráficas de la SRB que es importante tener en cuenta el riesgo estacional de los proyectos cuando actúa en al menos en una actividad, ya que, las SRB tienen distintos valores en función del mes donde se ejecute la actividad con riesgo estacional y, por tanto, el proyecto tiene distinto riesgo y variabilidad.

El integrar el riesgo estacional en una única función de distribución junto con la duración de la actividad no es una buena aproximación, ya que, puede provocar una sobreestimación del riesgo y siendo, de esta forma, muy pesimistas en el cálculo de la variabilidad del proyecto. En otros casos es muy optimista y no tiene en cuenta la posibilidad de que el proyecto termine muy retrasado.

Por último, al actuar sobre la duración media de las actividades y/o varianza puede provocar una disminución significativa del riesgo, siendo más significativo cuando se actúa sobre la actividad más crucial. Si además, esta actividad se encuentra en el camino de mayor criticidad, la disminución del riesgo es más importante. Pero no siempre se produce la reducción de la SRB y, en consecuencia del riesgo, cuando se disminuye la duración de una actividad, como ya demostraron con la varianza Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999.



## Capítulo 5 RISK BASELINE INDEX SIN RIESGO ESTACIONAL.

En este capítulo vamos a analizar el indicador desarrollado en este TFM para la gestión de riesgos estacionales, el Risk Baseline Index (RBI). A partir de la red de proyecto de Acebes et al., en la que se ha eliminado el riesgo estacional, se plantean distintos escenarios. Éstos, consisten en variaciones en las duraciones medias de las actividades. Con los resultados obtenidos de las simulaciones daremos los valores del RBI y comprobaremos los indicadores de criticidad y crucialidad.

### 5.1 Introducción.

Utilizando el proyecto de Acebes et al. hemos realizado simulaciones en diferentes escenarios. Cada escenario se corresponde con una variación en la duración media de las actividades, sólo se modifica la duración de una actividad en cada escenario, manteniendo la varianza constante. Las duraciones se van a disminuir en un -10%, -20%, -30%, -50%, -70% y -90%. Y se van a aumentar en un +10%, +20%, +30% y +50%. El 0% se corresponde con la situación planificada.

En cada escenario, obtenemos los valores de criticidad y crucialidad de las actividades. Para la criticidad vamos a hablar de la de cada uno de los caminos que componen el proyecto que ayudarán a comprobar cómo afectan cada una de las actividades en la variabilidad y duración del proyecto. En la figura 5.1 se muestra el proyecto con los cuatro caminos que existen en la red del proyecto C1, C2, C3 y C4. Aunque básicamente se hablarán del C1, C2 y C4 ya que están incluidas ahí todas las actividades:

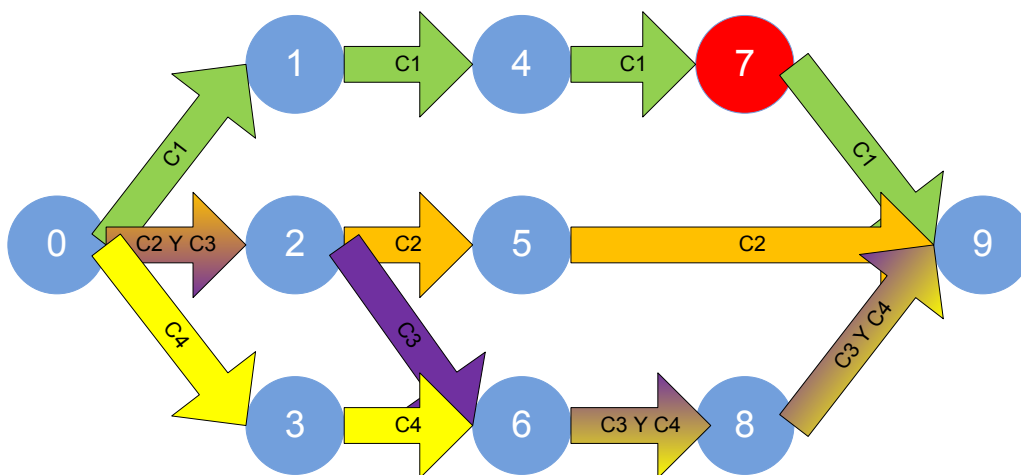


Figura 5.1: Red de proyecto Acebes et al caminos.

Con los resultados de las simulaciones en cada uno de los escenarios y, a partir de la programación del proyecto, calculamos el RBI comprobando en qué situaciones mejora/empeora el proyecto en riesgo.

Como hemos visto, el RBI se calcula mediante la expresión:

$$RBI = \frac{A'SRB}{A_0SRB} \quad (21)$$

Donde:

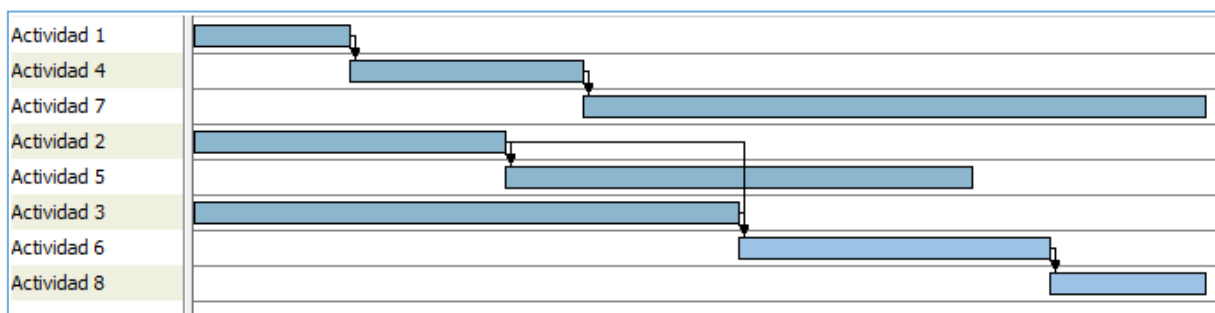
- A'SRB es el área de la SRB después de una acción tomada en el proyecto.
- A<sub>0</sub>SRB es el área de la SRB del proyecto según está programado.

La forma que se ha elegido para presentar los resultados del RBI es mediante una tabla en la que, con ayuda de un código de colores en función del valor del RBI, permite identificar fácilmente si el escenario elegido del proyecto mejora, empeora o permanece igual en términos de variabilidad la programación del proyecto. De esta forma, el director de proyecto puede identificar el escenario más favorable y cuál es el más crítico respecto a la planificación.

Los colores indican lo siguiente:

- En amarillo aparecen los resultados que son próximos a RBI =1, es decir, que el área entre el nuevo escenario y la programación son prácticamente iguales. O lo que es lo mismo, que el riesgo del nuevo escenario y de la programación del proyecto son prácticamente iguales.
- Cuando el color más se acerca a rojo RBI > 1, es decir, los escenarios planteados son cada vez peores en términos de riesgo, porque, el área de la SRB del nuevo escenario es mayor que el área de la SRB de la programación del proyecto.
- Cuando el más se acerca a verde RBI < 1. Los escenarios planteados tienen menor riesgo que el proyecto programado. El área de la SRB es menor que el área de la SRB planificada.

En las tablas mostradas del RBI, las actividades aparecerán en el orden según aparecerían en un diagrama de Gantt como el de la figura 5.2:



**Figura 5.2:** Diagrama de Gantt.

## 5.2 Resultados Acebes et al. sin riesgo estacional.

Los valores del RBI obtenidos para todos los escenarios planteados para el proyecto Acebes et al., en el que no actúa el riesgo estacional, son los que se recogen en la tabla 5.1:

**Tabla 5.1.** RBI Acebes et al. sin riesgo estacional.

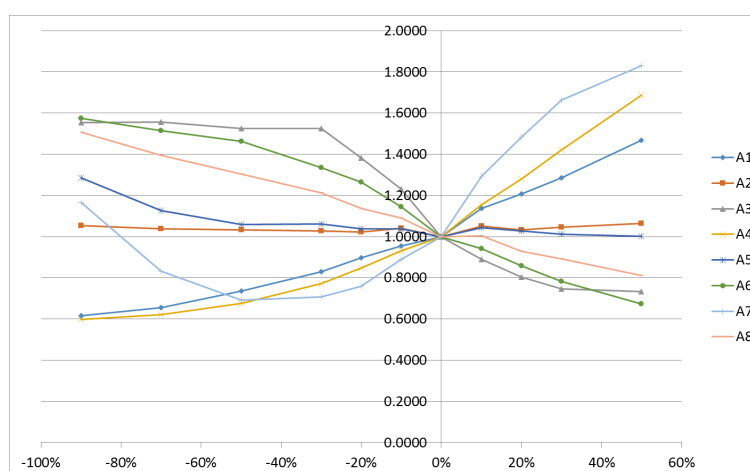
RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.6167	0.6549	0.7354	0.8300	0.8980	0.9539	1.0000	1.1369	1.2072	1.2852	1.4671
A4	0.5967	0.6198	0.6768	0.7722	0.8469	0.9302	1.0000	1.1553	1.2798	1.4218	1.6877
A7	1.1650	0.8331	0.6914	0.7074	0.7597	0.8897	1.0000	1.2941	1.4842	1.6641	1.8304
A2	1.0534	1.0390	1.0337	1.0264	1.0230	1.0404	1.0000	1.0497	1.0329	1.0453	1.0628
A5	1.2844	1.1264	1.0594	1.0614	1.0379	1.0387	1.0000	1.0425	1.0263	1.0119	1.0024
A3	1.5524	1.5561	1.5242	1.5242	1.3824	1.2313	1.0000	0.8895	0.8039	0.7467	0.7325
A6	1.5744	1.5144	1.4617	1.3354	1.2657	1.1444	1.0000	0.9413	0.8576	0.7834	0.6734
A8	1.5060	1.3954	1.3040	1.2116	1.1359	1.0900	1.0000	1.0045	0.9285	0.8910	0.8105

El código de colores, nos permite identificar fácilmente los escenarios mejoran (verde), empeoran (rojo), o dejan igual (amarillo) el riesgo del proyecto respecto a la programación. Podemos identificar claramente las cinco zonas delimitadas en la tabla 5.2, donde, generalmente, en las zonas 1 y 4 el RBI del nuevo escenario mejora, la 2 y 3 donde empeora y en la 5 donde prácticamente es el mismo:

**Tabla 5.2.** Zonas del RBI Acebes et al. sin riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.6167	0.6549	0.7354	0.8300	0.8980	0.9539	1.0000	1.1369	1.2072	1.2852	1.4671
A4	0.5967	0.6198	0.6768	0.7722	0.8469	0.9302	1.0000	1.1553	1.2798	1.4218	1.6877
A7	1.1650	0.8331	0.6914	0.7074	0.7597	0.8897	1.0000	1.2941	1.4842	1.6641	1.8304
A2	1.0534	1.0390	1.0337	1.0264	1.0230	1.0404	1.0000	1.0497	1.0329	1.0453	1.0628
A5	1.2844	1.1264	1.0594	1.0614	1.0379	1.0387	1.0000	1.0425	1.0263	1.0119	1.0024
A3	1.5524	1.5561	1.5242	1.5242	1.3824	1.2313	1.0000	0.8895	0.8039	0.7467	0.7325
A6	1.5744	1.5144	1.4617	1.3354	1.2657	1.1444	1.0000	0.9413	0.8576	0.7834	0.6734
A8	1.5060	1.3954	1.3040	1.2116	1.1359	1.0900	1.0000	1.0045	0.9285	0.8910	0.8105

Para explicar el comportamiento del RBI, nos vamos a ayudar de gráficas como la de la figura 5.3, donde se representan los valores del RBI:



**Figura 5.3:** RBI gráficamente Acebes et al. sin riesgo estacional.

De forma general, detectamos tres tipos de comportamientos en función de la variación de la duración de las actividades en los distintos escenarios, con algunos matices que se explican en este mismo apartado cuando analicemos cada uno de los caminos del proyecto:

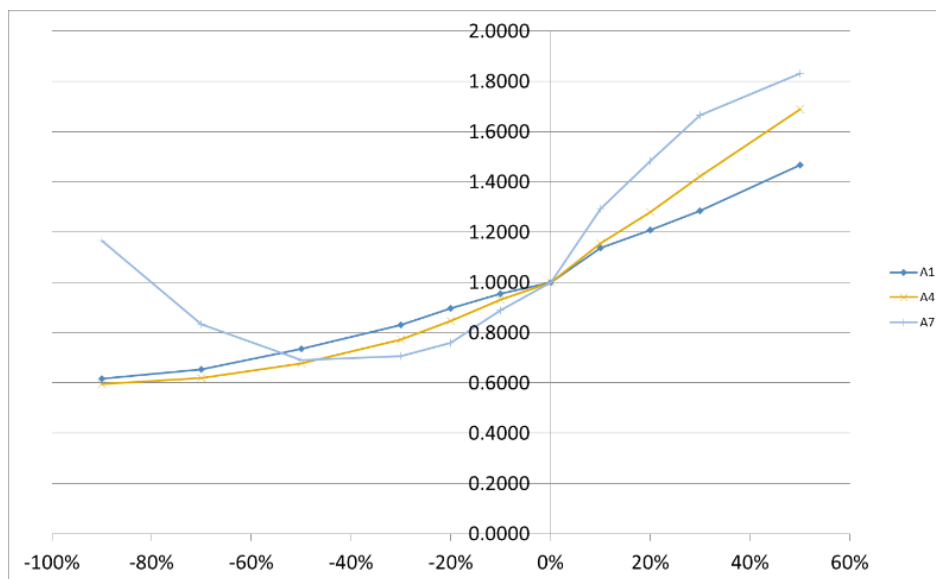
- Disminución del RBI cuando se disminuye la duración de la actividad y aumento del RBI cuando se aumenta la duración de la actividad. Este es el comportamiento que presentan las actividades 1, 4 y 7.
- RBI prácticamente constante cuando se aumenta o disminuye la duración de la actividad. Así es como se comportan las actividades 2 y 5.
- Aumento del RBI cuando se disminuye la duración de la actividad y disminución del RBI cuando se aumenta la duración de la actividad. Las actividades 3, 6 y 8 son las que muestran este comportamiento.

### 5.2.1. Actividades 1, 4 y 7. Camino 1.

De forma general, el comportamiento del RBI de estas tres actividades es similar. En los escenarios en los que la duración de las actividades es menor que en la programación del proyecto, el RBI disminuye y viceversa, aumenta en los escenarios en los que las duraciones de las actividades son mayores respecto de la programación. En la tabla 5.3 se recogen los valores numéricos de los escenarios que se representan gráficamente en la figura 5.4.

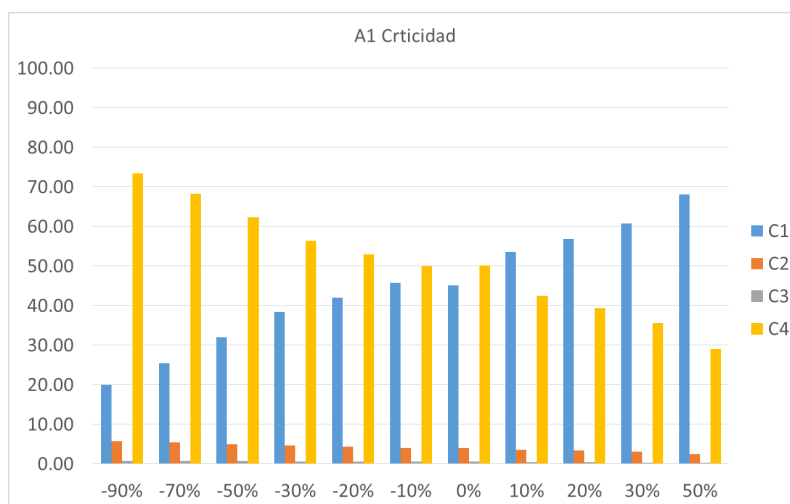
**Tabla 5.3.** RBI C1 sin riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.6167	0.6549	0.7354	0.8300	0.8980	0.9539	1.0000	1.1369	1.2072	1.2852	1.4671
A4	0.5967	0.6198	0.6768	0.7722	0.8469	0.9302	1.0000	1.1553	1.2798	1.4218	1.6877
A7	1.1650	0.8331	0.6914	0.7074	0.7597	0.8897	1.0000	1.2941	1.4842	1.6641	1.8304

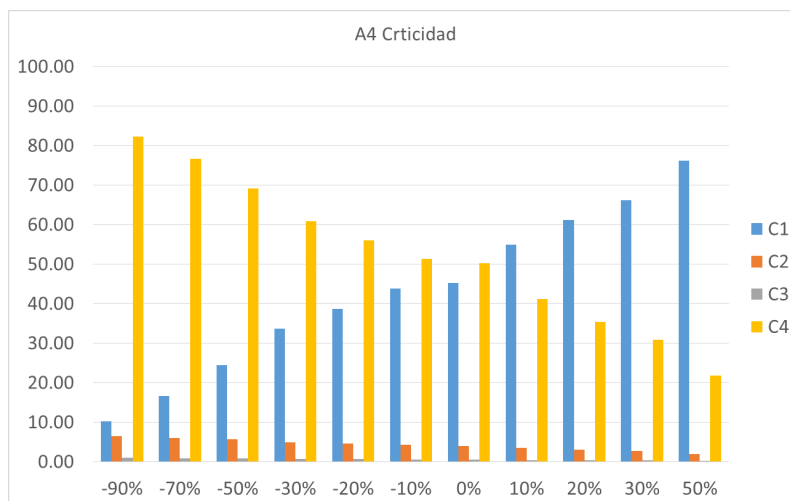


**Figura 5.4:** RBI C1 sin riesgo estacional.

Podemos comprobar en los resultados que existen tres escenarios que no muestran la tendencia general en las actividades, son en los que la actividad 7 se disminuye un -50%, -70% y un -90% su duración. Estos comportamientos, y los del resto de las actividades, se pueden explicar a partir de la criticidad y crucialidad de las actividades que representamos en las gráficas siguientes. Vamos a ver como la criticidad y crucialidad de las actividades varían en función del escenario de estudio. Las gráficas representadas corresponden a cada escenario, de tal forma que si se indica en la figura: Criticidad A1, es la criticidad en cada uno de los escenarios de A1 y de la misma forma para todas las gráficas:



**Figura 5.5:** Criticidad A1.



**Figura 5.6:** Criticidad A4.

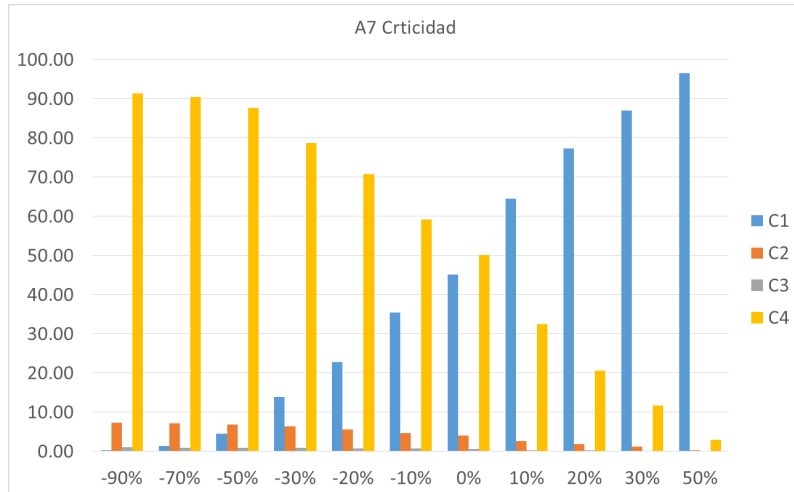


Figura 5.7: Criticidad A7.

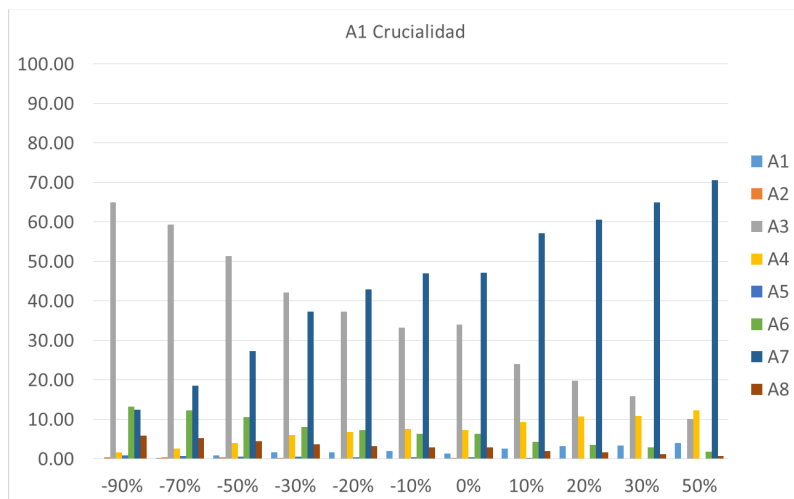


Figura 5.8: Crucialidad A1.

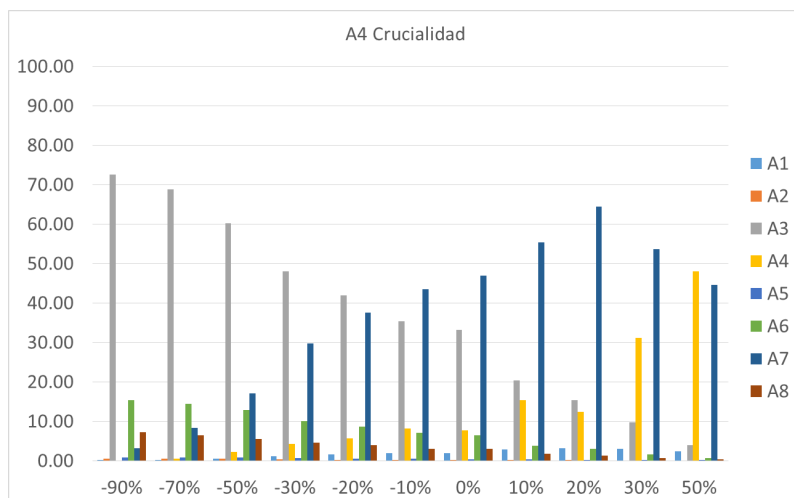
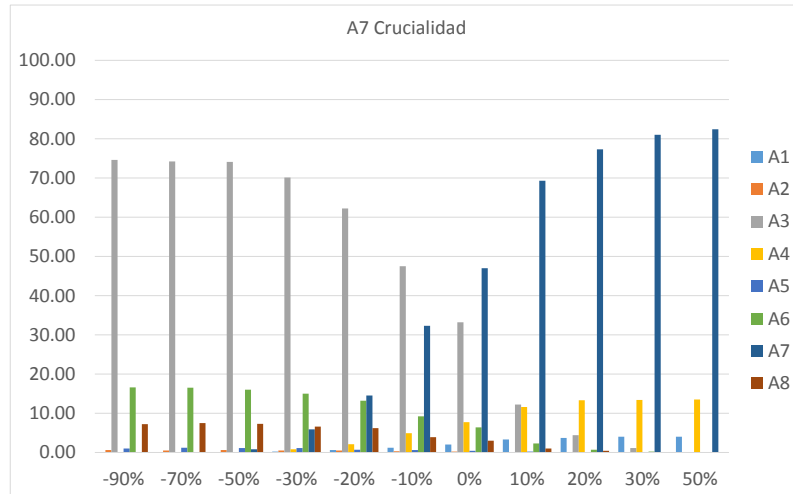


Figura 5.9: Crucialidad A4.



**Figura 5.10:** Crucialidad A7.

En los escenarios en los que las actividades disminuyen su duración, vemos como la criticidad del camino 1 disminuye en todos los casos e impactando, lógicamente, en las criticidades del resto de los caminos del proyecto, sobretodo, el camino 4, que aumenta su criticidad prácticamente lo que disminuye la del 1.

En cuanto a las crucialidades, resulta evidente que la actividad a la que se realiza la reducción de la duración para los distintos escenarios, su crucialidad sea cada vez menor. Pero, por el efecto que tiene en la criticidad del camino, el resto de las actividades de dicho camino sufrirán una disminución de su crucialidad. Al igual que en la criticidad, las actividades del camino 4, que es más crítico en estos escenarios, aumentan su crucialidad.

En el caso de los escenarios que aumentan las duraciones de las actividades ocurre justo al contrario. La criticidad de las actividades del camino 1 aumentan y consecuentemente su crucialidad. El impacto que tenían en el camino 4 también es el inverso, la criticidad y crucialidad de sus actividades disminuyen.

El efecto que tiene sobre el RBI lo podemos explicar a partir de la situación de la programación. Como el camino 1 es el segundo más crítico y la actividad más crucial es la actividad 7, toda acción realizada para disminuir la criticidad y/o hacer que deje de ser la actividad más crucial, implicará una reducción del RBI y viceversa, las acciones que aumenten su criticidad y la hagan más crucial, aumentarán el RBI.

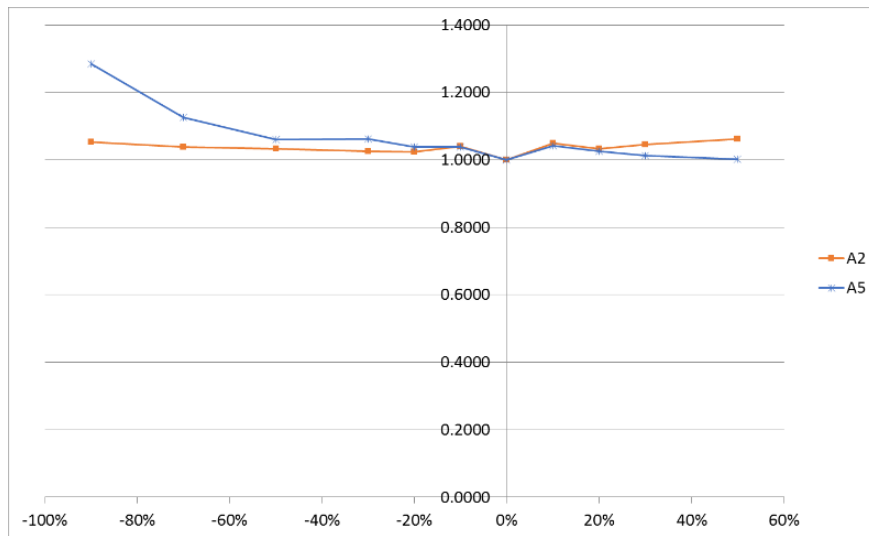
Sin embargo, hemos visto que hay tres escenarios en los que no se cumple esta tendencia, que son en los que la actividad 7 disminuye su duración en un -50%, -70% y un 9-0%. Para explicar este comportamiento, podemos recurrir a las conclusiones de Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999, que dicen que la variabilidad de un proyecto puede sufrir fluctuaciones cuando se modifica la duración de una actividad si dicha actividad no pertenece al top cinco de caminos críticos. En su trabajo, sacan esta conclusión porque las redes de proyectos tienen muchos caminos. Pero, en nuestra red de proyecto, vemos como a partir de un 50% de reducción de duración, el camino 1 deja de ser el segundo más crítico y en los escenarios de -70% y -90% es prácticamente nula. Se suma el hecho de que las crucialidades de las actividades 1 y 4 son también nulas.

### 5.2.2. Actividades 2 y 5. Camino 2.

El impacto que tienen los distintos escenarios sobre el RBI no es muy importante, ya que no le reduce ni le aumenta de forma considerable salvo en dos situaciones, en los que la actividad 5 disminuye su duración en un -70% y -90%. En la tabla 5.4 se recogen los valores numéricos de los escenarios que se representan gráficamente en la figura 5.5.

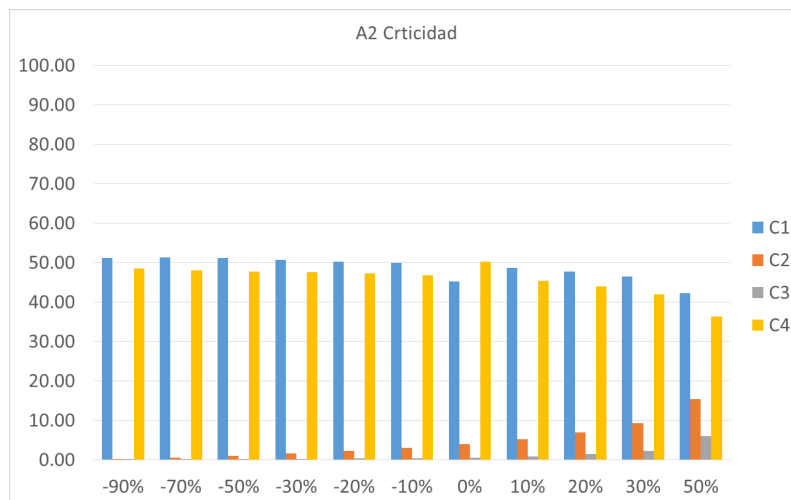
**Tabla 5.4.** RBI C2 sin riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A2	1.0534	1.0390	1.0337	1.0264	1.0230	1.0404	1.0000	1.0497	1.0329	1.0453	1.0628
A5	1.2844	1.1264	1.0594	1.0614	1.0379	1.0387	1.0000	1.0425	1.0263	1.0119	1.0024



**Figura 5.11:** RBI C2 sin riesgo estacional.

De la misma forma que en el apartado anterior comentaremos los resultados después de mostrar las gráficas de criticidad y crucialidad para cada uno de los escenarios:



**Figura 5.12:** Criticidad A2.



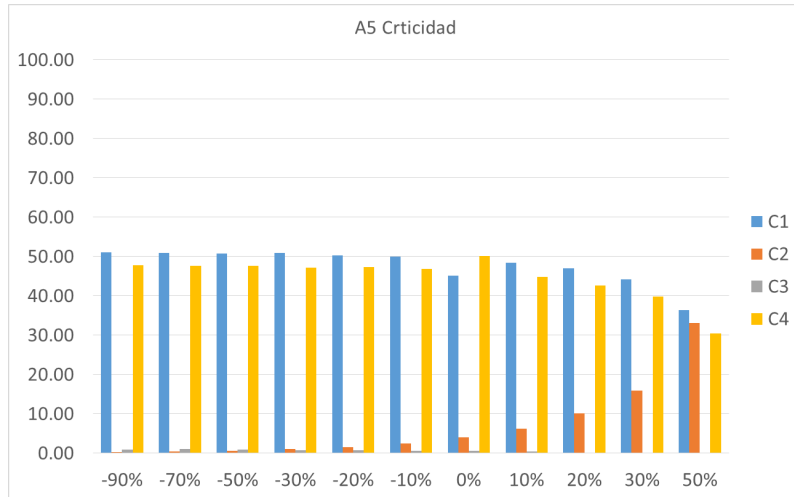


Figura 5.13: Criticidad A5.

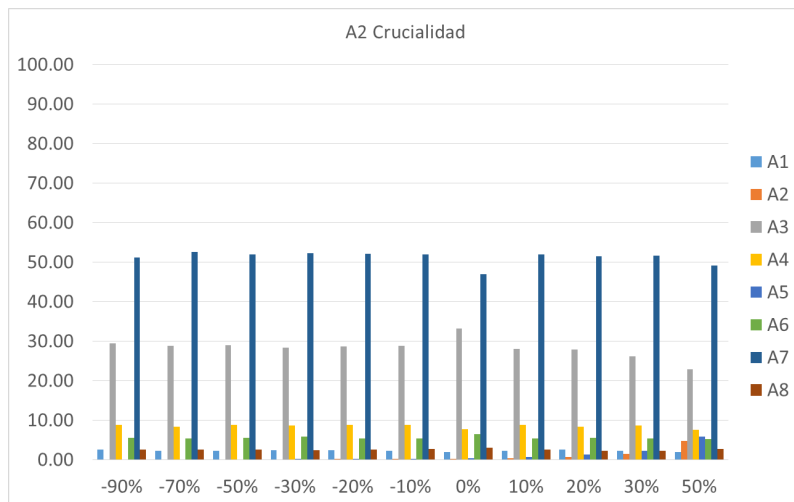


Figura 5.14: Crucialidad A2.

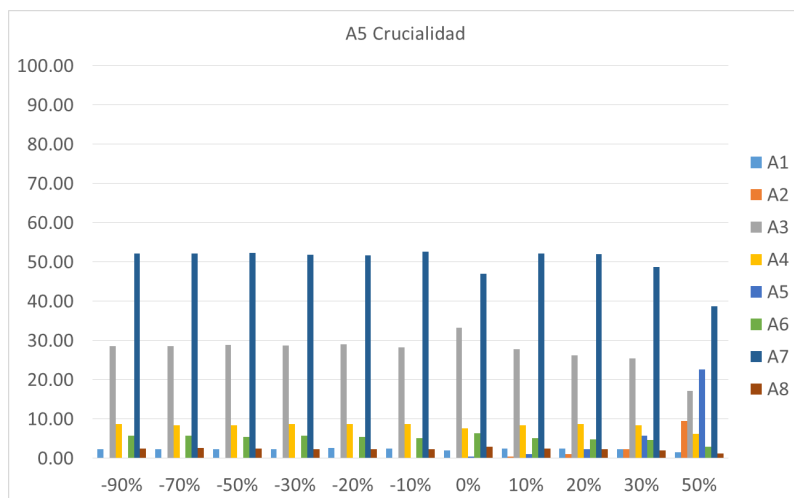


Figura 5.15: Crucialidad A5.

En cuanto a las criticidades, observamos que en los escenarios en los que disminuye la duración de las actividades, éstas tienden a cero. Y según aumentan las duraciones, las criticidades también. El único momento reseñable es en el escenario de la actividad 5 cuando aumenta su duración +50%, ya que se observa como el camino 2 pasa a ser el segundo más crítico, pero sin impacto en el RBI.

Como en la situación de programación del proyecto, las crucialidades de estas dos actividades eran bajas, no se ven afectadas significativamente cuando se reducen sus duraciones. Sin embargo, en el mismo escenario comentado anteriormente, la crucialidad de la actividad 5 aumenta hasta ser la segunda más crucial.

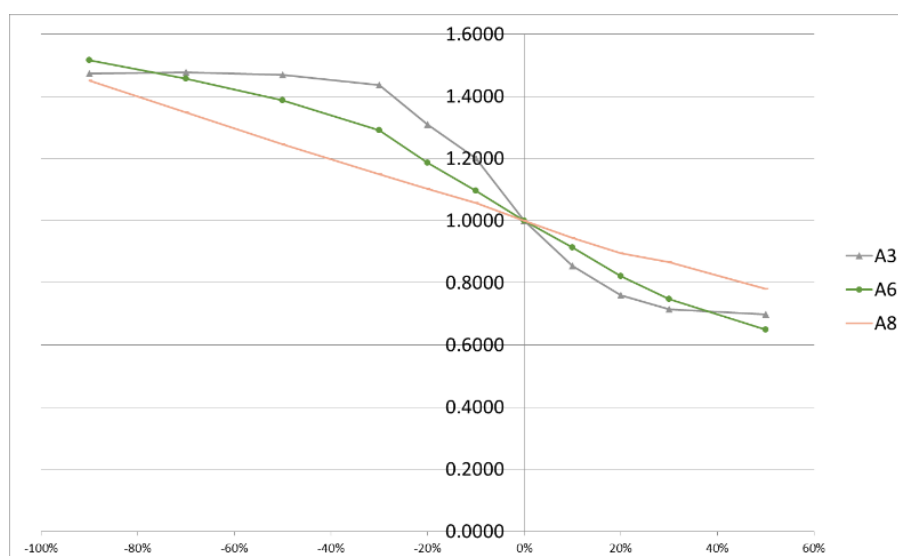
Por las razones descritas en el apartado anterior, el RBI prácticamente permanece siendo igual a la situación de la programación. Sólo aumenta cuando en los dos escenarios en los que la duración de la actividad 5 disminuye un -70% y -90%. Esto es debido a que la SRB aumenta al desaparecer prácticamente la criticidad del camino 2 en esas simulaciones.

### 5.2.3. Actividades 3, 6 y 8. Camino 4.

El comportamiento del RBI para los distintos escenarios de estas actividades es similar entre sí y de forma inversa a las actividades del camino 1. En los escenarios en los que se disminuye la duración de las actividades respecto de la programación el RBI aumenta y viceversa, disminuye cuando se aumentan las duraciones de las actividades. En la tabla 5.5 se recogen los valores numéricos de los escenarios que se representan gráficamente en la figura 5.16:

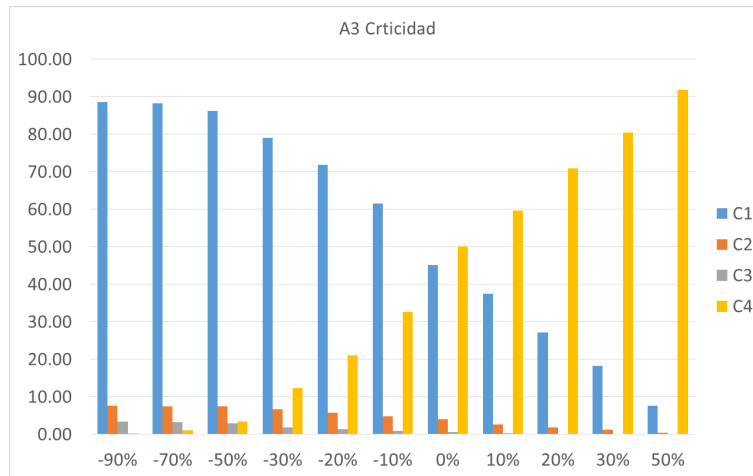
**Tabla 5.5.** RBI C4 sin riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A3	1.5524	1.5561	1.5242	1.5242	1.3824	1.2313	1.0000	0.8895	0.8039	0.7467	0.7325
A6	1.5744	1.5144	1.4617	1.3354	1.2657	1.1444	1.0000	0.9413	0.8576	0.7834	0.6734
A8	1.5060	1.3954	1.3040	1.2116	1.1359	1.0900	1.0000	1.0045	0.9285	0.8910	0.8105

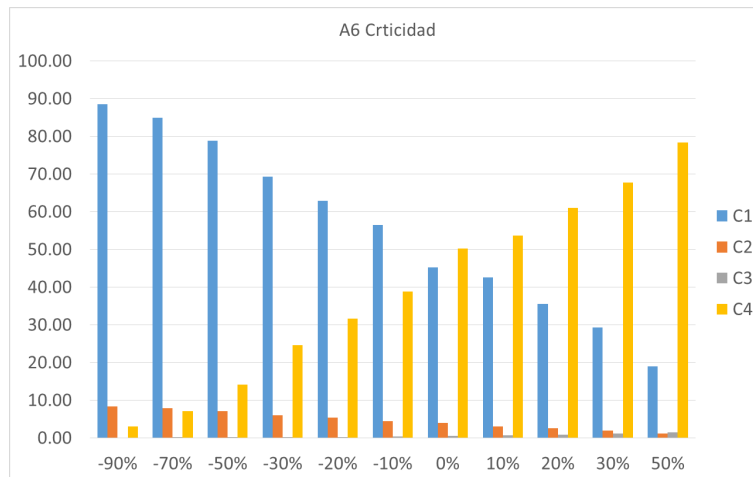


**Figura 5.16:** RBI C4 sin riesgo estacional.

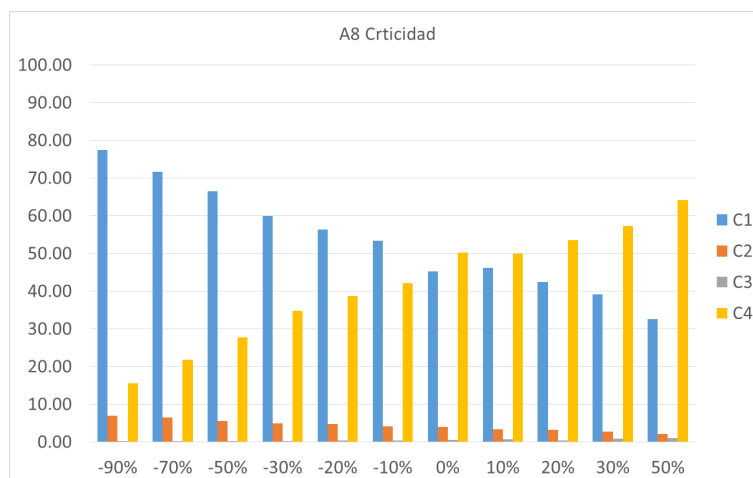
En las gráficas siguientes se muestran las criticidades y crucialidades de las actividades:



**Figura 5.17:** Criticidad A3.



**Figura 5.18:** Criticidad A6.



**Figura 5.19:** Criticidad A8.

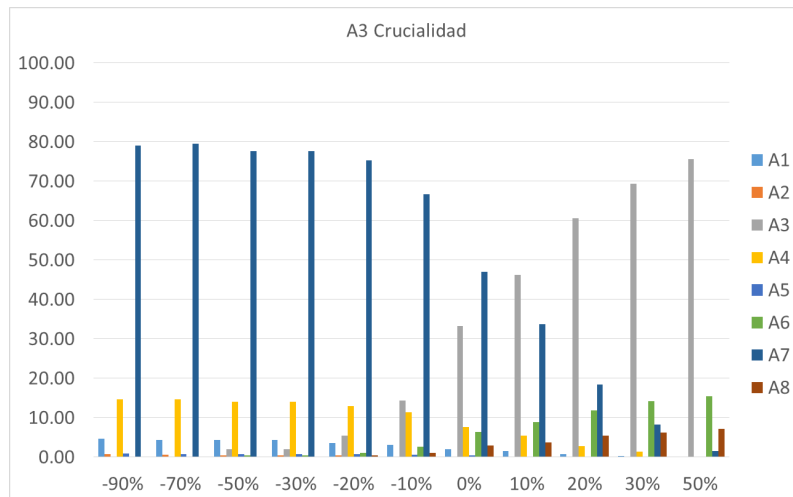


Figura 5.20: Crucialidad A3.

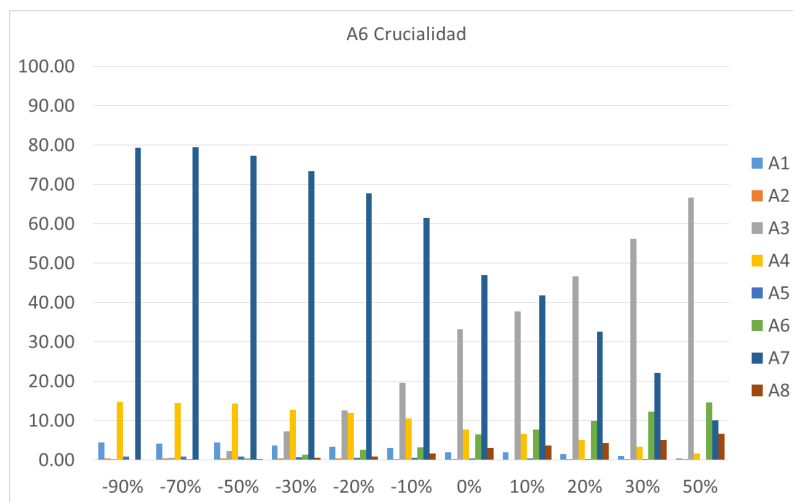


Figura 5.21: Crucialidad A6.

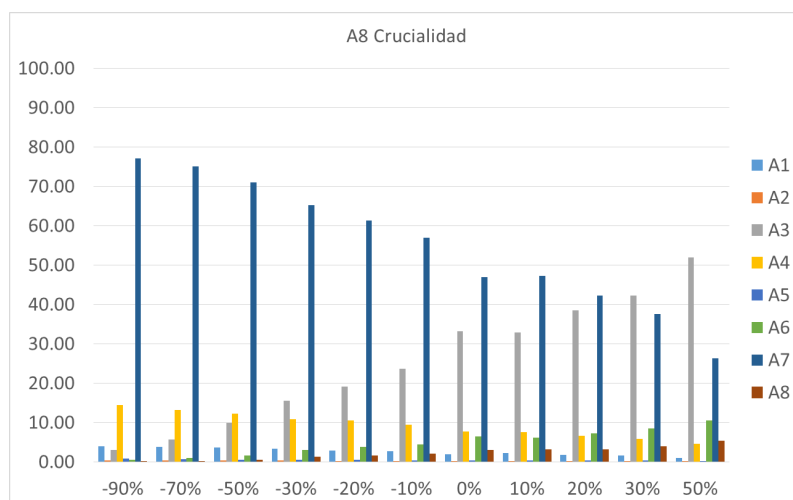


Figura 5.22: Crucialidad A8.

En los escenarios en los que las actividades disminuyen sus duraciones, vemos que la criticidad del camino 4 disminuye en todos los casos e impacta en las criticidades del resto de los caminos de los proyectos, sobretodo, la del camino 1 haciéndole cada vez más crítico.

En cuanto a las crucialidades, al igual que en los otros caminos y con las otras actividades, la crucialidad de la actividad, a la que se realiza la reducción de su duración para los distintos escenarios, es cada vez menor. Además por el efecto que tiene en la criticidad, también hará que el resto de las crucialidades de las actividades del camino se reduzcan. En contrapartida, las crucialidades del camino 4, cada vez más crítico, aumentarán.

En el caso de los escenarios que aumentan las duraciones de las actividades ocurre justo al contrario. La criticidad del camino 4 cada vez será mayor y las crucialidades también, reduciendo las criticidades y crucialidades del camino 1.

El efecto que tiene sobre el RBI lo podemos explicar a partir de la situación de la programación y como se ha visto para el camino 1. Como cuando se reducen las duraciones de las actividades, el camino 1 se hace más crítico y la actividad 7 más crucial, provoca un aumento del RBI. Y viceversa, un aumento en las duraciones de las actividades hacen que el camino 4 sea más crítico y las actividades más cruciales, reduciendo la criticidad y crucialidad del camino 1 y, por tanto, el RBI.

### **5.3 Conclusiones.**

En el caso de este proyecto, de forma general, se ha encontrado una relación entre criticidad y crucialidad, aunque hay ciertas situaciones en las que no es así, en las que en el camino más crítico no está la actividad más crucial.

Debemos tener presente, que cuando se plantean distintos escenarios para una determinada actividad, podemos estar modificando no sólo la criticidad y crucialidad de dicha actividad o las del camino en la que se encuentra, sino que también, la criticidad y crucialidad del resto de las actividades que componen el proyecto y por tanto el RBI.

En este proyecto, se ve una relación directa entre el comportamiento del RBI y de la actividad más crucial del proyecto, que en este caso es la actividad 7. Toda situación que haga que la crucialidad de esa actividad aumente, hará que el RBI aumente y viceversa.

Si se disminuye la duración de la actividad más crucial, el RBI disminuirá. Pero, a lo mejor nos podemos encontrar en una situación en la que no es posible destinar más recursos a esa actividad y hay que asignarlos a otra y, cómo se ha visto, es mejor asignarlo a las del mismo camino en la que se encuentra. Si no se pueden asignar más recursos y se quiere reducir el RBI, también se pueden quitar recursos a otra actividad, aunque se vaya en perjuicio de la duración del proyecto. Esto último lo tendría que valorar el director del proyecto.

Por todo esto, en el caso de un proyecto con muchas actividades, no es muy predecible saber cuándo una actividad puede aumentar o disminuir su criticidad o crucialidad y en qué proporción, como ya vieron otros autores. No sólo depende de la modificación de la duración de la propia actividad sino del resto del conjunto de actividades y de la red del proyecto, por lo que disponer de un indicador como el RBI resulta práctico para programar proyectos.



## Capítulo 6 RISK BASELINE INDEX CON RIESGO ESTACIONAL

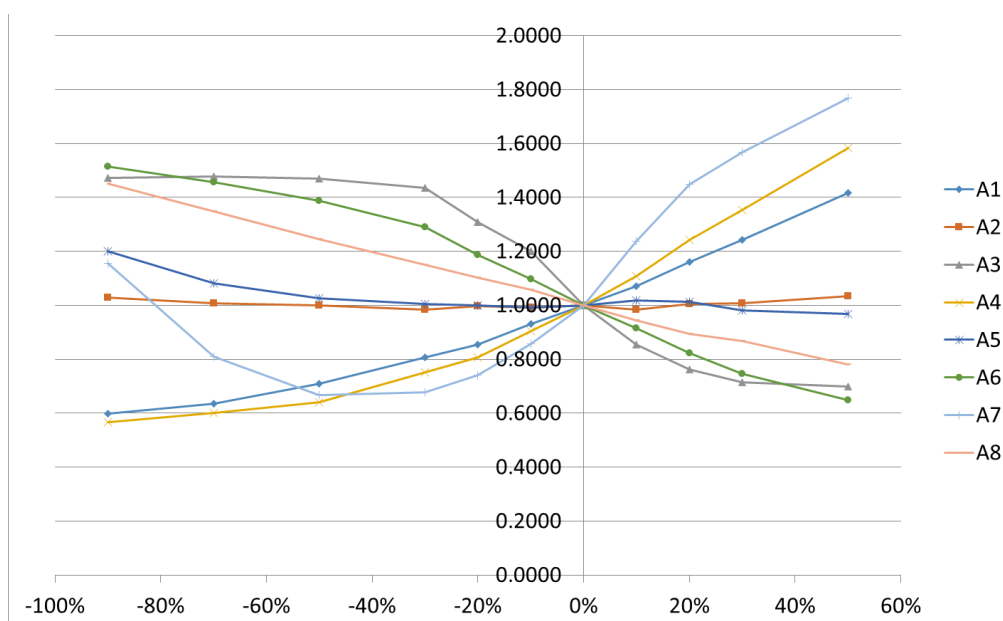
En este capítulo se damos los resultados obtenidos de las simulaciones para la red de proyecto de Acebes et al. en dos escenarios distintos. El primero es cuando el proyecto comienza en el mes de mayo, un mes en el que es muy difícil que la actividad 7 llegue a un mes con riesgo estacional, pero que es probable. Y el segundo, cuando comienza en noviembre, ya que es el mes en este proyecto con una mayor área de SRB. Realizaremos variaciones en las duraciones medias de las actividades, comprobando los indicadores de criticidad y crucialidad y se darán los valores de RBI.

### 6.1 Proyecto mes de mayo.

Los valores del RBI obtenidos para todos los escenarios plateados para el proyecto Acebes et al. para el mes de mayo son los que se recogen en la tabla 6.1 y gráficamente en la figura 6.1:

**Tabla 6.1.** RBI Acebes et al. mayo con riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.5974	0.6347	0.7083	0.8067	0.8530	0.9320	1.0000	1.0703	1.1601	1.2414	1.4169
A4	0.5677	0.6004	0.6395	0.7523	0.8060	0.9045	1.0000	1.1086	1.2424	1.3543	1.5828
A7	1.1539	0.8084	0.6679	0.6786	0.7395	0.8576	1.0000	1.2372	1.4490	1.5671	1.7684
A2	1.0282	1.0060	1.0002	0.9825	0.9964	0.9911	1.0000	0.9844	1.0049	1.0074	1.0335
A5	1.2007	1.0807	1.0257	1.0046	0.9988	0.9914	1.0000	1.0180	1.0121	0.9801	0.9669
A3	1.4730	1.4779	1.4690	1.4362	1.3082	1.2001	1.0000	0.8531	0.7606	0.7153	0.6985
A6	1.5154	1.4566	1.3868	1.2910	1.1855	1.0962	1.0000	0.9136	0.8215	0.7466	0.6490
A8	1.4506	1.3487	1.2453	1.1500	1.1022	1.0574	1.0000	0.9439	0.8950	0.8661	0.7805



**Figura 6.1:** RBI Acebes et al. mayo con riesgo estacional.

Comparando los resultados de este mes con los del capítulo anterior, en el que no existía riesgo estacional, comprobamos que son muy similares tanto en valor numérico como en el comportamiento de las actividades. Esto era de prever, ya que, es una situación en la que hay pocas probabilidades de que la actividad 7 se ejecute en un mes con riesgo estacional.

En la tabla 6.2 se muestra la relación entre el RBI de mayo con riesgo estacional por el RBI sin riesgo estacional, en la que se observa que hay muy poca diferencia.

**Tabla 6.2.** Relación RBI mayo con riesgo estacional y RBI sin riesgo.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.97	0.97	0.96	0.97	0.95	0.98	1.00	0.94	0.96	0.97	0.97
A4	0.95	0.97	0.94	0.97	0.95	0.97	1.00	0.96	0.97	0.95	0.94
A7	0.99	0.97	0.97	0.96	0.97	0.96	1.00	0.96	0.98	0.94	0.97
A2	0.98	0.97	0.97	0.96	0.97	0.95	1.00	0.94	0.97	0.96	0.97
A5	0.93	0.96	0.97	0.95	0.96	0.95	1.00	0.98	0.99	0.97	0.96
A3	0.95	0.95	0.96	0.94	0.95	0.97	1.00	0.96	0.95	0.96	0.95
A6	0.96	0.96	0.95	0.97	0.94	0.96	1.00	0.97	0.96	0.95	0.96
A8	0.96	0.97	0.96	0.95	0.97	0.97	1.00	0.94	0.96	0.97	0.96

Por lo que resulta más interesante estudiar un escenario en el que la ocurrencia del riesgo estacional es importante y comprobar si es necesario tener en cuenta el riesgo estacional mediante dos funciones de distribución a la hora de plantear distintos escenarios.

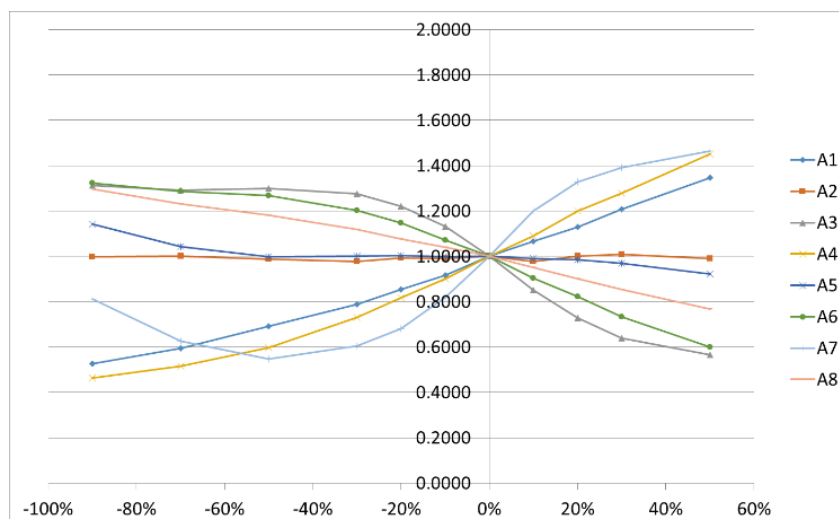
## 6.2 Proyecto mes de noviembre.

En este mes es cuando el proyecto de Acebes et al. tiene más variabilidad, ya que, la SRB es la que tiene la mayor área en todos los escenarios planteados. Realizando las mismas simulaciones que anteriormente obtenemos los resultados de la tabla 6.3 y en su forma gráfica en la figura 6.2:

**Tabla 6.3.** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.5260	0.5950	0.6910	0.7891	0.8536	0.9171	1.0000	1.0660	1.1289	1.2082	1.3480
A4	0.4642	0.5151	0.5973	0.7318	0.8168	0.9011	1.0000	1.0896	1.2001	1.2796	1.4522
A7	0.8128	0.6259	0.5479	0.6046	0.6806	0.8216	1.0000	1.2002	1.3298	1.3928	1.4661
A2	0.9973	1.0015	0.9885	0.9788	0.9922	0.9918	1.0000	0.9780	1.0022	1.0086	0.9905
A5	1.1423	1.0428	0.9995	1.0006	1.0032	0.9988	1.0000	0.9896	0.9852	0.9710	0.9219
A3	1.3140	1.2908	1.3008	1.2765	1.2208	1.1326	1.0000	0.8514	0.7282	0.6400	0.5667
A6	1.3243	1.2861	1.2679	1.2029	1.1472	1.0730	1.0000	0.9030	0.8225	0.7347	0.6005
A8	1.2971	1.2316	1.1809	1.1195	1.0770	1.0392	1.0000	0.9502	0.9028	0.8557	0.7674





**Figura 6.2:** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional.

De la misma forma que cuando hemos realizado el cálculo del RBI en el caso de que el proyecto no tenga riesgo estacional y en el escenario de mayo, identificamos las mismas zonas y el mismo comportamiento de las actividades. Zonas donde el RBI del nuevo escenario mejora, donde empeora y donde prácticamente es el mismo:

**Tabla 6.4.** Zonas RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional.

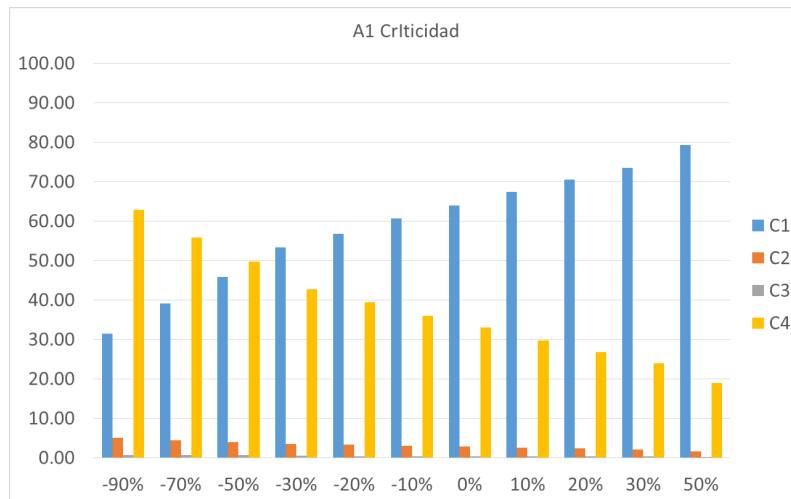
RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.5260	0.5950	0.6910	0.7891	0.8536	0.9171	1.0000	1.0660	1.1289	1.2082	1.3480
A4	0.4642	0.5151	0.5910	0.7318	0.8168	0.9011	1.0000	1.0896	1.2000	1.2796	1.4522
A7	0.8128	0.6259	0.5910	0.6046	0.6806	0.8216	1.0000	1.2002	1.3200	1.3928	1.4661
A2	0.9973	1.0015	0.9885	0.9788	0.9922	0.9918	1.0000	0.9780	1.0022	1.0086	0.9905
A5	1.1423	1.0428	0.9995	1.0006	1.0032	0.9988	1.0000	0.9896	0.9852	0.9710	0.9219
A3	1.3140	1.2908	1.3000	1.2765	1.2208	1.1326	1.0000	0.8514	0.7200	0.6400	0.5667
A6	1.3243	1.2861	1.2800	1.2029	1.1472	1.0730	1.0000	0.9030	0.8200	0.7347	0.6005
A8	1.2971	1.2316	1.1800	1.1195	1.0770	1.0392	1.0000	0.9502	0.9000	0.8557	0.7674

Al igual que en los otros escenarios y de forma general, detectamos tres tipos de comportamientos en función de la variación de la duración de las actividades en los distintos escenarios:

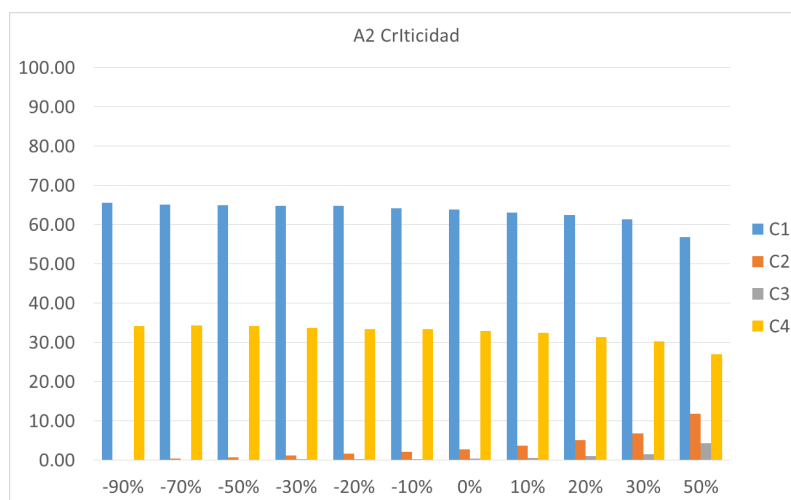
- Disminución del RBI cuando se disminuye la duración de la actividad y aumento del RBI cuando se aumenta la duración de la actividad. Es el comportamiento de las actividades 1, 4 y 7.
- RBI prácticamente constante cuando se aumenta o disminuye la duración de la actividad. Las actividades 2 y 5 son las que se comportan así.
- Aumento del RBI cuando se disminuye la duración de la actividad y disminución del RBI cuando se aumenta la duración de la actividad. Esto es lo que sucede con las actividades 3, 6 y 8.

Aunque el comportamiento, gráficamente, es similar, numéricamente es diferente, por lo que el riesgo estacional es un efecto importante a tener en cuenta a la hora de realizar nuevas estimaciones.

La explicación de porqué los valores son distintos se explica a partir de las gráficas de criticidad y crucialidad de las actividades que se muestran a continuación.



**Figura 6.3:** Criticidad A1.



**Figura 6.4:** Criticidad A2.

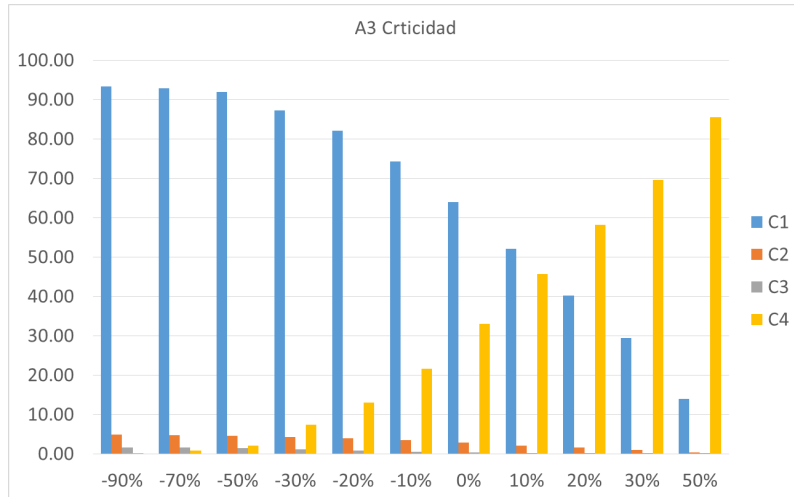


Figura 6.5: Criticidad A3.

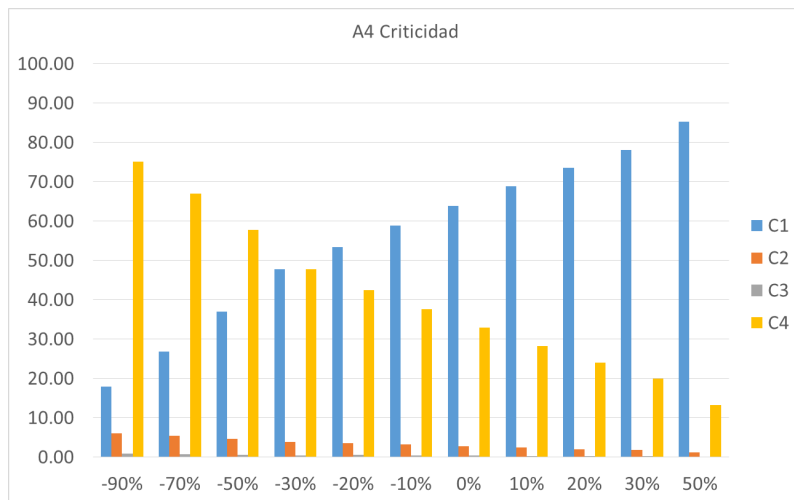


Figura 6.6: Criticidad A4.

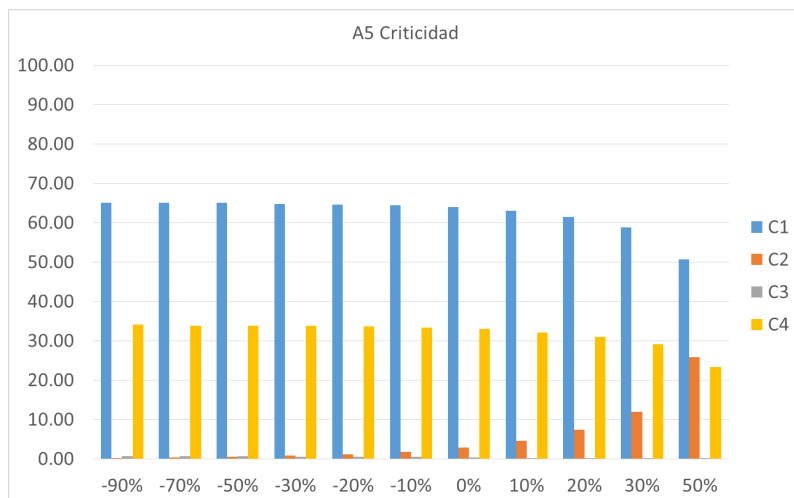


Figura 6.7: Criticidad A5.

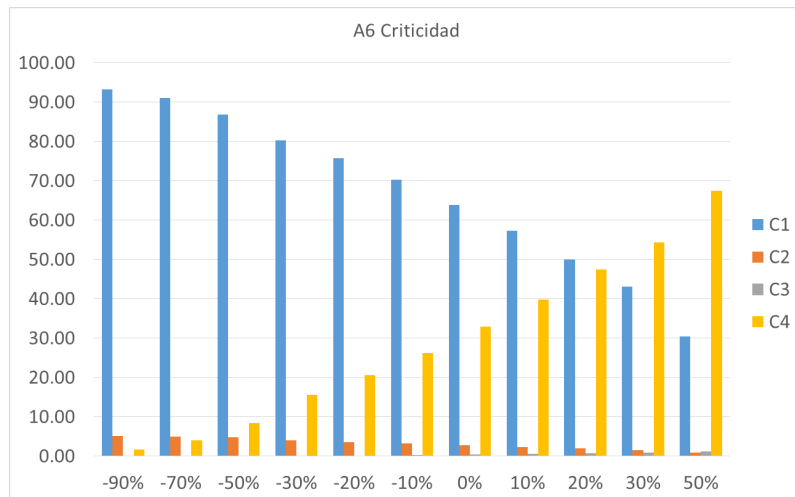


Figura 6.8: Criticidad A6.

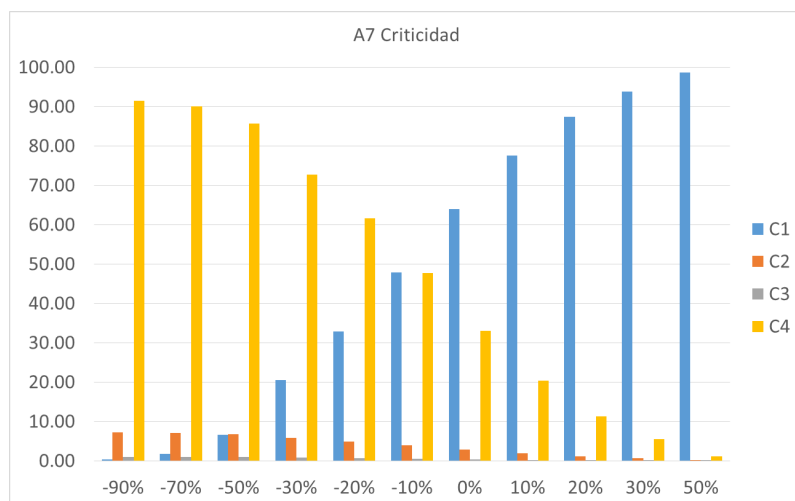


Figura 6.9: Criticidad A7.

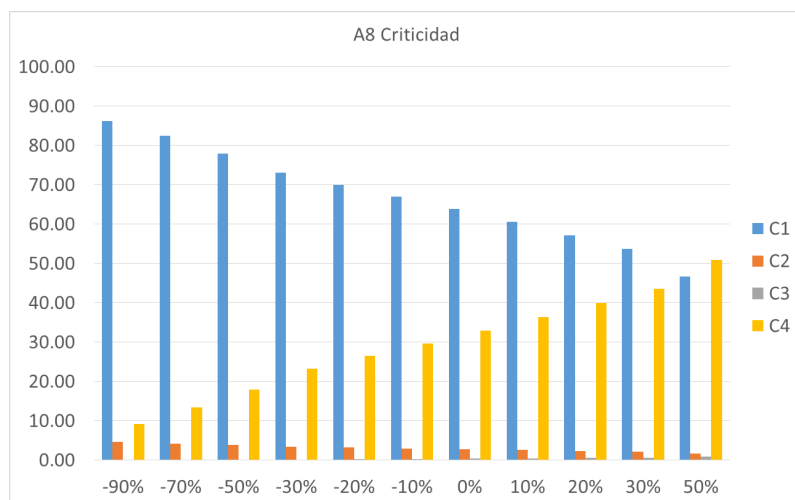


Figura 6.10: Criticidad A8.

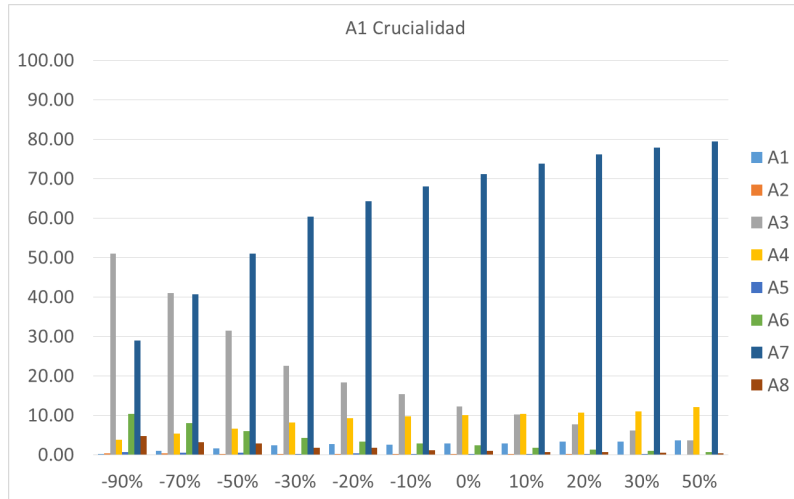


Figura 6.11: Crucialidad A1.

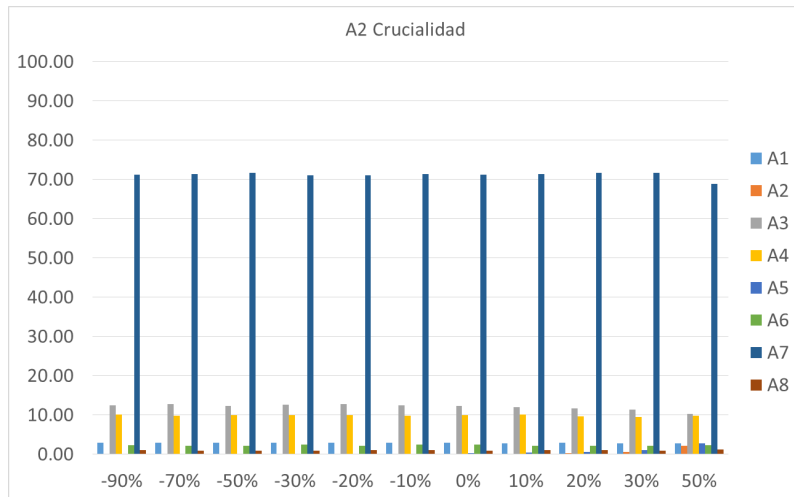


Figura 6.12: Crucialidad A2.

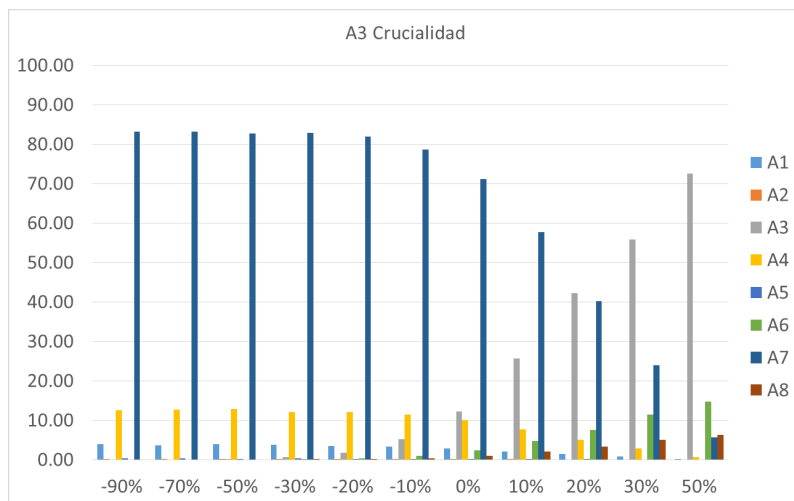


Figura 6.13: Crucialidad A3.

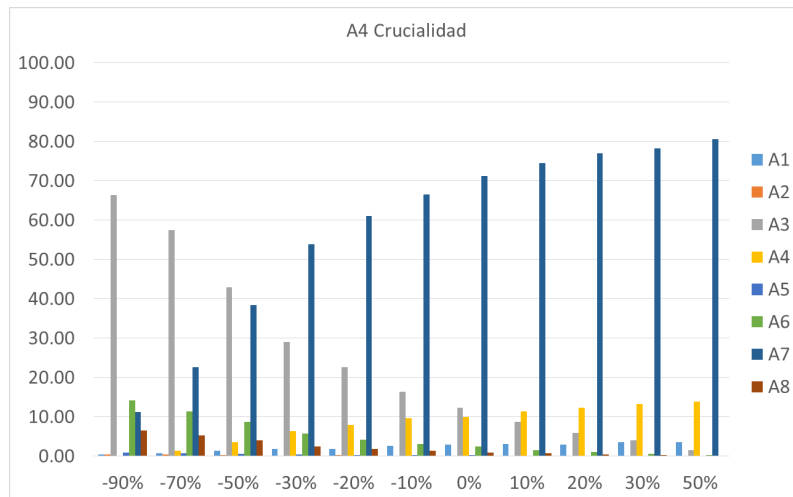


Figura 6.14: Crucialidad A4.

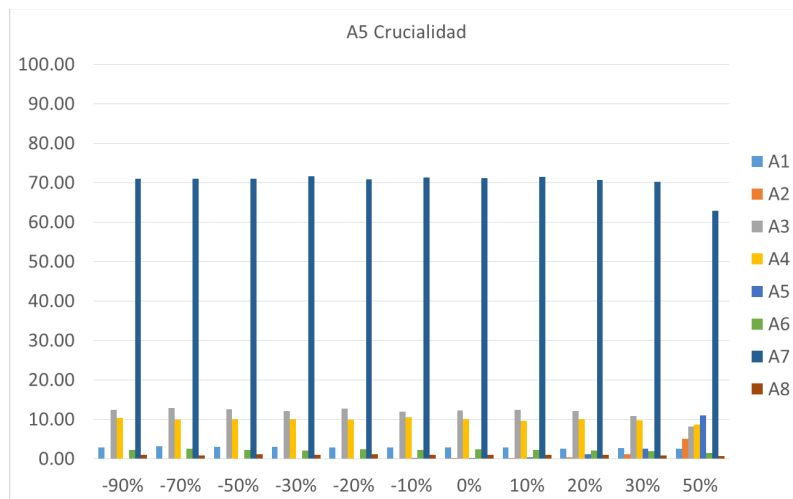


Figura 6.15: Crucialidad A5.

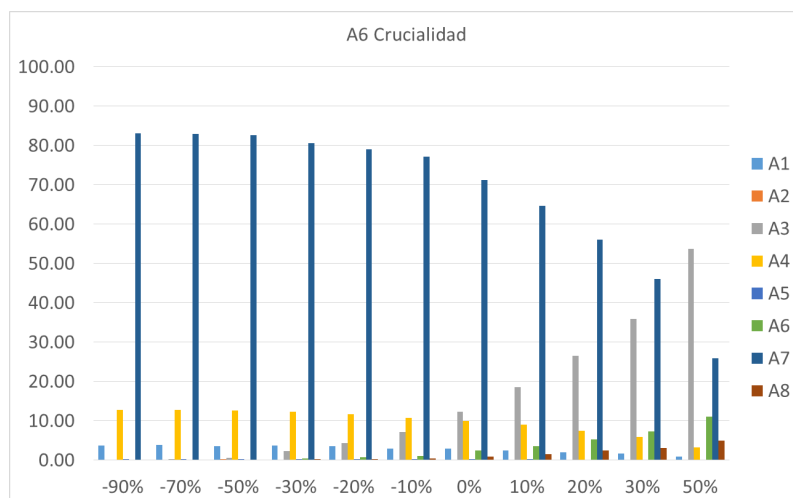
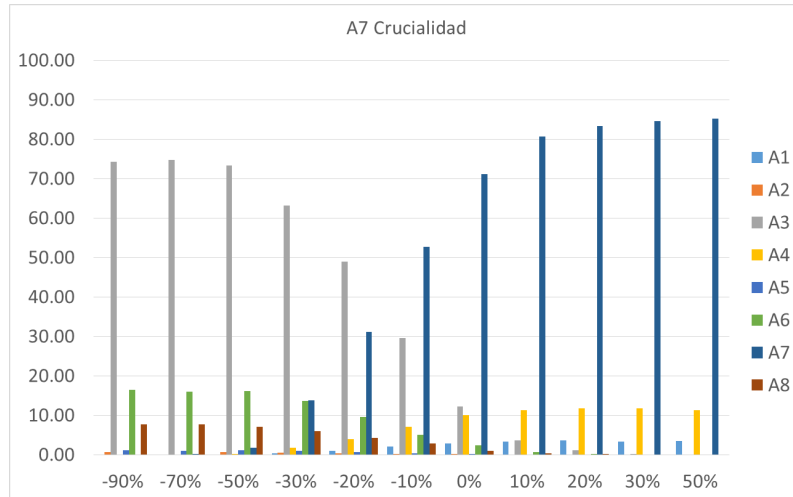
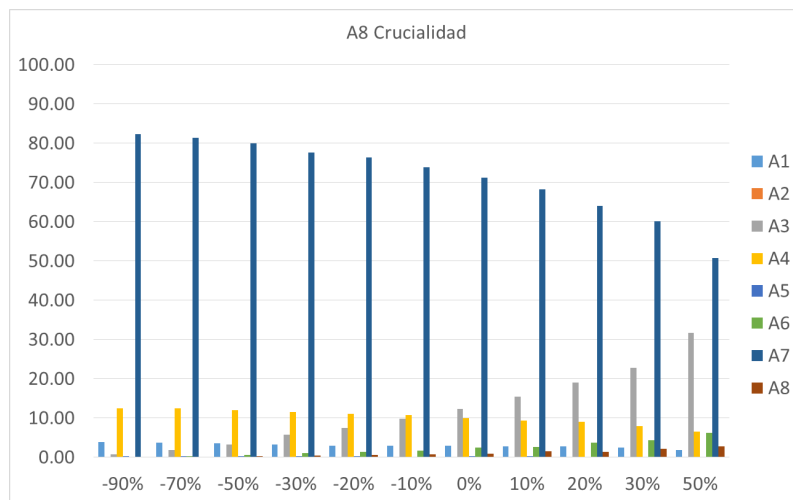


Figura 6.16: Crucialidad A6.



**Figura 6.17:** Crucialidad A7.



**Figura 6.18:** Crucialidad A8.

Al igual que en el capítulo anterior, incluso con la presencia de riesgo estacional sigue habiendo una relación entre criticidad y crucialidad, aunque hay ciertas situaciones en las que no es así, en las que en el camino más crítico no está la actividad más crucial.

Al plantear los distintos escenarios para una determinada actividad, se modifica la criticidad y crucialidad de dicha actividad y la del resto de las actividades que componen el proyecto y por tanto el RBI.

También concluimos que, en este proyecto, se ve una relación directa entre el comportamiento del RBI y de la actividad más crucial del proyecto, que en este caso es la actividad 7. Y que toda situación que haga que la crucialidad de esa actividad aumente, hará que el RBI aumente y viceversa.

Si comparamos las gráficas de criticidades y crucialidades de cada una de los escenarios, con las del proyecto sin riesgo del capítulo anterior, se puede ver como la actividad 7 tiene una criticidad y crucialidad más elevada en todos y cada uno de los escenarios.

Si calculamos el RBI poniendo como referencia la SRB programada del escenario del proyecto sin riesgo veríamos un empeoramiento del RBI. De esta forma obtenemos los resultados de la tabla 6.5:

**Tabla 6.5.** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional vs sin riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.7433	0.8410	0.9765	1.1153	1.2064	1.2962	1.4133	1.5066	1.5955	1.7075	1.9051
A4	0.6560	0.7280	0.8441	1.0342	1.1544	1.2735	1.4133	1.5400	1.6960	1.8084	2.0524
A7	1.1487	0.8846	0.7744	0.8544	0.9618	1.1611	1.4133	1.6962	1.8793	1.9684	2.0720
A2	1.4095	1.4155	1.3971	1.3833	1.4023	1.4017	1.4133	1.3821	1.4164	1.4255	1.3998
A5	1.6143	1.4738	1.4126	1.4141	1.4178	1.4116	1.4133	1.3985	1.3924	1.3723	1.3030
A3	1.8571	1.8242	1.8385	1.8040	1.7254	1.6007	1.4133	1.2033	1.0292	0.9045	0.8009
A6	1.8716	1.8176	1.7918	1.7001	1.6213	1.5165	1.4133	1.2762	1.1624	1.0383	0.8487
A8	1.8332	1.7406	1.6690	1.5822	1.5221	1.4687	1.4133	1.3428	1.2759	1.2093	1.0846

### 6.3 Conclusiones.

En este capítulo hemos visto si el riesgo estacional de un proyecto tiene efecto sobre el RBI. Si bien, el comportamiento del RBI en función de los escenarios de las actividades no va a verse influenciado por este riesgo, lo que sí que se va a ver afectado es su valor.

Las criticidades, crucialidades y por tanto el RBI, dependerán del riesgo en el escenario elegido y de cuando se ejecuta la actividad que tiene el riesgo estacional cuando se modifiquen las duraciones de las actividades. Dependiendo del tipo de riesgo definido en el proyecto, puede suceder que se ejecute en un periodo en el que el impacto del riesgo estacional sea mayor, menor o igual, impactando directamente en el RBI.

Entonces, como en el capítulo anterior, en el caso de un proyecto con muchas actividades, no es muy predecible saber cuándo una actividad puede aumentar o disminuir su criticidad o crucialidad y en qué proporción, como ya vieron otros autores. Y que, no sólo depende de la modificación de la duración de la propia actividad sino del resto del conjunto de actividades, de la forma de la red y de la complejidad del proyecto. Además, hay que añadir la dificultad que presenta el riesgo estacional en proyectos, lo que justifica, aún más, disponer de un indicador como el RBI para programar proyectos presentando distintos escenarios.



## Capítulo 7 CONCLUSIONES.

### 7.1 Conclusiones.

Para la consecución del objetivo del TFM, primeramente hemos realizado un estado del arte, para posteriormente considerar el riesgo estacional en otras redes proyectos, y otros riesgos estacionales distintos, al que aparece en Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014 y estudiar su efecto. Estudiamos, en un marco estocástico, la sensibilidad de la variabilidad de un proyecto frente a variaciones en las duraciones medias, o varianza, de las actividades que lo componen, o cuando existen errores en las estimaciones de esas actividades y el desarrollo de un indicador para la gestión de proyectos con riesgos estacionales.

El estado del arte, lo hemos realizado sobre los principales indicadores que se utilizan en dirección de proyectos, la sensibilidad de la variabilidad del proyecto frente a variaciones de la duración y varianza de las actividades y sobre los riesgos estacionales.

Los principales indicadores que se utilizan son los de la metodología de la Gestión del Valor Ganado, la cual, está muy extendida por su sencillez a la hora de realizar el seguimiento y control de proyectos. Integra el alcance, plazo y coste, en sus indicadores, pero, tiene ciertas limitaciones que distintos autores han intentado solventar con distintas ampliaciones de esta metodología. Para integrar el riesgo, en el seguimiento y control de proyectos, Pajares J. y López A. 2011 proponen la utilización de the Schedule Control Index y the Cost Control Index. Además, en este trabajo introducen el concepto de las Risk Baselines (RB), que representan la variabilidad remanente del proyecto. Las RB son: la Schedule Risk Baseline (SRB) y la Cost Risk Baseline (CRB) en función de la programación y el coste respectivamente.

Posteriormente, se han visto indicadores los indicadores de criticidad y crucialidad. Gracias a ellos podemos conocer qué actividades deben ser acortadas para reducir la probabilidad de crear cuellos de botella en el proyecto, aquellas cuya criticidad es mayor, o en cuáles reducir la incertidumbre, las que son más cruciales.

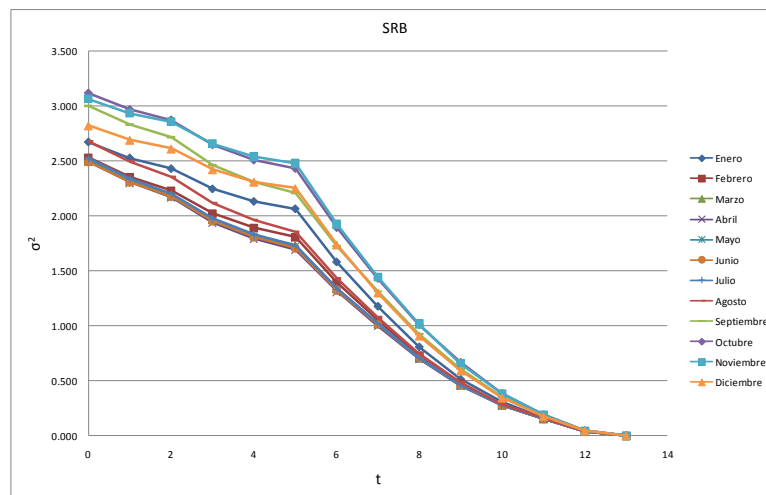
Al actuar sobre una determinada actividad, puede provocar, en la varianza del proyecto, un comportamiento difícil de predecir, ya que, en trabajos como el de Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999, se ve que al realizar una variación en la duración de una actividad, puede provocar un aumento, disminución o inestabilidad en el comportamiento de la variabilidad del proyecto, que no tiene porqué coincidir cuando se aumente, o se reduzca su duración respectivamente. A parte, este efecto es todavía más difícil de predecir en el caso en el que haya presencia de incertidumbres de distinta índole, como por ejemplo, una incertidumbre aleatoria.

Hemos dado la siguiente definición para la incertidumbre aleatoria tratada en este TFM, que es el Riesgo Estacional: un evento estadístico aleatorio, que afectará al menos a una actividad del proyecto, que se produce en un periodo delimitado de tiempo y pudiendo, incluso, variar estadísticamente a lo largo del tiempo de ocurrencia de ese evento.

Al terminar el estado del arte, hemos visto cómo no existe una metodología o trabajo que explique el comportamiento de la SRB frente a variaciones en las duraciones o varianzas de las actividades, con presencia de riesgos estacionales o sin ella. Tampoco hay estudios de lo que sucede si existe un error a la hora de realizar ciertas estimaciones en las duraciones de las actividades, intentado integrar este riesgo estacional en una única función de distribución. Debido a la imprevisibilidad del comportamiento de las actividades frente a posibles variaciones conviene tener un indicador, que actualmente no existe. Esto es lo que se ha realizado en el presente TFM.

Tomando como base distintas redes de proyectos, desde redes sencillas con un camino de actividades en serie o dos paralelos, hasta redes con suficiente entidad como la del proyecto de Acebes et al. hemos realizado simulaciones gracias al software Crystal Ball, que permite el crear modelos de proyectos y simularlos mediante Simulación de Montecarlo.

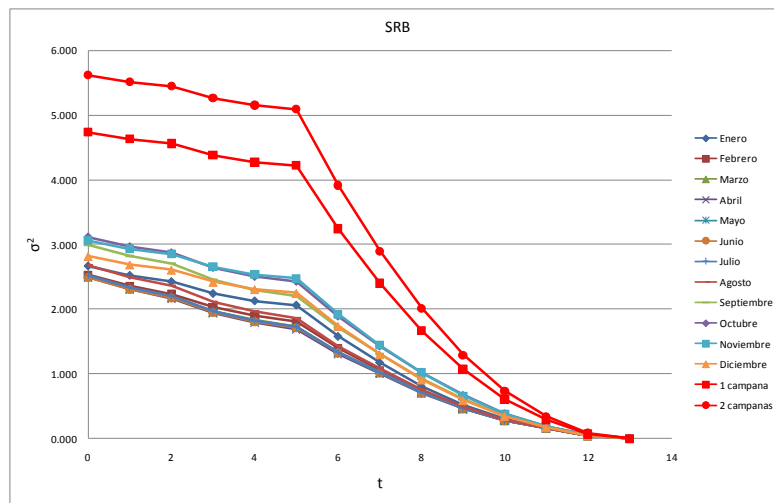
En presencia de distintos riesgos estacionales, y para los distintos proyectos, hemos comprobado cómo la SRB cambia en función del escenario de comienzo del proyecto. Los valores que toma son cada vez superiores a medida que la actividad que tiene el riesgo estacional se ejecuta en periodos en los que este riesgo tiene más probable de que suceda. Como por ejemplo se ve en la figura 7.1:



**Figura 7.1:** SRB para red de Acebes et al.

Cuando hemos integrado el riesgo estacional en una única función de distribución hemos detectado que se generan errores en la estimación de la variabilidad del proyecto y, por tanto, en la SRB. La SRB calculada de esta forma tendrá unos valores muy pesimistas, por lo que no es conveniente utilizar una única función de distribución.

En la figura 7.2, en rojo, se pueden ver las dos SRB calculadas con dos funciones de distribución que integren el riesgo estacional:



**Figura 7.2:** SRB para red de Acebes et al.

Planteando distintos escenarios en los que se han modificado las duraciones de cada una de las actividades en distintos valores, -10%, -20%, -30%, -50%, -70% -90%, +10%, +20%, +30% y +50% hemos visto que, si tenemos una red de proyecto con muchas actividades, no es muy predecible saber cuándo una actividad puede aumentar o disminuir su criticidad o crucialidad y en qué proporción. Y que, no sólo depende de la modificación de la duración de la propia actividad sino del resto del conjunto de actividades, de la forma de la red y de la complejidad del proyecto. Además, hay que añadir la dificultad que presenta el riesgo estacional en proyectos, lo que justifica, aún más, disponer de un indicador para programar proyectos presentando distintos escenarios.

Por esta razón se ha desarrollado el indicador Risk Baseline Index (RBI) que hemos definido como la relación entre el área de la SRB del proyecto frente a una acción tomada y la programada:

$$RBI = \frac{A'SRB}{A_0SRB} \quad (22)$$

Donde:

- A'SRB es el área de la SRB después de una acción tomada en el proyecto.
- A<sub>0</sub>SRB es el área de la SRB del proyecto según está programado.

El comportamiento de este indicador, al igual que demostraron con la varianza Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999, puede variar según en qué actividades se actúe y no es del todo predecible estando, además, su valor se encuentra afectado por el riesgo estacional.

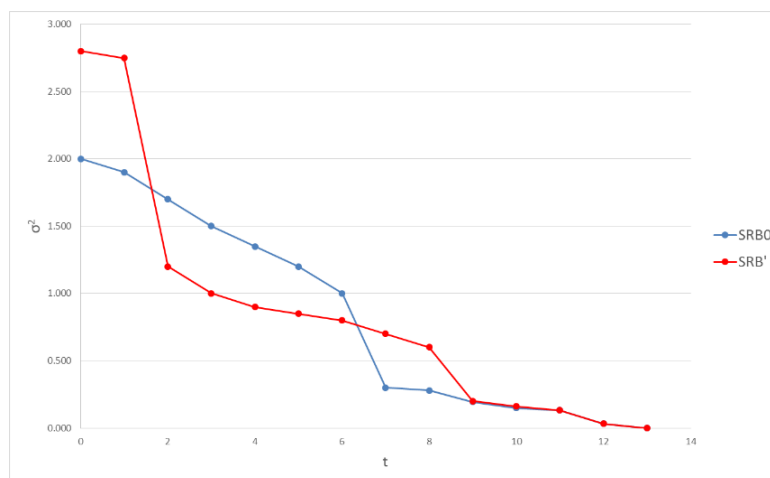
La forma que se ha elegido para realizar la presentación del indicador es mediante una tabla con un código de colores, yendo desde rojo a verde. Rojo es una situación desfavorable, amarillo sería una condición igual a la programada y más favorable. Un ejemplo es el que se da en la tabla 7.1:

**Tabla 7.1.** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional.

RBI	-90%	-70%	-50%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	50%
A1	0.5260	0.5950	0.6910	0.7891	0.8536	0.9171	1.0000	1.0660	1.1289	1.2082	1.3480
A4	0.4642	0.5151	0.5973	0.7318	0.8168	0.9011	1.0000	1.0896	1.2001	1.2796	1.4522
A7	0.8128	0.6259	0.5479	0.6046	0.6806	0.8216	1.0000	1.2002	1.3298	1.3928	1.4661
A2	0.9973	1.0015	0.9885	0.9788	0.9922	0.9918	1.0000	0.9780	1.0022	1.0086	0.9905
A5	1.1423	1.0428	0.9995	1.0006	1.0032	0.9988	1.0000	0.9896	0.9852	0.9710	0.9219
A3	1.3140	1.2908	1.3008	1.2765	1.2208	1.1326	1.0000	0.8514	0.7282	0.6400	0.5667
A6	1.3243	1.2861	1.2679	1.2029	1.1472	1.0730	1.0000	0.9030	0.8225	0.7347	0.6005
A8	1.2971	1.2316	1.1809	1.1195	1.0770	1.0392	1.0000	0.9502	0.9028	0.8557	0.7674

Para concluir, a pesar de que el RBI da información sobre la cantidad de riesgo, hemos detectado ciertas limitaciones a la hora de dar información sobre la forma de la SRB del nuevo escenario y sobre la duración total que pueden ser importantes para el directo del proyecto en cuestión. Estas limitaciones son:

- La primera limitación es que no nos da información sobre la duración del proyecto en el nuevo escenario, por lo que no sabemos si mejora, empeora o permanece igual.
- Otra limitación es la de la “forma” de la SRB. En el ejemplo de la figura, podemos observar la SRB de un proyecto según se ha planificado SRB<sub>0</sub> en azul y la que se obtendría después de realizar una modificación en la duración de alguna de las actividades SRB’ en rojo. El RBI entre estas dos SRB es RBI =1. Pero, habría que tener alguna información más para discriminar cuál de las dos SRB es mejor. Porque la SRB<sub>0</sub> tiene un riesgo menor en las dos primeras u.t, pero durante las seis siguientes es mayor. En este caso, seguramente, la decisión la debería tomar el director del proyecto en función de otro tipo de restricción, como por ejemplo la impuesta por la dirección, por el tipo de proyecto, por la financiación, seguros, etc.



**Figura 7.3:** Limitaciones RBI.

## 7.2 Principales aportaciones.

Las principales aportaciones que hemos realizado en este TFM han sido las siguientes:

- Metodología a seguir para el análisis de la SRB en proyectos.
- Demostración de que, si se integra el riesgo estacional en una única función de distribución junto con la duración de una actividad, se genera un error en la estimación de la duración y de la variabilidad de un proyecto.
- Estudio de la SRB en distintas redes de proyectos frente a distintos riesgos estacionales. Hemos comprobado cómo es importante el considerar dos funciones de distribución para el riesgo estacional y, de esta forma, ser más precisos a la hora de calcular la variabilidad de un proyecto. Además, se ha comprobado lo que sucede cuándo la actividad con riesgo estacional está al principio o al final de un proyecto.
- Estudio del comportamiento de la SRB cuando realizamos modificaciones en la duración o varianza de las actividades.
- Demostración de que, en proyectos con muchas actividades y en distintos escenarios de duración de las mismas, resulta difícil estimar qué va a ocurrir con la criticidad y crucialidad de las actividades y, por tanto, conocer cómo va a afectar a la variabilidad de un proyecto. Y esto, es todavía más difícil de predecir cuándo hay presencia de riesgo estacional.
- Desarrollo de un indicador que facilite la gestión de riesgos estacionales en proyectos, el Risk Baseline Index (RBI) que indica la mejora o empeoramiento del nuevo escenario.

## 7.3 Líneas futuras de investigación.

Como líneas futuras de investigación se pueden enumerar las siguientes:

- Estimación del aporte económico del fondo de contingencias en función de la SRB.
- Indicadores de “forma” de la SRB para solventar la limitación expuesta en las conclusiones
- Estudio de la sensibilidad de la variación de la variabilidad del proyecto, de la SRB y del RBI, en escenarios en los que se producen distintas combinaciones de variaciones en las duraciones de más de una actividad.
- Sistema de monitorización en tiempo real del proyecto que permita calcular las nuevas estimaciones de variabilidad del proyecto.
- Desarrollo de indicadores para la gestión del riesgo estacional en proyectos en función del coste utilizando para ello la CRB.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- Acebes F. 2015. Integración de la Incertidumbre y Riesgos en la Gestión y Control de Proyecto. Tesis Doctoral Universidad de Valladolid.
- Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2013. Exploring the relations between Project duration and activity duration. 17th International Congress on Project Management and Engineering. XVII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Logroño, July 17-19, 2013.
- Acebes, F., Pajares J., Galán J.M. y López, A. 2014. Exploring the influences of seasonal uncertainty in Project Risk Management. *Procedia – social and Behavioral Science* 119 (2014) 329 -338.
- Cho, J. y Yun, B. 1997. An uncertainty importance measure of activities in PERT networks. *International Journal of Production Research*, 35 (10), 2737-2758.
- Elmaghraby, S., Fathi, Y. y Taner, M. 1999. On the sensitivity of Project variability to activity mean duration. *International Journal Production Economics* 62 (1999) 219-232.
- Pajares J. y López A. 2007. Gestión integrada del coste y del plazo de proyectos. Más allá de la Metodología del Valor Ganado (EVM). XI Congreso de Ingeniería de Organización International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management Madrid, September 5th-7th 2007.
- Pajares J. y López A. 2011. An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management* 29 (2011) 615–621.
- PMI. 2011. Practice Standard for Earned Value Management 2<sup>nd</sup> Edition. ISBN: 978-1-935589-35-8. Ed. PMI.
- PMI. 2013. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) 5<sup>th</sup> Edition. ISBN: 978-1-935589-67-9. Ed. PMI
- Vanhoucke y Vandewoorde 2006. A comparison of different project duration forecasting methods. *International Journal of Project Management*, vol 24, pp: 289-320.
- Williams T. M. 1992. Critically in Stochastic Networks. *Journal of the Operational Research Society*, 43 (4), 353-357.





INDICE DE FIGURAS

**Figura 2.1:** Variables fundamentales y varianzas ..... 4

**Figura 2.2:** Earned Schedule y Schedule Variance (t) ..... 5

**Figura 2.3:** Diagrama de proyecto duraciones deterministas ..... 7

**Figura 2.4:** Diagrama de proyecto en serie ..... 8

**Figura 2.5:** Diagrama de proyecto con riesgo estacional ..... 10

**Figura 3.1:** Red de proyecto actividades en serie ..... 14

**Figura 3.2:** Red de proyecto caminos paralelos ..... 14

**Figura 3.3:** Red de proyecto Acebes et al. .... 15

**Figura 3.4:** Red de proyecto Acebes et al. A1A7A4 ..... 15

**Figura 3.5:** Red de proyecto Acebes et al. A7A4A1 ..... 16

**Figura 3.6:** Red de proyecto riesgo actividad final ..... 16

**Figura 3.7:** Schedule Risk Baseline ..... 17

**Figura 3.8:** Función de distribución de “una campana” ..... 18

**Figura 3.9:** Función de distribución de “dos campanas” ..... 19

**Figura 3.10:** Función integración de riesgo para red de proyecto riesgo actividad final ..... 19

**Figura 4.1:** SRB para red de proyecto actividades en serie ..... 21

**Figura 4.2:** SRB para red de proyecto con actividades en paralelo ..... 21

**Figura 4.3:** SRB para red de Acebes et al. .... 22

**Figura 4.4:** SRB para red de Acebes et al A1A7A4 ..... 22

**Figura 4.5:** SRB para red de Acebes et al A7A1A4 ..... 22

**Figura 4.6:** SRB para red de proyecto con riesgo actividad final ..... 23

**Figura 4.7:** SRB para red de proyecto con riesgo actividad final Mayo ..... 23

**Figura 4.8:** SRB para red de proyecto con riesgo actividad final Junio ..... 23

**Figura 4.9:** Integración de riesgo red de proyecto actividades en serie ..... 25

**Figura 4.10:** Integración de riesgo red de proyecto con actividades en paralelo ..... 25

**Figura 4.11:** Integración de riesgo para red de Acebes et al ..... 26

**Figura 4.12:** Integración de riesgo red de Acebes et al A1A7A4 ..... 26

**Figura 4.13:** Integración de riesgo red de Acebes et al A7A1A4 ..... 26

**Figura 4.14:** Integración de riesgo red de proyecto con riesgo actividad final ..... 27

**Figura 4.15:** SRB para red de proyecto actividades en serie variaciones Septiembre ..... 28

**Figura 4.16:** SRB para red de proyecto actividades en serie variaciones Octubre ..... 28

**Figura 4.17:** SRB para red de proyecto con caminos en paralelo variaciones Noviembre ..... 28

**Figura 4.18:** SRB para red de proyecto con caminos en paralelo variaciones Diciembre ..... 29

**Figura 4.19:** SRB para red de proyecto Acebes et al. variaciones Enero ..... 29

**Figura 4.20:** SRB para red de proyecto Acebes et al. variaciones Noviembre ..... 29

**Figura 4.21:** SRB para red de proyecto Acebes et al. A1A7A4 Enero ..... 30

**Figura 4.22:** SRB para red de proyecto Acebes et al. A1A7A4 Noviembre ..... 30

**Figura 4.23:** SRB para red de proyecto Acebes et al. A7A1A4 Enero ..... 30

**Figura 4.24:** SRB para red de proyecto Acebes et al. A7A1A4 Noviembre ..... 31

**Figura 4.25:** SRB para red de proyecto riesgo actividad final Abril ..... 31

**Figura 5.1:** Red de proyecto Acebes et al caminos ..... 33

**Figura 5.2:** Diagrama de Gantt ..... 34

**Figura 5.3:** RBI gráficamente Acebes et al. sin riesgo estacional ..... 35

**Figura 5.4:** RBI C1 sin riesgo estacional ..... 36

**Figura 5.5:** Criticidad A1 ..... 37

**Figura 5.6:** Criticidad A4 ..... 37

**Figura 5.7:** Criticidad A7 ..... 38

**Figura 5.8:** Crucialidad A1 ..... 38

**Figura 5.9:** Crucialidad A4 ..... 38

**Figura 5.10:** Crucialidad A7 ..... 39

**Figura 5.11:** RBI C2 sin riesgo estacional ..... 40

---

<b>Figura 5.12:</b> Criticidad A2.....	40
<b>Figura 5.13:</b> Criticidad A5.....	41
<b>Figura 5.14:</b> Crucialidad A2.....	41
<b>Figura 5.15:</b> Crucialidad A5.....	41
<b>Figura 5.16:</b> RBI C4 sin riesgo estacional.....	42
<b>Figura 5.17:</b> Criticidad A3.....	43
<b>Figura 5.18:</b> Criticidad A6.....	43
<b>Figura 5.19:</b> Criticidad A8.....	43
<b>Figura 5.20:</b> Crucialidad A3.....	44
<b>Figura 5.21:</b> Crucialidad A6.....	44
<b>Figura 5.22:</b> Crucialidad A8.....	44
<b>Figura 6.1:</b> RBI Acebes et al. mayo con riesgo estacional.....	47
<b>Figura 6.2:</b> RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional.....	49
<b>Figura 6.3:</b> Criticidad A1.....	50
<b>Figura 6.4:</b> Criticidad A2.....	50
<b>Figura 6.5:</b> Criticidad A3.....	51
<b>Figura 6.6:</b> Criticidad A4.....	51
<b>Figura 6.7:</b> Criticidad A5.....	51
<b>Figura 6.8:</b> Criticidad A6.....	52
<b>Figura 6.9:</b> Criticidad A7.....	52
<b>Figura 6.10:</b> Criticidad A8.....	52
<b>Figura 6.11:</b> Crucialidad A1.....	53
<b>Figura 6.12:</b> Crucialidad A2.....	53
<b>Figura 6.13:</b> Crucialidad A3.....	53
<b>Figura 6.14:</b> Crucialidad A4.....	54
<b>Figura 6.15:</b> Crucialidad A5.....	54
<b>Figura 6.16:</b> Crucialidad A6.....	54
<b>Figura 6.17:</b> Crucialidad A7.....	55
<b>Figura 6.18:</b> Crucialidad A8.....	55
<b>Figura 7.1:</b> SRB para red de Acebes et al.....	58
<b>Figura 7.2:</b> SRB para red de Acebes et al.....	59
<b>Figura 7.3:</b> Limitaciones RBI.....	60

**INDICE DE TABLAS**

**Tabla 2.1.** Duración de actividades ..... 7

**Tabla 2.2.** Duración de la actividad 1 ..... 8

**Tabla 3.1.** Días con temperaturas por debajo de 0° en Valladolid. .... 13

**Tabla 3.2.** Datos del proyecto actividades en serie. .... 14

**Tabla 3.3.** Datos del proyecto caminos paralelos. .... 14

**Tabla 3.4.** Datos del proyecto Acebes et al. .... 15

**Tabla 3.5.** Datos del proyecto actividad final. .... 16

**Tabla 5.1.** RBI Acebes et al. sin riesgo estacional. .... 35

**Tabla 5.2.** Zonas del RBI Acebes et al. sin riesgo estacional. .... 35

**Tabla 5.3.** RBI C1 sin riesgo estacional. .... 36

**Tabla 5.4.** RBI C2 sin riesgo estacional. .... 40

**Tabla 5.5.** RBI C4 sin riesgo estacional. .... 42

**Tabla 6.1.** RBI Acebes et al. mayo con riesgo estacional. .... 47

**Tabla 6.2.** Relación RBI mayo con riesgo estacional y RBI sin riesgo. .... 48

**Tabla 6.3.** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional. .... 48

**Tabla 6.4.** Zonas RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional. .... 49

**Tabla 6.5.** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional vs sin riesgo estacional. .... 56

**Tabla 7.1.** RBI Acebes et al. noviembre con riesgo estacional. .... 60