

08-023

MONTE CARLO SIMULATION APPLIED TO PROJECT RISKS FOR HOME SYSTEMS SOFTWARE DEVELOPMENT

García Martínez, Tomás⁽¹⁾; Fernández Sánchez, José Luis⁽¹⁾; Mira McWilliams, José⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidad Politécnica de Madrid

One of the characteristic and key elements of carrying out projects is the inherent uncertainty related to them. The possible events that may produce deviations from the original planning must be analysed in depth in order to avoid or mitigate their impact and ensure the project success. Therefore, Risk Management has a great significance within Project Management, and for this reason, it is necessary to study in detail the different tools and techniques that may lead to better results in this field.

Based on the above, a study about the Monte Carlo method applied to a software development project of a home system for a blind person has been conducted. Monte Carlo is generally applied running simulations using different lengths for the Project tasks, which makes analysing each individual project risk and finding alternatives to minimize their impact impossible. In order to avoid the limitations exposed and to find new areas of improvement for this method, Monte Carlo has been applied on the project risks, by making use of an Excel tool developed by the authors to examine this new approach.

Keywords: Risk Management; Monte Carlo simulation; Home System; Excel tool.

SIMULACIÓN DE MONTE CARLO DE LOS RIESGOS DE PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE DE DOMÓTICA

Uno de los elementos clave y característicos de la realización de proyectos es la incertidumbre inherente a los mismos. Los posibles eventos que pueden producir desviaciones respecto a lo planificado inicialmente deben ser analizados en profundidad para poder mitigar o evitar su impacto, y así garantizar el éxito del proyecto. Por tanto, la Gestión de Riesgos tiene una gran relevancia en la Dirección de Proyectos y, por ello, es necesario estudiar en detalle las diferentes técnicas y herramientas que permitan obtener mejores resultados en este campo.

En base a los anteriormente mencionado, se ha realizado un estudio de la aplicación del Método de Monte Carlo en el proyecto de desarrollo de software de una vivienda domótica para una persona invidente. Generalmente, Monte Carlo se utiliza ejecutando simulaciones con diferentes duraciones de las tareas, lo que imposibilita analizar de manera individual cada riesgo del proyecto y encontrar alternativas que minimicen su impacto. Con el fin de evitar estas limitaciones y buscar nuevas áreas de mejora en este método, se ha procedido con la aplicación de Monte Carlo sobre los propios riesgos del proyecto, utilizando una herramienta en Excel desarrollada por los autores para poder examinar este nuevo enfoque.

Palabras clave: Gestión de Riesgos; Simulación de Monte Carlo; Domótica; Herramienta Excel.

Correspondencia: Tomás García Martínez; tomasgar92@gmail.com

1. Introducción

La realización de un proyecto conlleva siempre un cierto grado de incertidumbre que debe ser siempre contemplado. Una parte considerable del esfuerzo del director de Proyecto debe estar encaminada a la completa planificación y programación de los trabajos con el objetivo de reducir esta incertidumbre, sin embargo, siempre quedarán numerosas variables fuera del alcance del director de Proyecto y que pueden provocar grandes problemas durante el desempeño de las actividades. Desde errores en los trabajos que desembocan en tareas no planificados, hasta cambios en la regulación o abandonos de recursos clave del equipo de proyecto, cualquier aspecto es susceptible de provocar cambios en la programación inicial planteada.

Estos motivos explican la importancia de la gestión de los riesgos, entendiéndolo como riesgo “un evento o condición incierta que, de producirse tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto, tales como el alcance, el cronograma, el costo y la calidad” (PMI, 2013, p. 310). El impacto que estos eventos pueden provocar que proyectos llevados a cabo por considerarse viables económicamente terminen con grandes pérdidas e incluso, su cancelación. Pueden tener asociados igualmente reducciones drásticas en el alcance o incrementos considerables en el plazo necesario para su finalización. Por tanto, los riesgos deben ser gestionados por parte del director del Proyecto y de los miembros del equipo para evitar este tipo de situaciones.

Además, cabe destacar que nos encontramos en un contexto en el que los proyectos son cada vez más complejos. Por un lado, tienden a ser de mayores dimensiones y con tecnologías más complejas, lo que introduce nuevas incógnitas en la ecuación de la planificación y el control del proyecto. Por otro lado, la mayor competencia existente debido a la globalización hace que los proyectos cada vez se tengan que ejecutar en menos plazo, con mayor calidad y a menor coste. Estas exigencias provocan que cada vez haya menores márgenes de error, cualquier imprevisto que afecte al desarrollo normal de los trabajos puede tener consecuencias catastróficas para el proyecto.

Ante esta situación surge la necesidad de otorgar una mayor relevancia a la gestión de los riesgos, hasta ahora uno de los aspectos a los que menos atención se le ha prestado en la Dirección de Proyectos. Con este objetivo aparece la Programación de Proyectos orientada a riesgos o “Risk Driven Scheduling” por su nombre en inglés (Hulett, 2016). Mediante este tipo de gestión se pretende la planificación del proyecto no solo considerando la duración estimada de las actividades, sino también las posibles desviaciones producidas por los riesgos. Con la utilización de esta técnica, el director de Proyecto podrá estimar con mayor fiabilidad la duración real del proyecto o el coste que se alcanzará en función de los riesgos que puedan afectar al proyecto, evitando así las tan comunes desviaciones en estos dos aspectos.

Planificar un proyecto en base a los riesgos implica una mayor dificultad debido a la complejidad añadida de realizar una identificación más detallada de los riesgos, así como un estudio en profundidad de sus probabilidades de ocurrencia y sus impactos. Sin embargo, se deben tener también en cuenta los beneficios que puede proporcionar desde un punto de vista económico, evitando por ejemplo penalizaciones por retrasos por haber podido proporcionar una duración más realista, así como desde un punto de vista de la credibilidad que le otorgará a una compañía terminar los proyectos en los plazos y en el coste establecido desde un principio. Por tanto, la aplicación de este método queda totalmente justificada si se desea finalizar los proyectos con éxito y con un alto grado de satisfacción por parte del cliente.

2. Risk Driven Scheduling: aplicación del método de Monte Carlo

Para la gestión de los proyectos considerando los riesgos se propone la utilización del Método de Monte Carlo. Este método hace referencia a una técnica que, a través del estudio de una gran cantidad de números generados aleatoriamente y mediante un modelo probabilista, permite encontrar una solución aproximada a un problema que sería complicado resolver mediante otros medios. El método aparece desarrollado por primera vez por científicos como John von Neumann y Stanislaw Ulam en la década de 1940, obteniendo su nombre debido a que este método se basa en los juegos de azar, asemejándose en gran medida a una ruleta de un casino. (Kalos & Whitlock, 2008).

El desarrollo de este método coincide con la aparición de los primeros computadores, si bien, en la época en la que se comenzó a usar su capacidad de procesamiento no era lo suficiente como para aprovechar todo su potencial. Aunque en sus comienzos fue pensado para resolver integrales cuya complejidad de resolución por métodos analíticos era muy alta, en la actualidad es utilizado en una gran cantidad de ámbitos como el “trading”, la física, la medicina o, como es el caso que se está tratando, la gestión de proyectos (Kwack & Ingall, 2009).

Un claro ejemplo donde ver la aplicación de este método es para el cálculo del número π mediante Monte Carlo y que muestra perfectamente su esencia. A través del uso de un círculo inscrito en un cuadro de lado L , siendo por tanto su radio $\frac{L}{2}$, si se generaran puntos aleatorios dentro del cuadrado, se podría calcular el valor de π si se define P como la probabilidad de que un punto caiga dentro del círculo:

$$P = \frac{N^{\circ} \text{ puntos en círculo}}{N^{\circ} \text{ puntos totales}} = \frac{A_{\text{círculo}}}{A_{\text{cuadrado}}} = \frac{\pi \left(\frac{L}{2}\right)^2}{L^2} = \frac{\pi}{4} \rightarrow \pi = 4P \quad (1)$$

Como se puede observar, este método adquiere su mayor utilidad si se combina con una aplicación informática que permita realizar las simulaciones de los elementos que se deseen (en el caso anterior, la generación de puntos aleatorios en un plano limitado por un cuadrado).

Una vez comprendidos los fundamentos de esta técnica es posible aplicarla en la gestión de proyectos. Cualquier proyecto está sujeto a incertidumbre, siempre hay eventos aleatorios que pueden afectar a aspectos como el plazo y el coste, por tanto, las estimaciones que se realizan siempre están sujetas a variabilidad. Este concepto justifica que otorgar un valor de duración o coste exacto a una tarea no es correcto, siempre puede haber alguna variación, una misma tarea puede no tener la misma duración el mismo coste en distintos proyectos.

A raíz de estos hechos, para una correcta planificación sería más óptimo asignar distintas duraciones y costes a cada tarea y una probabilidad a cada uno de estos casos. A partir de esta definición, se podría utilizar el método de Monte Carlo para poder realizar una estimación más próxima a la realidad en lo relativo al coste y/o la duración. Los datos obtenidos a través de las simulaciones podrían ayudar al Directo del Proyecto a conocer con mayor profundidad qué riesgos podrían causar desviaciones en el proyecto.

Siguiendo este razonamiento, se ha decidido aplicar el método de Monte Carlo al proyecto de una vivienda domótica para una persona invidente, aplicándolo en particular a los riesgos que le afectan para poder estimar la duración del proyecto. La bibliografía generalmente habla de aplicar Monte Carlo a las tareas, es decir, definir distintas duraciones y sus correspondientes probabilidades a cada una de ellas, sin embargo, debido a las limitaciones de esta técnica que se han desarrollado más adelante, se ha considerado que es más correcto aplicar Monte Carlo directamente a los riesgos del proyecto.

El procedimiento de aplicación de la técnica ha consistido en, una vez identificados y analizados los riesgos que afectan al proyecto desarrollado, asignarles una probabilidad y un impacto en términos de incremento de duración en días. Acto seguido se han identificado los

paquetes de trabajo a los que afecta cada uno de estos riesgos. Una vez terminado este proceso, se han realizado simulaciones mediante números pseudoaleatorios a los que se le han hecho corresponder valores de probabilidad, de manera que para cada riesgo se genere una y , en función de su valor, se pueda determinar si el riesgo sucede o no.

Es necesario destacar del párrafo anterior el término de número pseudoaleatorio y que hace referencia a la generación de números a partir de algoritmos deterministas. Para utilizar estas variables es necesario disponer de un generador de estos (en el caso que se está tratando ha sido a través de una función contenida en Excel). Este tipo de generadores parte de una estructura $G = (X, x_0, T, U, g)$, donde:

- X es un conjunto finito de estados.
- x_0 pertenece a X y es el estado inicial.
- T es la función de transición $T: X \rightarrow X$.
- U es el conjunto finito de observaciones.
- G corresponde a la función de salida $G: X \rightarrow U$

Su funcionamiento se basa en la elección de una semilla inicial x_0 a partir de la cual se genera una sucesión de valores $x_n = T(x_{n-1})$. De esta manera se genera un conjunto de números pseudoaleatorios $u_n = g(x_n)$. Debido a que X es un conjunto finito, esta sucesión será periódica, de manera que en algún momento existirá un $x_j = x_i$.

Finalmente, una vez realizadas todas las simulaciones, se ha procedido con el análisis de los datos para poder calcular, mediante las distintas duraciones obtenidas durante cada simulación, las probabilidades que tendría el proyecto de terminar en distintos plazos. Como se desarrolla en el apartado correspondiente a los resultados, estas simulaciones han sido realizadas numerosas veces con el fin de demostrar que mediante este método sería posible analizar también diferentes medidas que el director de Proyecto podría establecer para optimizar la planificación.

3. Implementación en una herramienta informática

Para la realización de las simulaciones correspondientes al método de Monte Carlo y el análisis de los riesgos se comenzó estudiando las herramientas comerciales existentes. Estas herramientas tienen la ventaja de su potencia de cálculo, la facilidad para introducir y analizar los datos y la gran variedad de configuración que permiten. Estas características motivaron la decisión de elegir una de ellas, sin embargo, finalmente se descartó su utilización debido principalmente a dos razones: su coste de adquisición y la forma en la que aplican el método de Monte Carlo.

En lo relativo al coste, se entiende que en un proyecto de estas características donde el presupuesto es muy ajustado, cualquier gasto añadido, incluso si es en una herramienta informática que pueda ayudar a su gestión, puede disminuir considerablemente su rentabilidad. Además, este tipo de software está preparado para proyectos notablemente más grandes por lo que quedaría mucha capacidad de procesamiento inutilizada.

En cuanto a lo comentado acerca de la aplicación del método de Monte Carlo, se debe destacar que en este proyecto se ha planteado de una manera novedosa que las herramientas software comerciales y, en general, la literatura acerca de este tema, no contemplan. La aproximación usual utilizada y en la que se basan las herramientas informáticas consiste en asignar distintas duraciones a cada tarea con una probabilidad correspondiente. El ejemplo clásico es asignar una distribución triangular a cada tarea donde existirán tres duraciones: la optimista, la pesimista y la más probable, teniendo cada una de ellas una probabilidad de ocurrencia.

La aplicación por lo tanto del estudio de los riesgos mediante esta aplicación consiste en considerar que cada una de las tres duraciones tendrá asociada la aparición de cero, uno o más de un riesgo, por ejemplo:

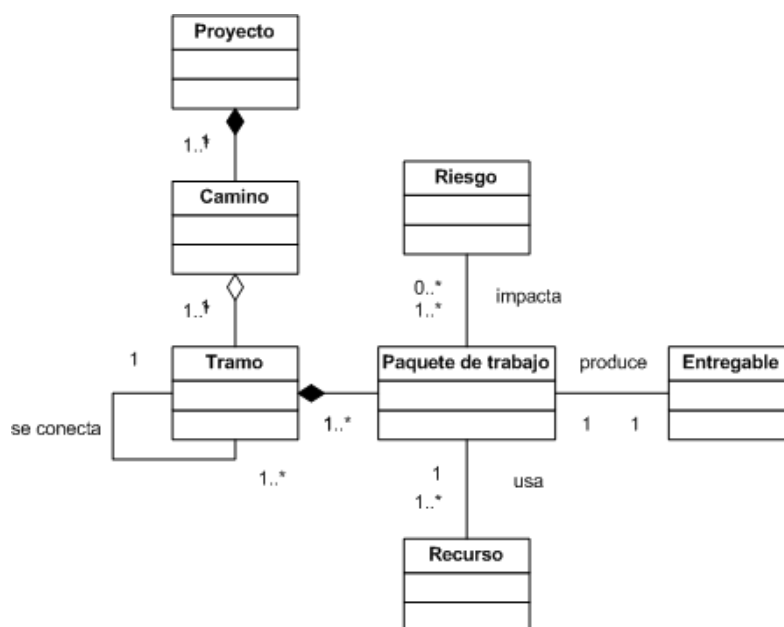
- Duración optimista: no ocurre ninguno de los riesgos que afecten a la tarea.
- Duración más probable: ocurre uno de los riesgos que afecte a la tarea.
- Duración pesimista: ocurre más de uno de los riesgos de los que afecta a la tarea.

Esta forma de realizar el análisis de los riesgos tiene las siguientes limitaciones:

- Cada riesgo puede tener distinto impacto sobre la tarea y es incorrecto asignar una duración sin tener en cuenta cuál es el riesgo que ocurre.
- Un mismo riesgo puede afectar a más de una tarea siendo su impacto sobre las mismas diferentes (en este proyecto ocurre con los riesgos sobre el desarrollo de software).
- En caso de que existan tres o más riesgos que afecten sobre una tarea, existen numerosas combinaciones de aplicación, por lo tanto, asignar una misma duración (la pesimista) siempre que ocurra más de un riesgo sin considerar estas posibles combinaciones sería una aproximación inadecuada.
- No tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia de los riesgos.
- Dificulta la planificación de las respuestas de los riesgos al no ser su probabilidad e impacto variables directas de la simulación.

Atendiendo a estas inexactitudes y con el fin de evitarlas y conseguir unos mejores resultados, se ha optado por aplicar el método de Monte Carlo directamente sobre los riesgos que son los que impactan en los paquetes de trabajo que constituyen los tramos de los diferentes caminos a planificar del proyecto, según el marco conceptual que se presenta en la Figura 1 en notación UML (Unified Modeling Language).

Figura 1. Marco conceptual de la planificación dirigida por los riesgos



En lugar de aplicar diferentes duraciones y sus consiguientes probabilidades a cada tarea, se ha definido en cada uno de los riesgos su probabilidad de ocurrencia, el paquete o los paquetes de trabajo a los que afecta y el impacto que tienen en la duración de cada uno. De esta manera ha sido posible analizar de manera cuantitativa cómo afecta cada uno de los

riesgos, así como presentar diferentes opciones que permitan mitigarlos y poder realizar simulaciones con las variaciones pertinentes (ya sea en la probabilidad, el impacto o ambos).

Para poder aplicar este planteamiento que no permite la utilización de herramientas comerciales, ha surgido la necesidad de desarrollar una aplicación informática que permita realizar las simulaciones bajo las premisas del marco conceptual propuesto. Debido a lo amplio de este requisito se ha decidido, en primer lugar, decidir sobre que software estará basado esta aplicación. La primera herramienta utilizada fue Matlab (Piñeiro, 2017) por su capacidad de procesamiento, pero, debido a que se trata de una herramienta compleja y con una alta dificultad de utilización, surgió la necesidad de plantear otras opciones, siendo finalmente elegido Excel como base para el desarrollo.

Excel es un programa de ofimática muy difundido, de fácil uso y con múltiples opciones de personalización, tiene además la posibilidad de realizar macros mediante el lenguaje de programación propio de Microsoft Office: Visual Basic for Applications (VBA). Este lenguaje se caracteriza por ser muy similar a C++ y por ser muy intuitivo al funcionar principalmente mediante llamadas a celdas, hojas y funciones propias de las hojas de cálculo.

Después de escoger Excel como sistema en el que desarrollar la aplicación, debido a la complejidad y el esfuerzo necesario para llevarlo a cabo, se tuvo que optar por dividir este trabajo en tres fases: diseño, desarrollo y validación. Mediante esta separación se ha conseguido realizar una aplicación de calidad, con todas las funcionalidades necesarias y evitar al máximo la necesidad de repeticiones de trabajos en la fase de validación, si bien, se debe destacar que en la fase de diseño no se tuvieron en cuenta funcionalidades que fueron surgiendo según progresaba el proyecto y que se tuvieron que añadir a posteriori.

En primer lugar, durante la etapa de diseño se tuvieron en cuenta las funcionalidades que la aplicación requería y los resultados que se deseaban obtener. Como consecuencia del tipo de lenguaje de programación y del funcionamiento del VBA se tuvieron que definir los siguientes aspectos:

- Hojas que el archivo Excel debía contener.
- Columnas de cada una de las hojas.
- Tablas necesarias y los nombre correspondientes.
- Procedimiento de cálculo.
- Variables y datos que debían ser guardados.
- Forma en la que mostrar los resultados.
- Gráficas que deberían ser dibujadas.
- Estructura del código (funciones, módulos, bucles, llamadas,...)
- Orden en el que era necesario desarrollar los módulos.

A partir de este diseño se comenzó con la realización del código de la herramienta informática. Como primer paso se implementaron los paquetes de trabajo para, acto seguido, definir la tabla correspondiente a los riesgos en la que se incluyeron los siguientes campos:

Tabla 1. Tabla de definición de riesgos

| Campo | Descripción | Ejemplo de valor |
|------------------------|---|------------------|
| ID Riesgo | Código identificador del riesgo | R1.1 |
| Probabilidad | Probabilidad (cuantitativa) de que el riesgo ocurra | 12,5 % |
| Incremento de duración | Nº de días en los que se incrementaría la duración del proyecto si el riesgo ocurre | 8 |

| Campo | Descripción | Ejemplo de valor |
|--------------|--|---|
| Monte Carlo | Campo donde se registra el valor aleatorio generado en cada simulación. | 8% |
| Boolean | Si el riesgo sucede este campo tiene un valor 1, en caso contrario, tendrá valor 0. En el caso del ejemplo, el valor es 1 porque el valor generado por Monte Carlo es menor que el valor de probabilidad de ocurrencia | 1 |
| Descripción | Descripción del riesgo | Producto es más largo de lo estimado (líneas de código, puntos función) |
| Impacto | Impacto cualitativo sobre la duración del proyecto | Medio = 3 |
| Probabilidad | Probabilidad cualitativa de ocurrencia del riesgo | Baja = 2 |
| Criticidad | Identificación de la criticidad del riesgo = Impacto x Probabilidad | 6 |
| Contador | Almacene el número de veces que se repite el riesgo durante las simulaciones. El ejemplo muestra que este riesgo ha ocurrido en 59 de las simulaciones realizadas. | 59 |

De la tabla anterior (tabla 1) se pueden destacar las siguientes singularidades:

- En los casos en los que un riesgo pueda afectar a más de un paquete de trabajo y además tenga distinto impacto y/o probabilidad para cada uno de ellos, se multiplica el riesgo por el número de paquetes de trabajo a los que afecte para poder tratar cada uno de ellos de manera independiente. Un ejemplo claro de este caso ocurre con el riesgo R1. Producto es más largo de lo estimado (líneas de código, puntos función) y que afecta a los cinco paquetes de trabajo correspondientes al desarrollo de software de la pasarela domótica y los subsistemas.
- Debido a la complejidad de establecer una probabilidad y un impacto exacto se ha optado por parametrizar los valores cuantitativos en función del valor cualitativo otorgado. Los valores de incremento de duración han sido seleccionados de manera que sean proporcional a la duración de las tareas, es decir, son incrementos proporcionales al esfuerzo necesario para desarrollar los paquetes de trabajo. En lo relativo a las probabilidades, la elección de los valores ha sido muy complejo pero se ha optado por basarse en las tablas identificadas en la diversa bibliografía que se ha utilizado durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Incremento de duración y probabilidad asignado en función de valor cualitativo establecido

| Impacto | Incremento de duración | Probabilidad | Valor |
|----------|------------------------|--------------|-------|
| Muy alto | 16 días | Muy alta | 80% |
| Alto | 12 días | Alta | 60% |
| Medio | 8 días | Media | 30% |
| Bajo | 4 días | Baja | 12,5% |
| Muy bajo | 1 días | Muy baja | 5% |

- El campo de tipo Boolean (Tabla 1) permite calcular la duración final de cada paquete de trabajo mediante la siguiente fórmula:

$$Dur_{final} = Dur_{inicial} + \sum_i^n \Delta Dur_{Ri} \cdot Valor(Boolea)_{Ri} \quad (2)$$

Siendo n el número de riesgos que afecta al paquete de trabajo que se esté calculando.

A partir de las tablas definidas y de las premisas de cálculo establecidas fue posible comenzar con el desarrollo del código en sí. En primer lugar, se realizó el código encargado de generar los números aleatorios para, acto seguido, compararlos con los valores de probabilidad de cada riesgo y así determinar si se considera que el riesgo sucede o no con las siguientes condiciones:

- Valor generado > probabilidad de ocurrencia = riesgo no ocurre (Boolean = 0)
- Valor generado ≤ probabilidad de ocurrencia = riesgo ocurre (Boolean = 1)

A partir de este punto es posible conocer qué riesgos suceden según la simulación y tomándolo como base ya se puede conocer la duración de cada paquete de trabajo del proyecto en cada una de las simulaciones, pero, antes de ello, es necesario conocer el número de paquetes de trabajo al igual que se hizo con los riesgos para que independientemente de si su número varía el código se pueda utilizar.

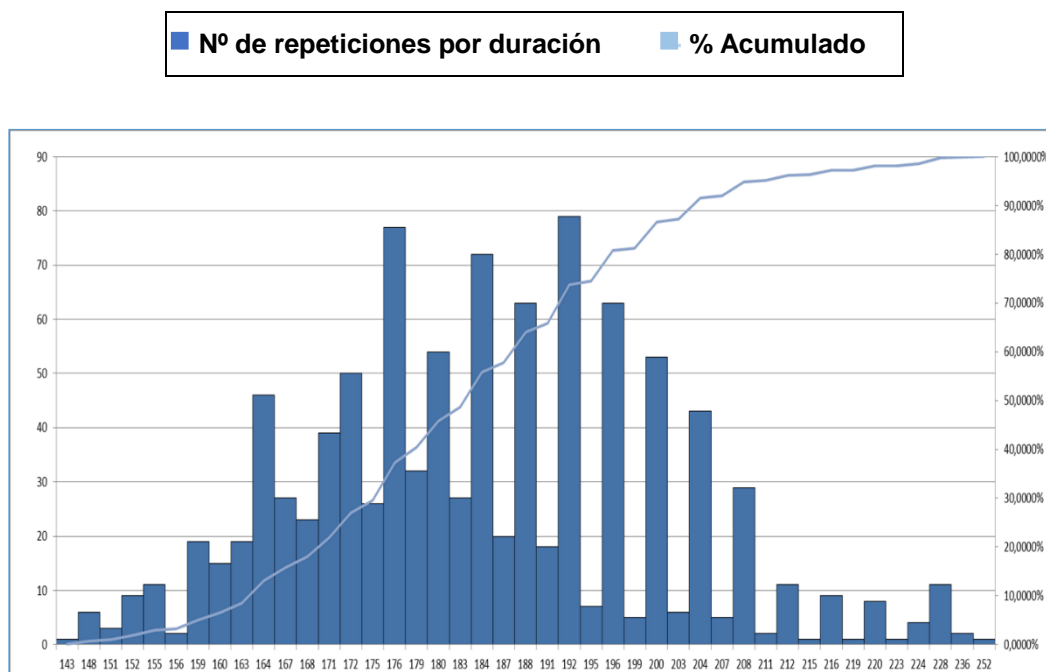
Finalmente, se tuvo que realizar el código que permitiera realizar el número requerido de simulaciones y que fuera guardando los datos necesarios en una nueva hoja para su posterior análisis. Este módulo ha sido, sin lugar a dudas, el más complejo de llevar a cabo por todas las implicaciones que conlleva. Además, se ha optado por añadir funcionalidades que permitan que los datos obtenidos sean más fácilmente analizados. Por estos motivos este módulo es el que más recursos consume durante la simulación y ha sido objeto de numerosas variaciones buscando su optimización.

4. Realización de simulaciones y análisis de resultados

El primer paso del análisis de los datos ha consistido en estudiar qué duraciones se han obtenido a partir de la aplicación del método de Monte Carlo. Durante todo este análisis no se debe olvidar que la duración inicial del proyecto, la establecida en la planificación y en la que se considera que no ocurre ningún riesgo es de 139 días.

Los resultados obtenidos una vez realizadas las simulaciones son los siguientes:

Figura 2. Resultados de duración obtenidos



Estos resultados permiten confirmar al director de Proyecto que la duración final puede desviarse en gran medida de la inicialmente planificada, por tanto, es su programación debe tener en cuenta mecanismos que le permitan resolver estas desviaciones. No se debe olvidar tampoco que, durante su venta al cliente, si se incluyen penalizaciones en el contrato por retraso la rentabilidad del proyecto se podría ver muy afectada por lo que se debería intentar evitar a toda costa.

5. Análisis de acciones para mitigar impactos

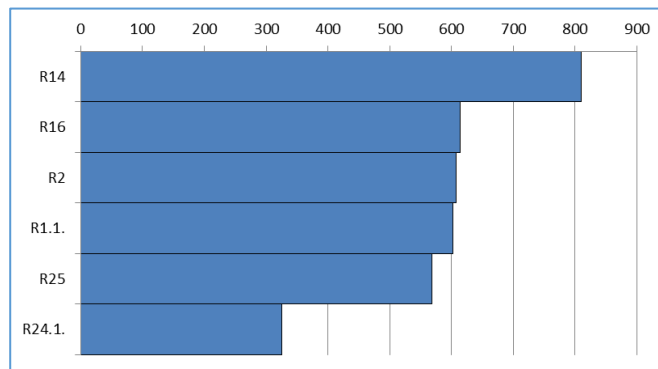
Los resultados obtenidos relativos a la duración presentan un escenario pesimista en cuanto al desarrollo del proyecto, sin embargo, deben servir también para que el director de Proyecto pueda establecer las medidas pertinentes para mitigar en lo posible que se den las situaciones previamente presentadas.

Este análisis debe comenzar por estudiar qué riesgos son los que más se repiten, una vez identificados será posible establecer métodos para mitigarlos mediante la opción que más se ajuste a ellos de las siguientes de las dos posibilidades o su combinación:

- Disminuir el impacto del riesgo mediante la planificación de recursos adicionales o la transferencia del mismo a actores externos al equipo de proyectos, entre otras posibilidades.
- Disminuir la probabilidad de ocurrencia mediante la utilización de recursos más expertos.

Para poder establecer esta medida, en primer lugar, se ha hecho un diagrama de tornado en el que se puede observar qué riesgos se han repetido un mayor número de veces durante las 1000 simulaciones. Se ha utilizado este tipo de diagrama porque permite observar a primera vista qué riesgos deben ser el núcleo de estudio por parte del director de Proyecto y compararlos entre sí. El resultado obtenido es el siguiente (figura 3):

Figura 3. Diagrama de tornado con riesgos más repetidos durante simulación



Se observa por tanto que el riesgo R14 ha ocurrido en más de un 80% de las veces, por otro lado, los riesgos R16, R2 y R1.1. han sucedido en más de un 50% de los casos, mientras que el último riesgo relevante, el R24.1, ha aparecido en cerca de 300 escenarios.

Tabla 3. Riesgos más repetidos

| Riesgo | Descripción | Paquete de trabajo impactado |
|--------|---|--|
| R14 | El desarrollo de este software, debido a su singularidad, conlleva dificultad para estimar su planificación | Planificación del proyecto |
| R16 | Fracaso en la identificación de funcionalidades complejas y en la estimación necesaria para desarrollarlas | Ingeniería de requisitos |
| R2 | Requisitos complejos de implantar en pasarela domótica | Diseño de pasarela domótica |
| R1.1 | Producto es más largo de lo estimado (líneas de código, puntos función) | Desarrollo de software de pasarela domótica |
| R25 | Arquitectura de pasarela domótica no es compatible con funcionalidades de los subsistemas | Diseño de pasarela domótica |
| R24.1 | Pruebas unitarias de validación revelan deficiencias | Validación del software de pasarela domótica |

La tabla anterior (tabla 3) muestra la descripción de cada uno de los riesgos mencionados y el paquete de trabajo al que afecta y de ella se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Cuatro de los seis riesgos que aparecen afectan a paquetes de trabajo relacionados con la central domótica de la vivienda.
- Aparecen riesgos relacionados con las fases más tempranas del proyecto: la planificación y la ingeniería de requisitos.
- El paquete de trabajo Diseño de la pasarela domótica aparece repetido.

A la vista del presenta análisis surge y de observar qué trabajos son los más afectados surgen como necesidad establecer acciones que por un lado ayuden durante las fases tempranas del proyecto, así como medidas que ayuden a reducir los riesgos en los trabajos relacionados con la pasarela domótica. En función de estas premisas se han planteado las dos siguientes opciones:

- Contratación de Experto en ingeniería de sistemas para colaborar en las tareas de planificación e ingeniería de requisitos.

- Dedicación del director de Proyecto en las tareas de diseño y desarrollo de la pasarela domótica para aportar mayor conocimiento y experiencia.
- Combinación de las dos soluciones anteriores.

5.1. Contratación de un experto

Esta solución consiste en la contratación de un experto en proyectos relacionados con la ingeniería de sistemas, de manera que pueda proporcionar apoyo al director de Proyecto durante las fases de planificación e ingeniería de requisitos. Esta decisión suele ser descartada a priori por el coste que conlleva, sin embargo, como se ha podido observar durante el análisis inicial de los riesgos, si mediante esta solución se consigue reducir la duración del proyecto esta solución puede llegar a ser beneficiosa económicamente.

Para decidir cuál o cuáles se debe variar para representar el impacto que conllevaría esta nueva incorporación al equipo se debe tener en cuenta que:

- En caso de que el riesgo suceda, el impacto será el mismo puesto que el experto sólo será contratado durante el tiempo que duren estas tareas.
- La inclusión de este experto puede ayudar a realizar estas tareas de una manera más estructurada aportando además conocimiento y experiencia.

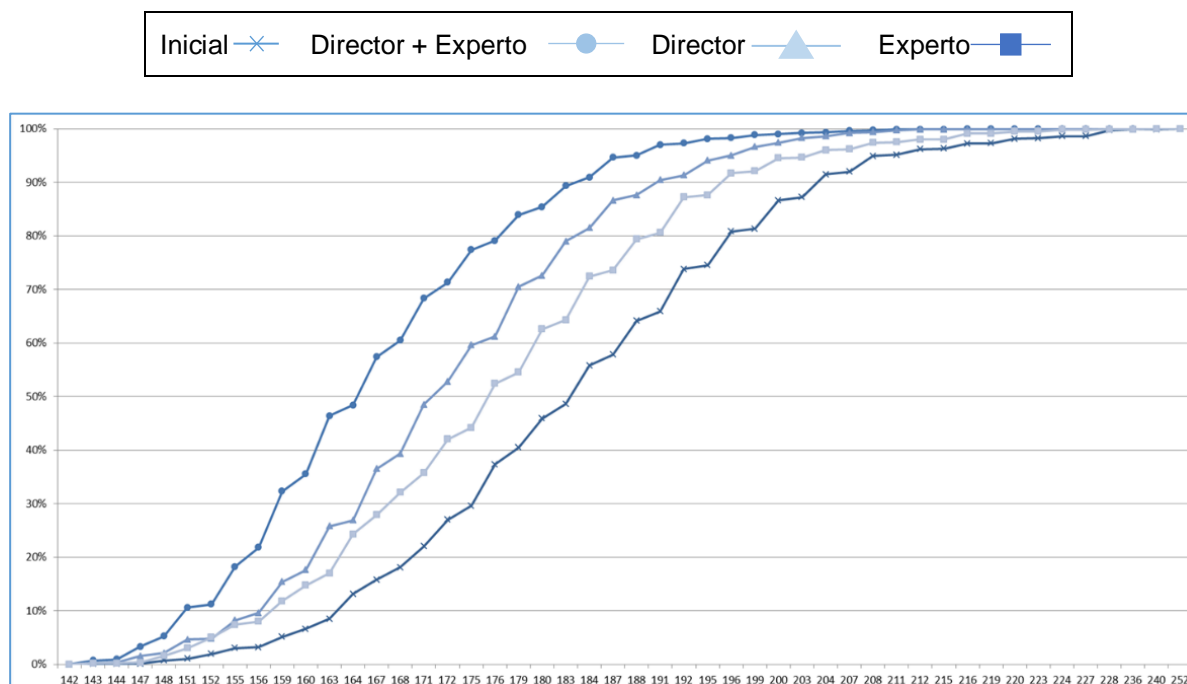
5.2. Director de proyecto participando en pasarela domótica

La siguiente solución planteada consiste en introducir al director de Proyecto en las tareas relacionadas con la pasarela domótica y que están afectadas por los riesgos que han aparecido en el diagrama de tornado. Mediante esta técnica se pretende reducir el impacto y la probabilidad en caso de que sucedan los riesgos gracias al trabajo añadido que ofrece el nuevo recurso. Esta medida, al igual que en el caso anterior, aumentaría los costes directos, pero reducir la duración del proyecto puede servir para compensar este aumento mediante una disminución de los costes indirectos o, simplemente, mediante los beneficios no tangibles que puede proporcionar entregar el proyecto a tiempo.

El procedimiento de análisis de esta solución ha seguido los mismos pasos que en el caso anterior, pero variando las variables correspondientes. En primer, se ha optado por bajar el impacto de los riesgos que afectan a la pasarela domótica reduciendo su valor un nivel, es decir, si estaban categorizados con un impacto “muy alto” se ha variado su valor a “alto”, de esta manera se reduce el incremento de duración asignado a este riesgo (ver tabla 1). Esta reducción en el impacto conllevará una reducción clara en la duración esperada del proyecto ya que, aunque el riesgo suceda, la duración del paquete de trabajo se incrementará en menor medida.

En base a estas dos soluciones presentadas, se volvieron a ejecutar las simulaciones y el resultado obtenido se muestra en la siguiente figura (Figura 4):

Figura 4. Resultados de duración comparando soluciones propuestas



En el siguiente y último apartado se muestran las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos, tanto del análisis anterior y de la gráfica resultante (Figura 5), como de los resultados arrojados por las primeras soluciones en las que no se ha tenido en cuenta ninguna medida de mitigación de riesgos.

6. Conclusiones

De los resultados iniciales relativos a las simulaciones iniciales y que son mostrados en la gráfica de la figura 3, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- El promedio de duración, siendo este de 184,11 días, es un 32,45% superior a lo inicialmente planificado.
- La duración mínima que se ha obtenido es de 143 días, lo que quiere decir que en ningún caso se va a estar en la situación ideal pensada por el director de Proyecto, es decir, siempre va a ocurrir un riesgo.
- La duración máxima alcanza es de 252 días, un 81,3% superior a lo estimado inicialmente.
- La duración del proyecto más probable es de 192 días, es decir, los trabajos durarían 53 días más de lo calculado.

Otras conclusiones que se podrían obtener a la vista del histograma y el porcentaje acumulado son:

- El 50% de las veces el proyecto durará 183 días o menos.
- Hay un 90% de posibilidad de que el proyecto tenga una desviación en la duración superior al 10% (el 90% de las veces el proyecto duraría más de 153 días).

Estos resultados tan desfavorables han motivado la realización del análisis detallado de medidas de mitigación de riesgos. La gráfica obtenida realizando de nuevo las simulaciones incluyendo las modificaciones (Figura 4) constata los beneficios que puede conllevar en un proyecto la planificación de los riesgos. Como ejemplo, tomando como punto de referencia

las duraciones que se han repetido de manera acumulada hasta un 50% del número total de simulaciones, se puede afirmar que un 50% de las veces el proyecto durara:

- 183 días o menos si no se toma ninguna medida contra los riesgos.
- 175 días o menos si el director de Proyecto ayuda con los paquetes de trabajo relacionados con la pasarela domótica.
- 169 días o menos si se contrata un Experto para el apoyo en las fases iniciales del proyecto.
- 163 días si se combinan simultáneamente las dos soluciones anteriores.

Las diferencias existentes entre la planificación inicial y los escenarios calculados son lo suficientemente notables como para confirmar la necesidad y la importancia de una buena gestión de riesgos en un proyecto. El director de Proyecto debe dedicar suficiente esfuerzo a estos trabajos y debe motivar a que el equipo también destine tiempo a analizar e identificar riesgos, así como a reflexionar sobre qué medidas podrían ayudar a contrarrestar sus efectos.

Finalmente, cabe destacar que este análisis de sensibilidad ha servido también para probar la utilidad de la aplicación para Excel desarrollada. La posibilidad que ofrece de probar diferentes medidas para probar sus consecuencias permite al director de Proyecto comparar todas las alternativas posibles hasta encontrar el coste y la duración del proyecto óptimo. Además, da mayor visibilidad a la importancia de los riesgos, un aspecto de la gestión de proyectos tradicionalmente obviado pero que, como se ha visto durante todo el desarrollo de los resultados, es esencial para finalizar un proyecto con éxito.

7. Referencias

- Hulett, D. (2016). *Practical Schedule Risk Analysis*. United Kingdom, Milton Park: Routledge.
- Kalos, M. H., & Whitlock, P. A. (2008). *Monte Carlo Methods* (2^o Ed).
- Kwack, Y. H., & Ingall, L. (2009). Exploring Monte Carlo Simulations Applications for Project Management. *IEEE Engineering Management Review*, 37 (2), 83-91.
- Piñeiro, C. (2017) *Análisis Cuantitativo de los Riesgos de una Instalación Industrial*. Proyecto Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Madrid.
- PMI (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBok)* (5^a Ed). United States, Newton Square (PA): Project Management Institute.