

**EVALUACIÓN DE LAS RUTAS DE RIESGO DE UN PORTAFOLIO DE  
PROYECTOS CONSIDERANDO LAS INTERACCIONES ENTRE RIESGOS  
ASOCIADOS A LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS**

**KAREN LORENA CELY MOSCOSO  
MANUEL ANDRES PARRA MUÑOZ**

**DIRECTORES:  
CAMILO ANDRES MICAN RINCÓN  
JUAN JOSÉ BRAVO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por ser mi guía y darme la oportunidad de aprender de la vida, a mis padres y mi hermano, por su apoyo, amor y comprensión. Todos mis logros son por y para ellos.

Agradezco a mi compañero de trabajo de grado Manuel Andrés Parra, por motivarme siempre y brindarme su amistad incondicional.

Agradezco a nuestro director Camilo Andrés Micán por la confianza, por ser nuestro amigo y mentor, por ofrecernos sus conocimientos y ser un apoyo clave en la culminación de este proyecto.

Doy gracias al profesor Juan José Bravo, por ser parte de este proyecto y formarnos como personas e ingenieros.

Finalmente agradezco a mis profesores, compañeros y demás personas que hicieron parte de este proceso.

***Karen Lorena Cely M.***

Le agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en los momentos difíciles y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Le doy infinitas gracias a mi madre por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado y sobre todo por ser mi ejemplo a seguir. Gracias a mis hermanos por ser una parte muy importante de mi vida y por querer siempre lo mejor para mí.

Gracias a Karen por haber sido una excelente compañera de tesis, por su paciencia, sus buenos consejos y por motivarme siempre a seguir adelante.

Agradezco a todos mis amigos por los momentos que pasamos juntos y por haber compartido conmigo de una de las mejores etapas de mi vida.

Le agradezco a los profesores Camilo y Juan José por la confianza, la dedicación y el apoyo que nos brindaron hasta el último momento.

Finalmente, agradezco a la Universidad del Valle y a sus profesores por hacer parte de mi proceso de crecimiento personal y profesional.

***Manuel Andrés Parra M.***

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción.....                                                            | 1  |
| 1. Alcance del proyecto .....                                                | 2  |
| 1.1 Planteamiento del problema .....                                         | 2  |
| 1.2 Objetivos.....                                                           | 4  |
| 1.3 Antecedentes claves.....                                                 | 4  |
| 2. Riesgos asociados a la interdependencia entre proyectos .....             | 5  |
| 2.1 Portafolio de proyectos caso de estudio.....                             | 5  |
| 2.2 Riesgos identificados en estudios previos.....                           | 6  |
| 2.3 Valoración de los riesgos identificados .....                            | 7  |
| 2.3.1 Definición de Expertos .....                                           | 8  |
| 2.3.2 Estrategia de recolección de información.....                          | 9  |
| 2.3.3 Calificación de los riesgos.....                                       | 11 |
| 2.3.4 Determinación del impacto (I) y la probabilidad de ocurrencia (P)..... | 12 |
| 3. Caracterización del sistema a modelar .....                               | 14 |
| 3.1 Reyes Bayesianas .....                                                   | 14 |
| 3.2 Relaciones causa-efecto entre los riesgos.....                           | 16 |
| 3.3 Identificación de los nodos padres y los nodos hijos .....               | 18 |
| 3.4 Gráfico red bayesiana.....                                               | 18 |
| 3.5 Definición de estados de las variables .....                             | 19 |
| 3.5.1 Nodos Raíz – Probabilidades a priori.....                              | 20 |
| 4. Resultados del modelo.....                                                | 21 |
| 4.1 Prueba de comportamiento del modelo.....                                 | 23 |
| 4.2 Análisis de sensibilidad.....                                            | 24 |
| 4.2 Escenario 1.....                                                         | 25 |
| 4.3 Escenario 2.....                                                         | 26 |
| 4.4 Escenarios 3, 4 y 5 .....                                                | 27 |
| 5. Conclusiones.....                                                         | 31 |
| 6. Referencias Bibliográficas.....                                           | 33 |
| 7. Anexos .....                                                              | 34 |

## **Resumen**

En este trabajo de grado, se propone una metodología para identificar los riesgos de un portafolio de proyectos en una empresa caso estudio, considerando las interacciones entre riesgos con el objetivo de evaluar su impacto en la duración de los proyectos, de tal manera que se puedan determinar las rutas de riesgo de mayor incidencia para el portafolio.

Esta evaluación permite apoyar el proceso de toma de decisiones dentro de la gestión del portafolio, brindando información para las fases posteriores asociadas a la planificación de respuesta y monitoreo del riesgo.

**Palabras Clave:** Proyectos, portafolio, riesgos, redes bayesianas.

## Introducción

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. Los proyectos se pueden agrupar en programas siempre y cuando estén relacionados y su gestión se realiza de manera coordinada para obtener beneficios que no se obtendrían si se ejecutaran de forma individual (Project Management Institute, 2013, p.3)

Un portafolio es un nivel de agrupación, en el que se priorizan y gestionan tanto programas como proyectos, que no necesariamente tienen que estar relacionados entre sí, pero que en su conjunto permiten lograr los objetivos estratégicos de una empresa (Madic *et al.*, 2011). Es necesario realizar una adecuada administración del portafolio de proyectos (PPM por sus siglas en inglés Project Portfolio Management) para que las organizaciones puedan priorizar y seleccionar los proyectos que le permitan lograr sus objetivos estratégicos y mejorar las tasas de éxito de los proyectos del portafolio (Hadjinicolaou y Dumrak, 2017). Adicionalmente, la PPM debe permitir una adecuada gestión de los recursos compartidos entre proyectos, pues esta es una condición típica en los portafolios de proyectos (Madic *et al.*, 2011).

Un componente clave dentro de la PPM es la gestión del riesgo, puesto que en caso de que un evento de riesgo ocurra, este puede impactar positiva o negativamente sobre el logro de los objetivos del portafolio (Hofman & Grela, 2015). Sin embargo, la gestión de riesgos generalmente se concentra en la identificación de riesgos a nivel de proyectos individuales y no incluye el intercambio de información entre proyectos ni hace seguimiento a las relaciones entre los elementos del portafolio (Ghasemi *et al.*, 2018)

En este trabajo de grado se presenta una evaluación de diferentes escenarios en los que se tienen en cuenta las interacciones entre los riesgos que surgen por la interdependencia de recursos entre los proyectos de un portafolio caso estudio. Primero, a través de una revisión de la literatura se identificaron riesgos que surgen de la interdependencia entre proyectos asociados a la utilización de recursos y estos fueron contrastados a través del juicio de expertos. A partir de esto, se priorizaron los riesgos por medio del cálculo de la tasa de importancia relativa (TIR) de cada uno. Posteriormente, a través de una matriz de causa-efecto se establecieron las relaciones de dependencia entre los riesgos, como insumo para la construcción de una red bayesiana. Finalmente, se modelaron los escenarios y por medio de una matriz de riesgos, se evaluaron los cambios en la probabilidad de ocurrencia y el impacto de los riesgos sobre la duración de los proyectos, con lo cual se logró determinar las rutas de riesgo de mayor incidencia para el portafolio de proyectos caso estudio.

## **1. Alcance del proyecto**

En este capítulo se describe la problemática que motivó el desarrollo del trabajo grado, así como los objetivos a través de los cuales dicha problemática fue abordada y los principales referentes considerados en la literatura como soporte para el desarrollo del trabajo de grado.

### **1.1 Planteamiento del problema**

La PPM es el arte y ciencia de aplicar conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para la gestión de un conjunto de proyectos, con el fin de lograr los objetivos estratégicos de la organización (Madic *et al.*, 2011). Así, la PPM se ocupa de la gestión de múltiples proyectos que comparten recursos y que contribuyen al logro de los objetivos estratégicos de la organización (PMI, 2016). De esta forma los proyectos deben ser seleccionados y gestionados de acuerdo con los objetivos estratégicos de la organización y los recursos se asignan a los proyectos, buscando la optimización de todo el portafolio (Martinsuo, 2013).

Respecto a lo anterior, las organizaciones que utilizan métodos y herramientas de gestión de proyectos, programas y portafolios suelen obtener mejores resultados, alcanzando una tasa de éxito en sus proyectos del 89% en comparación con el 34% de aquellas que no los utilizan (PMI, 2016). Solo el 58% de las organizaciones comprende totalmente el valor de la dirección de proyectos como competencia estratégica y las empresas que lo subestiman tienen una tasa de fracaso en alrededor del 50% de sus proyectos (PMI, 2015).

En esta misma línea, las organizaciones que tienen índices más altos de éxito en sus proyectos disfrutan de mejores resultados de negocios y desperdician solo 1,4% de cada dólar invertido, frente a 29,1% de aquellas organizaciones que no ponen atención a las capacidades de dirección de proyectos (PMI, 2018).

La capacidad de una organización para lograr el éxito de sus proyectos y programas se mide según el porcentaje de proyectos que se finaliza a tiempo, dentro del presupuesto, que cumplen los objetivos e intención de negocio iniciales, y son organizaciones que tienen un alto nivel de madurez en la materialización de beneficios (PMI, 2017). Según una encuesta realizada por el Instituto de gestión de proyectos (PMI por sus siglas en inglés Project Management Institute) a 4455 profesionales de dirección de proyectos, en sus compañías solo el 52% de los proyectos culminados en el último año se terminaron dentro de los períodos inicialmente programados (PMI, 2018).

Estos retrasos en el tiempo de entrega de los proyectos pueden conducir a muchos efectos negativos para la organización, por lo que es mejor identificar las causas

principales y evitar que ocurran estas situaciones, que resolver los problemas generados por estos (Boateng *et al.*, 2015).

En este sentido, se debe considerar que todos los proyectos son esencialmente riesgosos, ya que son únicos, complejos y están sujetos a riesgos e incertidumbre (Marle *et al.*, 2013). El riesgo es un evento incierto que, en el caso de ocurrir producirá un impacto potencial de amenazas u oportunidades que podrían afectar los logros de los objetivos del proyecto (PMI, 2013). El objetivo de la gestión de riesgos es contribuir para que las organizaciones evalúen e identifiquen los riesgos de los proyectos, mitiguen las amenazas y saquen partido de las oportunidades. Las organizaciones que aplican las prácticas de gestión de riesgos obtienen mejores resultados en sus proyectos, en comparación con las organizaciones que no lo hacen (PMI, 2015). Una adecuada gestión de riesgos a nivel de portafolio aumenta la alineación de los proyectos con la estrategia, porque el impacto de los riesgos potenciales disminuye y facilita un enfoque en los aspectos esenciales del portafolio (Teller, 2013).

Además, la gestión del riesgo debe considerar que los riesgos pueden estar interrelacionados, es decir que no son eventos independientes, puesto que las interacciones entre riesgos pueden conducir no solo a la manifestación de nuevos riesgos si no a cambios en la probabilidad de ocurrencia o en el nivel de impacto de estos (Marle *et al.*, 2013). Una atención insuficiente a las interdependencias entre riesgos puede conducir a decisiones equivocadas sobre la priorización de riesgos y la implementación de acciones de mitigación de los mismos, lo que se puede traducir en una reducción de la utilidad esperada, aumentaría el costo de implementación e incluso afectaría los beneficios generales de la gestión del riesgo (Zhang, 2016).

Ackermann *et al.* (2007) sugieren considerar los riesgos de los proyectos como una red de eventos interrelacionados y argumentan que, debido a sus interacciones, los riesgos del proyecto podrían tener un impacto general mayor que la suma de los impactos de riesgo individuales. Por su parte, Fang y Marle (2012) afirman que las condiciones reales de los proyectos podrían estudiarse mejor mediante la identificación de una red de rutas de riesgo interactivas, que mediante el uso de listas de verificación de riesgos genéricas.

Considerando lo anterior, se tiene que de los factores de éxito de los portafolios de proyectos la variable tiempo es la que menor porcentaje de cumplimiento tiene, al aplicar las prácticas de gestión de riesgos el éxito de esta variable mejora un 32,6% (PMI, 2015) y además que la gestión de los recursos es un aspecto fundamental de la PPM (Martinsuo, 2013). Por lo tanto, este trabajo se orientó hacia la construcción de un modelo de los riesgos que surgen por la interdependencia de recursos entre los proyectos del portafolio, considerando los riesgos como una red de eventos interrelacionados, con el fin de identificar las rutas de riesgo de mayor incidencia para el portafolio caso estudio.

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar las rutas de riesgo de mayor incidencia para el éxito de un portafolio de proyectos, considerando las interacciones de riesgos asociadas a la utilización de recursos y el efecto sobre la duración de los proyectos.

### **Objetivos específicos**

Identificar la red de riesgos que surgen de las interdependencias entre proyectos asociados a la utilización de recursos con el fin de definir la relación de un riesgo sobre los otros.

Construir un modelo que permita estudiar el efecto de los escenarios que surgen de la interacción entre los factores de riesgo sobre la duración de los proyectos del portafolio.

Identificar, a través de un análisis de escenarios, las rutas de riesgo de mayor incidencia para el éxito del portafolio en función del impacto sobre la duración de los proyectos del portafolio.

## **1.3 Antecedentes claves**

La propuesta de Ghasemi (2018), presenta un modelo que utiliza la metodología de redes bayesianas para modelar y analizar los riesgos de un portafolio de proyectos caso estudio en una empresa de construcción, teniendo en cuenta las interdependencias entre proyectos y las relaciones causa-efecto entre riesgos. El modelo obtuvo resultados confiables para ayudar a los gerentes de proyectos a realizar un plan de respuesta al riesgo exitoso y una administración del portafolio más sostenible. Con base en el trabajo de Ghasemi se propone la elaboración de la red bayesiana de riesgos del portafolio caso estudio, así como también la identificación de la categoría de interdependencia a la que pertenecía cada riesgo, para visualizar de mejor forma las interacciones entre los riesgos.

Ackermann *et al.* (2007), amplía el concepto de interacciones entre riesgos, haciendo un análisis de los riesgos de forma sistémica. En su investigación concluyen que el fracaso de algunos proyectos estudiados fue ignorar que los riesgos estaban relacionados entre sí. Por tanto, plantean, una herramienta que no estudia los riesgos de los proyectos de manera independiente, sino que refleja la sistemática del riesgo, relacionando los riesgos con las características de los proyectos.

Fang y Marle (2012), presentan un sistema para el modelado y gestión de riesgos de los proyectos considerando sus interacciones como apoyo para la toma de decisiones. El modelo propuesto permite reevaluar los riesgos y sus prioridades, sugerir y probar



acciones de mitigación para tomar acciones de respuesta al riesgo. Al modelar el comportamiento de las rutas de riesgo de los proyectos en la red construida, se permite proporcionar al director del portafolio más información sobre los riesgos, las relaciones entre ellos y el comportamiento de la red de riesgo global. Bajo este enfoque, se buscó determinar la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo de forma individual y cómo afecta el riesgo total del portafolio.

## 2. Riesgos asociados a la interdependencia entre proyectos

En este capítulo se describen las características generales del portafolio caso estudio (ver sección 2.1) y se identifican los riesgos que surgen de las interdependencias entre proyectos para este portafolio (ver sección 2.2). Finalmente, en la sección 2.3 se muestra la recolección de información relativa a la valoración de los riesgos identificados por medio del juicio de expertos.

### 2.1 Portafolio de proyectos caso de estudio

El caso estudio de este trabajo de grado se desarrolló en una empresa del sector agrodoméstico ubicada en Acopi-Yumbo (Valle del Cauca). Esta empresa cumplía con los siguientes requerimientos para el desarrollo de este trabajo de grado:

**Tabla 1.** Características de la empresa

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| Sector                                 | Producción  |
| Ubicación                              | Acopi-Yumbo |
| Área de proyectos                      | Sí          |
| Cuenta con portafolio de proyectos     | Sí          |
| Disponibilidad de información          | Sí          |
| Número de proyectos en el portafolio   | >5          |
| Experiencia de la empresa en proyectos | >10         |

Fuente: Elaboración propia

La empresa se clasifica dentro del sector de agricultura doméstica, específicamente dedicada a la producción y comercialización de productos de jardinería y huerto. El portafolio caso estudio contiene proyectos relacionados con el desarrollo de nuevos fertilizantes líquidos especializados para diferentes tipos de plantas. Este portafolio consta de 5 proyectos de desarrollo de nuevos productos. Los proyectos son fertilizantes líquidos de baja concentración y todos pertenecen al área de agroquímicos. Los recursos compartidos entre los proyectos del portafolio se pueden ver en la tabla 2.

**Tabla 2. Recursos compartidos**

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materias primas      | -Los componentes principales que proporcionan los nutrientes esenciales para las plantas provienen de las mismas fuentes, razón por la cual, si hay escasez de una de ellas, afecta a varios proyectos en común.                                                                           |
| Recurso humano       | -Líder de proyectos que se encarga de gestionar todos los proyectos en conjunto<br>-Ing. Química que se encarga de recetar las fórmulas y hacer modificaciones de acuerdo con los requisitos del cliente final<br>-Personal de agroquímicos<br>-Personal de diseño<br>-Personal de compras |
| Proveedores          | -Proveen los insumos para cada una de las mezclas de los 5 proyectos, se depende de su confiabilidad en la calidad de las materias primas y su eficacia en los tiempos de entrega.                                                                                                         |
| Maquinaria y equipos | -Se comparten los diferentes elementos del laboratorio para la preparación de las mezclas.                                                                                                                                                                                                 |
| Infraestructura      | -Es indispensable el uso del laboratorio para la preparación de las mezclas de los 5 proyectos.                                                                                                                                                                                            |

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Riesgos identificados en estudios previos

Se tomó como artículo base la investigación publicada por Ghasemi (2018) puesto que es un trabajo realizado recientemente, que identifica los riesgos a nivel de portafolio y los riesgos que surgen por las interdependencias entre proyectos. Teniendo en cuenta las relaciones de causa efecto entre los riesgos, propone un análisis por medio de una red bayesiana para estimar la probabilidad de riesgo del portafolio. El trabajo de (Micán et al., 2020) también propone el estudio de las interdependencias entre riesgos por medio de redes bayesianas.

Los trabajos de Hofman (2015) y Martinez (2020) clasifican los tipos de interdependencia entre riesgos. Por último, el trabajo de (Chin et al., 2009) incluye un listado muy completo de riesgos asociados al desarrollo de nuevos productos.

Una lista de riesgos preliminar surgió de una búsqueda en la literatura, donde se tomaron las investigaciones de los artículos mencionados en la Tabla 3, los cuales tienen una amplia profundización en gestión de riesgos y además toman en cuenta las interdependencias e interacciones entre riesgos.

**Tabla 3. Artículos de investigación**

| <b>Autor</b>                                                                      | <b>Artículo</b>                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ghasemi, F., Sari, M. H. M., Yousefi, V., Falsafi, R., & Tamošaitiene, J. (2018). | Project portfolio risk identification and analysis, considering project risk interactions and using Bayesian Networks. <i>Sustainability (Switzerland)</i> , 10(5). |
| Hofman, M., & Grela, G. (2015).                                                   | Project Portfolio Risk Identification-Application of Delphi Method. <i>Journal of Business and Economics</i> , 6(11), 1857–1867.                                    |
| Martinez, B., & Molina, R. (2020).                                                | Categorización De Los Factores De Riesgo Asociados a La Interacción Entre Proyectos De Un Portafolio De Proyectos.                                                  |
| Micán, Fernandes, Araújo (2020)                                                   | Project portfolio risk management: A structured literature review with future directions for research. <i>International</i>                                         |

|                                     |                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Journal of Information Systems and Project Management, 8(3), 67–84.                                                                                                          |
| Chin, Tang, Yang, Wong, Wang (2009) | Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology. Expert Systems with Applications, 36(6), 9879–9890. |

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, con los riesgos encontrados en los diferentes artículos de investigación se definió, junto con el líder de proyectos de la empresa, aquellos riesgos que aplicaban al caso estudio. Esta lista de riesgos está consignada en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Lista preliminar de riesgos

| <b>Riesgo</b> | <b>Descripción</b>                                          | <b>Riesgo</b> | <b>Descripción</b>                                |
|---------------|-------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------|
| R1            | Errores desde la planeación                                 | R21           | Inadecuada asignación de maquinaria y equipo      |
| R2            | Complejidad del portafolio                                  | R22           | Escasez de maquinaria y equipo                    |
| R3            | Estructura organizativa inadecuada                          | R23           | Demoras con el suministro de maquinaria y equipos |
| R4            | Conflicto entre los gerentes de los proyectos               | R24           | Errores y reprocesos                              |
| R5            | Falta de experiencia de gerentes o líderes de los proyectos | R25           | Averías de maquinaria y equipo                    |
| R6            | Falta de comunicación interna                               | R26           | Accidentes laborales                              |
| R7            | Retrasos en la aprobación de cambios o modificaciones       | R27           | Baja productividad                                |
| R8            | Estimación de costos inexacta                               | R28           | Escasez de materias primas                        |
| R9            | Inadecuada asignación de fondos                             | R29           | Retrasos en la entrega de materias primas         |
| R10           | Mala gestión del capital                                    | R30           | Problemas de calidad de materias primas           |
| R11           | Dificultades financieras de la empresa                      | R31           | Cambio de materias primas                         |
| R12           | Demoras en el pago a proveedores                            | R32           | Daños en las materias primas                      |
| R13           | Inflación de precios en materias primas                     | R33           | Proveedores no confiables                         |
| R14           | Estimación de tiempo inexacta                               | R34           | Demoras en la selección de proveedores            |
| R15           | Inadecuada asignación de RRHH                               | R35           | Uso inadecuado de los recursos                    |
| R16           | Escasez de RRHH                                             | R36           | Reprocesos por cambios en los proyectos           |
| R17           | Dificultad para llevar a cabo los proyectos en paralelo     | R37           | Demoras en las fórmulas de los productos          |
| R18           | Falta de personal capacitado                                | R38           | Retrasos por documentación                        |
| R19           | Falta de trabajo en equipo                                  | R39           | Retrasos por respuesta de entes externos          |
| R20           | Pérdida de personal crítico                                 |               |                                                   |

Fuente: Elaboración propia

## 2.3 Valoración de los riesgos identificados

La recolección de información para la valoración de los riesgos identificados se realizó en tres sesiones definidas de la siguiente manera: selección de los riesgos que aplican

al portafolio de proyectos caso estudio, calificación de los riesgos definidos en el listado definitivo de riesgos y estimación cualitativa de probabilidades condicionales.

En la primera sesión, para evaluar si el listado de riesgos identificados en la literatura, eran aplicables al caso estudio, así como para identificar posibles riesgos adicionales asociados específicamente al portafolio de proyectos caso estudio, se diseñó una entrevista semiestructurada la cual fue aplicada a un conjunto de personas con roles relacionados con el portafolio de proyectos (Ver perfil de los expertos en sección 2.3.1).

En primer lugar, se puso en contexto a los entrevistados sobre la propuesta de trabajo de grado, dando a conocer la problemática, objetivos, los proyectos del portafolio caso estudio a evaluar y la metodología a desarrollar. La descripción de los aspectos que se incluyeron en las entrevistas se describe en la sección 2.3.2.

Los resultados de la primera entrevista fueron insumo para la elaboración de las dos encuestas siguientes, y se priorizaron los riesgos por medio de la Tasa de Importancia Relativa (RIR por sus siglas en inglés). Los resultados de la valoración de los riesgos son descritos en la sección 2.3.3.

### **2.3.1 Definición del perfil de los expertos**

Los riesgos identificados en la literatura fueron contrastados por medio de la Metodología Delphi, utilizando el juicio de expertos para validar la lista preliminar de riesgos realizada.

Un experto debe poseer un conocimiento profundo de la tarea o actividad que será objeto de análisis y valoración y tiene que estar familiarizado con el sistema en el que esta se desarrolla. Asimismo, tiene que ser capaz de traducir su valoración en términos de probabilidades (Arquer, 2007).

En primera instancia fue necesario definir el perfil de los expertos, para lo cual se tomó como referencia la definición del perfil de expertos realizado por (Martinez & Molina, 2020) debido a que reúne los criterios necesarios para lograr la validación de los riesgos identificados en la literatura. Se establecieron cuatro criterios: formación, cargo, experiencia general, y participación en proyectos.

**Formación:** Profesionales en ingeniería, administración, química, o afines. Preferiblemente con conocimientos en gestión de proyectos.

**Cargo:** Cargos administrativos que estén directamente relacionados con la participación en el desarrollo de nuevos productos.

**Experiencia:** Mínimo de 2 años de experiencia en áreas en las cuáles se hayan visto involucrados en administración de proyectos.

**Participación en proyectos:** las personas a entrevistar deben formar parte de un equipo de trabajo en alguna de las etapas de los proyectos del caso estudio.

Se identificaron 4 profesionales que cumplen el perfil de expertos elaborado.

**Tabla 5.** Perfil de los expertos identificados

| Criterio                   | Profesional 1                  | Profesional 2                  | Profesional 3                  | Profesional 4                  |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Formación                  | Administradora de empresas     | Ingeniero industrial           | Técnico comercial              | Química                        |
| Cargo                      | Gerente comercial              | Gerente de producción          | Directora comercial            | Gerente de laboratorio         |
| Experiencia                | >5 años                        | >10 años                       | >27 años                       | >30 años                       |
| Participación en proyectos | Desarrollo de nuevos productos | Desarrollo de nuevos productos | Desarrollo de nuevos productos | Desarrollo de nuevos productos |

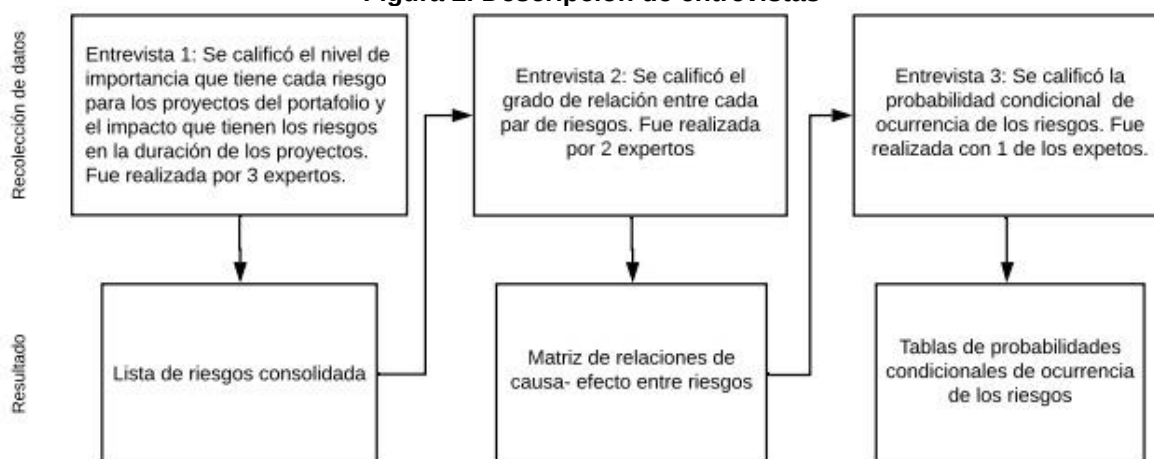
Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que aunque en estudios previos el nivel de formación ha sido uno de los criterios para identificar a los participantes, en este trabajo de grado ese criterio fue flexible al momento de seleccionar a los expertos, debido a que la empresa que proporcionó el portafolio de proyectos caso estudio es familiar y cuenta con pocos colaboradores con un nivel académico profesional, por lo cual se seleccionaron a los participantes por su amplia experiencia y participación dentro de los proyectos de la compañía.

### 2.3.2 Estrategia de recolección de información

La valoración de los riesgos se realizó a través de la aplicación de tres entrevistas con los expertos descritos en la Tabla 5.

**Figura 2.** Descripción de entrevistas



Fuente: Elaboración propia

La primera entrevista se realizó de manera individual con cada experto con el objetivo de evaluar la importancia de cada uno de los riesgos identificados en la lista preliminar de riesgos, y además proporcionar riesgos adicionales que los expertos consideren relevantes y no se encuentren en el listado. En esta primera encuesta también se pidió a los expertos definir, de acuerdo con su experiencia, la escala de impacto de los riesgos sobre la duración de los proyectos del portafolio, definiendo previamente el impacto sobre el tiempo como la sumatoria del tiempo de retraso de cada uno de los proyectos de manera individual, con relación al tiempo total planeado para cada proyecto.

A partir de los resultados de la primera sesión, se priorizaron los riesgos teniendo en cuenta que, de acuerdo con los expertos, no todos los riesgos eran igual de relevantes para el portafolio. La segunda encuesta se realizó de manera conjunta a solo dos de los profesionales, es decir que cada una de las respuestas se obtuvo por el consenso entre los dos expertos, esto debido a problemas con la disponibilidad de tiempo. En esta encuesta los expertos evaluaron por medio de una matriz, el grado de relación entre los riesgos priorizados a partir de la primera encuesta. También, se preguntó por la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo de manera individual, así como por el nivel de impacto de los riesgos sobre la duración de los proyectos del portafolio.

Con la información recopilada en la segunda encuesta, se graficó la red bayesiana la cual y se presentó a los profesionales antes de aplicar la entrevista 3. Durante la tercera sesión solo participó el profesional 2, también por disponibilidad de tiempo. En esta, se pidió al experto determinar las probabilidades condicionales de los riesgos.

### 2.3.3 Calificación de los riesgos

#### Tasa de importancia relativa

Teniendo en cuenta que en la primera entrevista se obtuvieron las respuestas de los expertos, se utilizó la Tasa de Importancia Relativa (RIR por sus siglas en inglés) para determinar la importancia relativa de los diferentes riesgos identificados, de esta manera, se puede concluir a partir de los tres resultados obtenidos, cuales, según el criterio de los expertos, resultan más o menos importantes para la compañía. Esta herramienta fue aplicada por Haseeb et al. (2011), en su investigación “Causes and effects of delays in large construction projects of Pakistan”. En esta herramienta se establece una escala de cuatro puntos que califica el grado de importancia que cada uno de los expertos otorga a cada riesgo, tal como se observa en la Tabla 6.

El nivel de importancia de cada riesgo se definió de manera cualitativa de acuerdo con la experiencia de los expertos en proyectos similares dentro de la compañía, teniendo en cuenta el posible impacto de cada riesgo sobre la duración de los proyectos del portafolio y su probabilidad de ocurrencia.

**Tabla 6.** Rango de calificaciones dadas por los expertos

| No importante | Poco importante | Importante | Muy importante |
|---------------|-----------------|------------|----------------|
| 1             | 2               | 3          | 4              |

Fuente: Adaptado de Haseeb et al., (2011)

En la Ecuación 1 se relaciona el número de encuestados que asignaron una misma calificación para cada uno de los riesgos (PR) y el total de encuestados. La fórmula utilizada para calcular la tasa de importancia relativa RIR es:

**Ecuación 1.** Cálculo de la proporción RIR

$$RIR = \sum \frac{PR}{I} * TR$$

Donde:

**RIR** = Tasa de importancia relativa, oscila entre 0 y 1

**PR** = Número de encuestados que respondieron a cada calificación

**I** = Importancia dada por el experto, oscila entre 1 y 4

**TR** = Total de encuestados

Entre menor sea el valor de la tasa de importancia relativa RIR, la importancia del riesgo será mayor. En el Anexo 2 se encuentra el puntaje RIR de cada uno de los riesgos evaluados. De acuerdo con el criterio del profesional 2, quien es el encargado de gestionar los riesgos de los proyectos en la empresa y fue el que tenía mayor disponibilidad de tiempo, se definió que se iba a trabajar con aquellos riesgos que tuvieran un puntaje RIR menor a 0,4 teniendo en cuenta lo observado en la literatura. Además, se

observó que en aquellos riesgos cuyo puntaje RIR era superior a 0,4 al menos uno de los expertos le dio una calificación de Poco importante o No importante. Los 19 riesgos priorizados con su respectivo RIR se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Puntajes tasa RIR

| Riesgo | RIR    | Riesgo | RIR    |
|--------|--------|--------|--------|
| R1     | 0,2500 | R21    | 0,3333 |
| R3     | 0,2500 | R22    | 0,3611 |
| R5     | 0,2778 | R24    | 0,3611 |
| R6     | 0,3056 | R25    | 0,3611 |
| R8     | 0,3056 | R28    | 0,3611 |
| R10    | 0,3333 | R29    | 0,3889 |
| R12    | 0,3333 | R30    | 0,3889 |
| R14    | 0,3333 | R33    | 0,3889 |
| R15    | 0,3333 | R34    | 0,3889 |
| R16    | 0,3333 |        |        |

Fuente: Elaboración propia

#### 2.3.4 Determinación del impacto (I) y la probabilidad de ocurrencia (P)

La primera dimensión (la dimensión de incertidumbre) denominada comúnmente probabilidad, se refiere a la probabilidad de que ocurra el evento o no y el impacto detalla el alcance de lo que ocurriría si el riesgo se materializa (la dimensión del efecto). Para que las evaluaciones de riesgo sean consistentes y significativas, se debe prestar atención a la forma en que se evalúan la probabilidad y el impacto (PMI, 2005).

Para determinar el Impacto (I) de cada riesgo, los expertos evaluaron el impacto generado por el riesgo sobre la duración total de los proyectos del portafolio de acuerdo con la siguiente escala (Tabla 8):

**Tabla 8.** Determinación de impacto

| Valor | Descripción                |
|-------|----------------------------|
| 5     | Muy alto impacto           |
| 4     | Alto impacto               |
| 3     | Impacto moderado           |
| 2     | Bajo impacto               |
| 1     | El impacto es inapreciable |

Fuente: Adaptado de Carbone & Tippet (2004)



Por ejemplo, una calificación de 5 implica un nivel de impacto muy alto sobre la duración de los proyectos. Para la estimación de Probabilidad (P) se pidió a los expertos definir para cada riesgo identificado, la probabilidad de ocurrencia como un porcentaje. Todas calificaciones de probabilidad e impacto se encuentran consignadas en la tabla 9.

**Tabla 9.** Riesgos priorizados con impacto y probabilidad

| <b>Riesgo</b> | <b>Descripción</b>                                          | <b>Impacto</b> | <b>Probabilidad de Ocurrencia</b> |
|---------------|-------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| R1            | Errores desde la planeación                                 | 3              | 0,5                               |
| R3            | Estructura organizativa inadecuada                          | 1              | 0,3                               |
| R5            | Falta de experiencia de gerentes o líderes de los proyectos | 2              | 0,3                               |
| R6            | Falta de comunicación interna                               | 2              | 0,2                               |
| R8            | Estimación de costos inexacta                               | 4              | 0,2                               |
| R10           | Mala gestión del capital                                    | 4              | 0,15                              |
| R12           | Demoras en el pago a los proveedores                        | 3              | 0,2                               |
| R14           | Estimación de tiempo inexacta                               | 4              | 0,4                               |
| R15           | Inadecuada asignación de RRHH                               | 3              | 0,15                              |
| R16           | Escasez de RRHH                                             | 5              | 0,1                               |
| R21           | Inadecuada asignación de maquinaria y equipo                | 3              | 0,1                               |
| R22           | Escasez de maquinaria y equipo                              | 5              | 0,05                              |
| R24           | Errores y reprocesos                                        | 4              | 0,3                               |
| R25           | Averías de maquinaria y equipo                              | 3              | 0,25                              |
| R28           | Escasez de MP                                               | 5              | 0,25                              |
| R29           | Retrasos en la entrega de MP                                | 3              | 0,2                               |
| R30           | Problemas de calidad de MP                                  | 4              | 0,3                               |
| R33           | Proveedores no confiables                                   | 2              | 0,05                              |
| R34           | Demoras en la selección de proveedores                      | 1              | 0,1                               |

Fuente: Elaboración propia

### 3. Caracterización del sistema a modelar

Algunos de los modelos más utilizados para simulación son: Monte Carlo, Dinámica de Sistemas, Redes Bayesianas, entre otros. En simulación de proyectos se utilizan modelos que traducen las incertidumbres detalladas para el proyecto en su impacto potencial sobre los objetivos de este. (Project Management Institute, 2013).

La simulación Monte Carlo es una técnica estadística, considerada como una herramienta muy importante para evaluar la incertidumbre en el análisis de riesgos (Hayse, 2000). Considera de forma simultánea amenazas y oportunidades, y la probabilidad de seleccionar varios criterios en su simulación. (Rezaie et al., 2007). Sin embargo, Rezaie & Amalnik, 2007, reconocen la debilidad de esta herramienta con respecto a la no consideración de interrelaciones entre incertidumbres.

Por otra parte, la Dinámica de Sistemas, tiene la función principal de analizar la evolución de sistemas complejos y de gran escala a través del tiempo (Gröbler, Thun y Milling, 2008). No obstante, los modelos de dinámica de sistemas no se derivan estadísticamente de datos de series de tiempo. Por el contrario, son informes sobre la estructura del sistema y las políticas que guían las decisiones. (García, 2003).

Una Red Bayesiana es en un modelo probabilístico basado en el análisis de un conjunto de variables y sus probabilidades asociadas individual y conjuntamente que las convierten en una herramienta útil en el análisis de problemas complejos que cuentan con abundante información (Castro & Lizasoain, 2012).

Se determinó usar Redes Bayesianas, puesto que permite ponderar variables de tipo cuantitativo y cualitativo, y una de sus mayores fortalezas radica en su capacidad de establecer relaciones causa-efecto como también de efecto-causa a partir de los datos procesados. Además, es una herramienta flexible, que permite la incorporación de múltiples variables, ponderaciones de la relación de dependencia entre las variables presentes y un sistema para obtener la probabilidad conjunta de las variables involucradas. (Bello et al., 2016)

#### 3.1 Redes Bayesianas

Los riesgos por definición se encuentran asociados a una probabilidad de ocurrencia, pero tal como se mencionó anteriormente, en el análisis de riesgos es importante tener en cuenta las interacciones entre riesgos y por eso es necesario hablar de probabilidades condicionales de ocurrencia. El concepto de probabilidad condicional hace referencia al cálculo de la probabilidad de un cierto evento “A” dado que otro evento “B” ha ocurrido.

Sea  $P(B/A_i)$  la probabilidad de que ocurra el evento “B” dado que ocurrió el evento “ $A_i$ ”,  $P(A_i)$  la probabilidad a priori y  $P(A_i/B)$  la probabilidad a posteriori (Walpole et al., 2021). El Teorema de Bayes consiste en la determinación de causas a partir de los efectos

observados (Gómez, 2011) y permite modelar un sistema complejo de eventos, siendo  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero, y siendo “B” un evento cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales  $P(B/A_i)$  (Walpole et al., 2021); entonces la probabilidad  $P(A_i/B)$  viene dada por la ecuación:

**Ecuación 2.** Teorema de Bayes

$$P\left(\frac{A_t}{B}\right) = \frac{P(A_t) * P\left(\frac{B}{A_t}\right)}{P(A_1) * P\left(\frac{B}{A_1}\right) + P(A_2) * P\left(\frac{B}{A_2}\right) + \dots + P(A_n) * P\left(\frac{B}{A_n}\right)}$$

Donde:

**$A_t$**  = Evento final en determinado periodo de tiempo

**B** = Causa posible de ocurrencia de A

**$P(B/A_i)$**  = Probabilidad de B dado que ocurrió  $A_i$

**$P(A_i)$**  = Probabilidad de  $A_i$  antes de que el suceso B ocurra

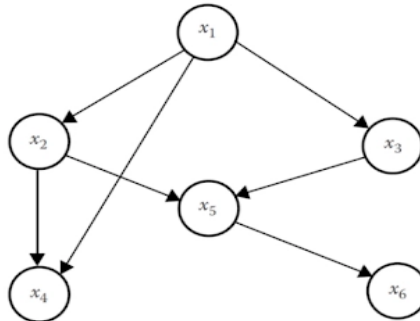
**i** = {1, 2, 3, ... ..., n}

Un modelo de red bayesiana es un gráfico acíclico dirigido con nodos etiquetados por variables aleatorias. Las variables se conectan con arcos y esta conexión expresa la dependencia condicional mediante tablas de probabilidad condicional entre los nodos.

La Figura 2 presenta un ejemplo hipotético de una red bayesiana, en la cual los nodos padres representan las causas y los nodos hijos representan los efectos, siendo esta la topología o estructura de la red en la cual informa sobre las dependencias probabilísticas. En este caso el nodo  $x_1$  es padre de los nodos  $x_2$ ,  $x_3$  y  $x_4$ , donde el nodo  $x_4$  a su vez es hijo del nodo  $x_2$ . Por otra parte, el nodo  $x_5$  es hijo de los nodos  $x_2$  y  $x_3$  y es padre del nodo  $x_6$ .

Por medio de redes bayesianas se puede representar el conocimiento de expertos en dominios donde dicho conocimiento es probabilístico (Pearl, 1998).

**Figura 2.** Representación de arcos y nodos



Fuente: Elaboración propia

Una red bayesiana se compone de una parte cualitativa y una parte cuantitativa. En la parte cualitativa los nodos con varios estados representan variables de interés con incertidumbre que se ve expresada en probabilidad y los arcos que conectan los nodos padres con los nodos hijos representan la relación de dependencia condicional entre esos dos nodos.

Los nodos sin padres por su parte se consideran nodos raíces de la red. Mientras que, la parte cuantitativa, representa la relación entre un nodo y sus padres, que se puede expresar mediante la probabilidad de los estados de dicho nodo en las condiciones de diferentes combinaciones de los estados de sus padres y estas probabilidades condicionales pueden formarse como una tabla de probabilidad condicional. (Kwai-Sang Chin *et al*, 2009)

### 3.2 Relaciones causa-efecto entre los riesgos

Para determinar y medir cuantitativamente la relación de dependencia entre los riesgos definidos en la Tabla 7 (sección 2.3.3), se solicitó a los expertos que participaron, calificar en consenso el grado de relación entre cada par de riesgos de acuerdo con la escala ilustrada en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Escala de relación entre cada par de riesgos

| Valor | Grado de relación                           |
|-------|---------------------------------------------|
| 4     | La relación entre los riesgos es muy fuerte |
| 3     | La relación entre los riesgos es fuerte     |
| 2     | La relación entre los riesgos es moderada   |
| 1     | La relación entre los riesgos es débil      |
| 0     | No existe relación entre los riesgos        |

Fuente: Adaptado de Delgado & Misnaza (2014)

Para esto se realizó una matriz en la cual se comparan cada uno de los riesgos, con todos los demás, con el fin de identificar la relación existente entre cada uno de ellos. Los datos resaltados en color amarillo en la Tabla 11, son aquellos que tienen una relación muy fuerte o fuerte entre cada par de riesgos.

**Tabla 11.** Matriz de relaciones de causa- efecto de los riesgos identificados

|     | R1 | R3 | R5 | R6 | R8 | R10 | R12 | R14 | R15 | R16 | R21 | R22 | R24 | R25 | R28 | R29 | R30 | R33 | R34 |
|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R1  |    | 0  | 0  | 0  | 4  | 1   | 0   | 4   | 4   | 2   | 4   | 2   | 1   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| R3  |    |    | 3  | 3  | 0  | 1   | 2   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| R5  |    |    |    | 1  | 1  | 4   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   | 2   |
| R6  |    |    |    |    | 0  | 1   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| R8  |    |    |    |    |    | 1   | 3   | 0   | 0   | 2   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| R10 |    |    |    |    |    |     | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 1   | 1   |
| R12 |    |    |    |    |    |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 3   | 1   | 0   | 3   |
| R14 |    |    |    |    |    |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   |
| R15 |    |    |    |    |    |     |     |     |     | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| R16 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | 0   | 0   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| R21 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     | 4   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| R22 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     | 4   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| R24 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     | 0   | 4   | 0   | 4   | 0   | 0   |
| R25 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| R28 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 4   | 1   | 2   | 2   |
| R29 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0   | 3   | 1   |
| R30 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 4   | 0   |
| R33 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0   |
| R34 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la relación de dependencia obtenida entre los riesgos, aquellos riesgos que tengan un grado de relación fuerte o muy fuerte (calificación de 3 y 4), serán las variables para modelar y, por lo tanto, son las variables que tendrán relación de padres (causas) e hijos (efectos).

### 3.3 Identificación de los nodos padres y los nodos hijos

Para identificar el sentido de la relación padre-hijo entre los riesgos, en consenso los expertos definieron cuáles riesgos corresponden a causas y los riesgos dependientes a través de la matriz de causa-efecto. Los resultados se encuentran consignados en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Nodos padres y Nodos hijos de la BN

| NODOS PADRES | NODOS HIJOS        |
|--------------|--------------------|
| R1           | R8, R14, R15, R21  |
| R3           | R5, R6             |
| R5           | R10, R33           |
| R6           | R34                |
| R8           | R12                |
| R10          | R12                |
| R12          | R29                |
| R14          |                    |
| R15          | R16                |
| R16          |                    |
| R21          | R22                |
| R22          |                    |
| R24          | R16, R17, R22, R28 |
| R25          | R22                |
| R28          |                    |
| R29          | R28                |
| R30          | R24                |
| R33          | R29, R30           |
| R34          | R12                |

Fuente: Elaboración propia

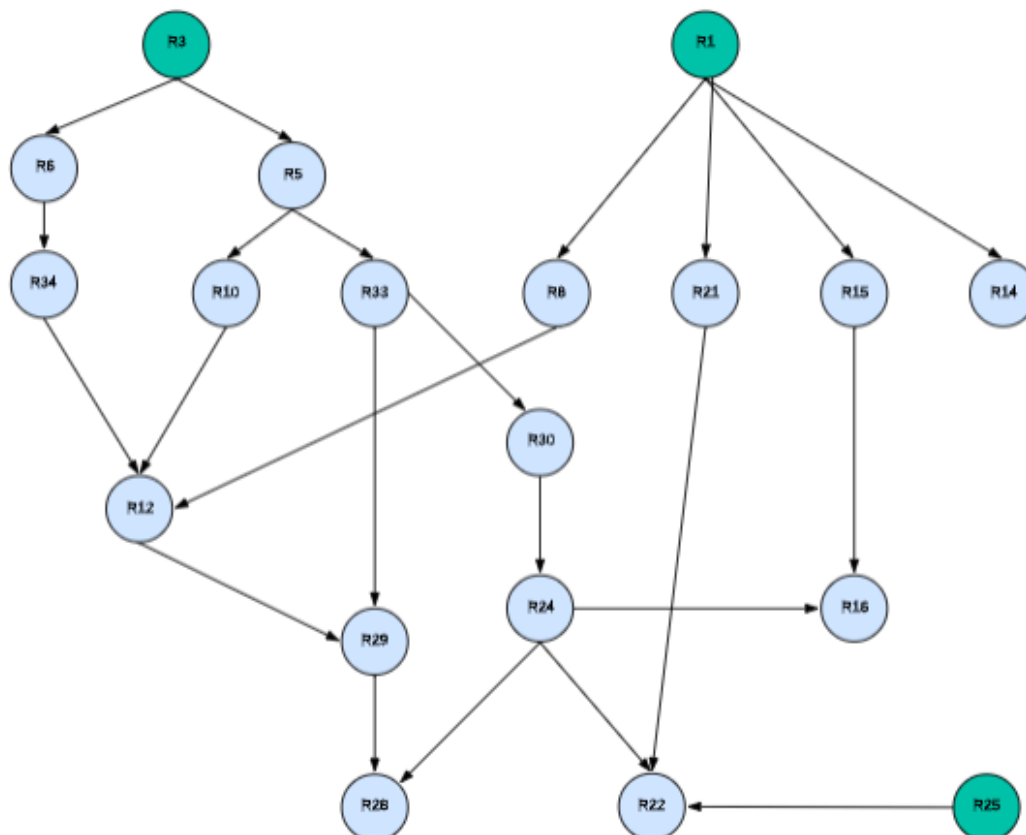
Por ejemplo, el riesgo R1, ubicado bajo la columna “Riesgo” es padre de R8, R14, R15, R21, los cuales se encuentran ubicados en la fila frente al riesgo analizado.

### 3.4 Gráfico red bayesiana

Una vez identificadas las relaciones padre-hijo entre los riesgos, se graficó la estructura de la red bayesiana la cual se compone de 2 nodos raíz, para los cuales se asignan valores de probabilidad a priori, 17 nodos intermedios, es decir aquellos que tienen al menos un nodo padre y a los cuales se les asignan valores de probabilidad condicional y

27 arcos que representan las relaciones unidireccionales entre los nodos descritos. La Figura 3 muestra la red Bayesiana.

**Figura 3.** Representación gráfica de la red bayesiana



Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Definición de estados de las variables

El comportamiento de las variables dada la presencia de otras se puede conocer por medio de los estados. De acuerdo con el criterio del experto 2 se definieron dos estados para cada uno de los nodos, ya que son los estados con los cuales normalmente se analiza la probabilidad de ocurrencia de los riesgos en la compañía, un estado es la ocurrencia del riesgo ("Sí") y el otro estado es la no-ocurrencia ("No"). Cabe mencionar que la probabilidad de no ocurrencia equivale al complemento de la probabilidad de ocurrencia. De esta manera se busca determinar la relación de causa- efecto entre los riesgos.

Para los nodos raíz R1 y R3 se utilizan las probabilidades a priori las cuales se encuentran en la Tabla 9.

### 3.5.1 Nodos Raíz – Probabilidades a priori

Para los nodos hijos la probabilidad de ocurrencia viene dada por la probabilidad condicional, por ejemplo, de acuerdo con la Tabla 9, la probabilidad de ocurrencia del riesgo R12 es de 20%, pero si ocurre alguno de sus padres el estado del riesgo R12 va a cambiar, ya que las probabilidades individuales de los nodos padres interfieren en la materialización del nodo hijo. Pueden existir un número de combinaciones aleatorias de nodos que se materialicen y por ende afecten el estado del nodo R12. Debido a esto, el experto 2 definió las probabilidades condicionales de cada uno de los riesgos por medio de la entrevista 3 (Anexo 4). En la Tabla 13 se presenta un ejemplo de los estados de uno de los riesgos (R12). Sin embargo, la totalidad de estados de cada uno de los riesgos se puede encontrar en el anexo 4.

**Tabla 13.** Ejemplo probabilidades condicionales para el nodo R12

| Nodos Padres |     |     | R12 |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| R8           | R10 | R34 | SI  | NO  |
| SI           |     | SI  | 1   | 0   |
|              |     | NO  | 0,8 | 0,2 |
|              | NO  | SI  | 0,5 | 0,5 |
|              |     | NO  | 0,4 | 0,6 |
| NO           |     | SI  | 0,6 | 0,4 |
|              |     | NO  | 0,4 | 0,6 |
|              | NO  | SI  | 0,3 | 0,7 |
|              |     | NO  | 0,2 | 0,8 |

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se pueden apreciar los estados del nodo R12, reflejando su comportamiento en caso de que sus nodos padres ocurran. Para obtener la probabilidad de que este nodo ocurra dado que sus padres ocurrieron, se calcula por medio del teorema de bayes (Ver ecuación 2, sección 3.1).

Después de construir la red bayesiana, se creó el gráfico y se ingresaron los datos al software MSBNx, el cual es un programa de Windows que permite graficar y calcular los valores de una red bayesiana. El software calcula las probabilidades condicionales asociadas a los nodos hijos a partir del teorema de bayes (ecuación 2, sección 3). Se escogió este software por ser una aplicación de libre acceso y sin ningún tipo de restricciones.

Se graficaron los nodos correspondientes a los riesgos del portafolio y se asignó la dirección de relación de dependencia existente entre estos, es decir los arcos que unen los nodos. Posteriormente, se ingresaron las probabilidades condicionales consignadas en el Anexo 4, el archivo en MSBNx con la red modelada se presenta en el Anexo 13.



#### 4. Resultados del modelo

Una vez modelado el sistema, se obtuvo el valor de los estados para cada uno de los nodos como se observa en la Tabla 14. El estado 0 corresponde a la probabilidad de ocurrencia mientras que el estado 1 el de no ocurrencia de cada riesgo.

**Tabla 14.** Ejemplo valores de los estados para algunos de los nodos

| Descripción nodo               | Estado 0 (Si) | Estado 1 (No) |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| Errores desde la planeación    | 0,5           | 0,5           |
| Mala gestión del capital       | 0,3315        | 0,6685        |
| Retraso por pago a proveedores | 0,3914        | 0,6086        |
| Estimación de tiempo inexacta  | 0,5500        | 0,45          |
| Inadecuada asignación de RRHH  | 0,2750        | 0,725         |
| Escasez de RRHH                | 0,3222        | 0,6778        |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se comparan los resultados obtenidos del modelo con las probabilidades a priori que se habían obtenido previamente (Tabla 9). Se observa que las probabilidades de ocurrencia son mayores que las probabilidades a priori dadas por los expertos, con la excepción de los riesgos Errores desde la planeación (R1) y Estructura organizacional inadecuada (R3) y Averías de maquinaria y equipo (R25) los cuales no tienen riesgos precedentes.

**Tabla 15.** Resultados obtenidos del modelo

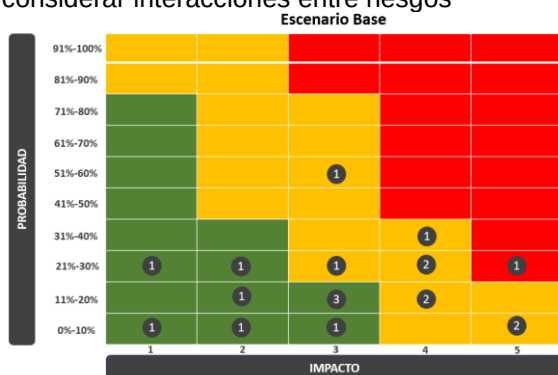
| Riesgo | Impacto | Probabilidad de ocurrencia simulación (P1) | Puntaje riesgo 2 (I X P1) | Probabilidad de ocurrencia a priori (P2) | Puntaje riesgo 1 (I X P2) |
|--------|---------|--------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| R1     | 3       | 0,5                                        | 1,5                       | 0,5                                      | 1,5                       |
| R3     | 1       | 0,3                                        | 0,3                       | 0,3                                      | 0,3                       |
| R5     | 2       | 0,33                                       | 0,66                      | 0,3                                      | 0,6                       |
| R6     | 2       | 0,26                                       | 0,52                      | 0,2                                      | 0,4                       |
| R8     | 4       | 0,4                                        | 1,6                       | 0,2                                      | 0,8                       |
| R10    | 4       | 0,3315                                     | 1,33                      | 0,15                                     | 0,6                       |
| R12    | 3       | 0,3914                                     | 1,17                      | 0,2                                      | 0,6                       |
| R14    | 4       | 0,55                                       | 2,2                       | 0,4                                      | 1,6                       |
| R15    | 3       | 0,275                                      | 0,83                      | 0,15                                     | 0,45                      |

|     |   |        |      |      |      |
|-----|---|--------|------|------|------|
| R16 | 5 | 0,3222 | 1,61 | 0,1  | 0,5  |
| R21 | 3 | 0,1    | 0,6  | 0,1  | 0,3  |
| R22 | 5 | 0,2488 | 1,24 | 0,05 | 0,25 |
| R24 | 4 | 0,4399 | 1,76 | 0,3  | 1,2  |
| R25 | 3 | 0,25   | 0,75 | 0,25 | 0,75 |
| R28 | 5 | 0,4115 | 2,06 | 0,25 | 1,25 |
| R29 | 3 | 0,3103 | 0,93 | 0,2  | 0,6  |
| R30 | 4 | 0,3497 | 1,4  | 0,3  | 1,2  |
| R33 | 2 | 0,1655 | 0,33 | 0,05 | 0,1  |
| R34 | 1 | 0,139  | 0,14 | 0,1  | 0,1  |

Fuente: Elaboración propia

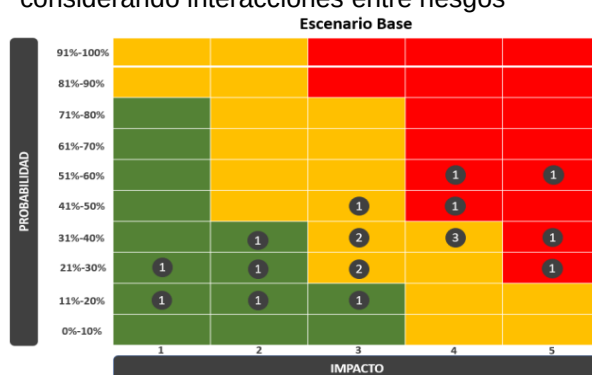
Las Figuras 3 y 4 muestran los riesgos en una matriz de riesgos, en la cual se grafica en el eje horizontal el nivel de impacto de cada riesgo sobre la duración de los proyectos, mientras que el eje vertical representa la probabilidad de ocurrencia de estos.

**Figura 4.** Matriz de riesgos: escenario base sin considerar interacciones entre riesgos



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.** Matriz de riesgos: escenario base considerando interacciones entre riesgos



Fuente: Elaboración propia

La zona verde representa riesgos de baja importancia, dado que corresponden a riesgos con baja probabilidad de ocurrencia y/o bajo impacto para el portafolio. La zona amarilla, representa un nivel de importancia medio de los riesgos, ya que comprende riesgos que combinan un nivel de impacto alto con una probabilidad de ocurrencia baja, o un nivel de impacto bajo, pero con alta probabilidad, así como las posibles combinaciones de impacto-probabilidad que en el gráfico corresponden a la zona intermedia. Finalmente, la zona roja representa riesgos de gran importancia dado que tienen niveles de impacto mayores a 3 (de acuerdo con la escala previamente definida), y probabilidades de ocurrencia superiores al 30%.

Al analizar la Figuras 4 y la Figura 5, se observa que al tener en cuenta las relaciones entre los riesgos, la probabilidad de ocurrencia de los riesgos es mayor que si se analizan

de manera individual. En la Figura 4, nueve de los riesgos se clasifican como de importancia baja, otros nueve con un nivel de importancia media o moderada y sólo un riesgo en la zona de importancia alta. En la Figura 5, seis riesgos se encuentran en la zona de riesgo baja, ocho riesgos se ubican en la zona de importancia moderada y 5 riesgos pasan a la zona de importancia alta.

#### 4.1 Prueba de comportamiento del modelo

Para evaluar el comportamiento del modelo se realizó un análisis de sensibilidad. Se definió para los riesgos R1 y R3 un primer escenario con estado 0 de muy alta probabilidad (90% de probabilidad de ocurrencia) y un segundo escenario con baja probabilidad (5% de probabilidad de ocurrencia) con el fin de analizar cómo estas variaciones afectan las probabilidades de los nodos hijos. Los resultados de ambos escenarios se encuentran en la Tabla 16 y la Tabla 17 respectivamente.

**Tabla 16.** Estado 0 de probabilidad de 90% para nodos R1 y R3

| Riesgo | Impacto | Probabilidad condicional (Escenario Base) | Probabilidad condicional (Escenario de Validación 1) | % Variación $(V_f - V_i)/V_i$ |
|--------|---------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|
| R1     | 3       | 50,00%                                    | 90,00%                                               | 44%                           |
| R3     | 1       | 30,00%                                    | 90,00%                                               | 67%                           |
| R5     | 2       | 33,00%                                    | 40,00%                                               | 18%                           |
| R6     | 2       | 26,00%                                    | 40,00%                                               | 35%                           |
| R8     | 4       | 40,00%                                    | 60,00%                                               | 33%                           |
| R10    | 4       | 33,15%                                    | 37,00%                                               | 10%                           |
| R12    | 3       | 39,14%                                    | 46,03%                                               | 15%                           |
| R14    | 4       | 55,00%                                    | 70,00%                                               | 21%                           |
| R15    | 3       | 27,50%                                    | 40,00%                                               | 31%                           |
| R16    | 5       | 32,22%                                    | 38,40%                                               | 16%                           |
| R21    | 3       | 20,00%                                    | 30,00%                                               | 33%                           |
| R22    | 5       | 24,88%                                    | 26,27%                                               | 5%                            |
| R24    | 4       | 43,99%                                    | 44,28%                                               | 1%                            |
| R25    | 3       | 25,00%                                    | 25,00%                                               | 0%                            |
| R28    | 5       | 41,15%                                    | 41,90%                                               | 2%                            |
| R29    | 3       | 31,03%                                    | 33,17%                                               | 6%                            |
| R30    | 4       | 34,97%                                    | 35,70%                                               | 2%                            |
| R33    | 2       | 16,55%                                    | 19,00%                                               | 13%                           |
| R34    | 1       | 13,90%                                    | 16,00%                                               | 13%                           |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 16, al aumentar la probabilidad de ocurrencia de los nodos raíz, se incrementa la probabilidad de todos los nodos hijos. El aumento es mayor en aquellos riesgos directamente relacionados con los nodos raíz (R6, R8, R15, R21) y el porcentaje de variación va disminuyendo a medida que los nodos hijos se encuentran más alejados de los nodos raíz, hasta llegar al final de la red bayesiana (R22, R24, R28 y 30) en los cuales la variación fue menor al 6%.

**Tabla 17.** Estado 0 de probabilidad de 5% para nodos R1 y R3

| Riesgo | Impacto | Probabilidad condicional<br>(Escenario Base) | Probabilidad condicional<br>(Validación 1) | % Variación<br>(Vf - Vi)/Vi |
|--------|---------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|
| R1     | 3       | 50,00%                                       | 5,00%                                      | -90%                        |
| R3     | 1       | 30,00%                                       | 5,00%                                      | -83%                        |
| R5     | 2       | 33,00%                                       | 30,00%                                     | -9%                         |
| R6     | 2       | 26,00%                                       | 20,00%                                     | -23%                        |
| R8     | 4       | 40,00%                                       | 20,00%                                     | -50%                        |
| R10    | 4       | 33,15%                                       | 31,50%                                     | -5%                         |
| R12    | 3       | 39,14%                                       | 33,27%                                     | -15%                        |
| R14    | 4       | 55,00%                                       | 40,00%                                     | -27%                        |
| R15    | 3       | 27,50%                                       | 15,00%                                     | -45%                        |
| R16    | 5       | 32,22%                                       | 26,09%                                     | -19%                        |
| R21    | 3       | 20,00%                                       | 10,00%                                     | -50%                        |
| R22    | 5       | 24,88%                                       | 23,53%                                     | -5%                         |
| R24    | 4       | 43,99%                                       | 43,86%                                     | 0%                          |
| R25    | 3       | 25,00%                                       | 25,00%                                     | 0%                          |
| R28    | 5       | 41,15%                                       | 40,62%                                     | -1%                         |
| R29    | 3       | 31,03%                                       | 29,44%                                     | -5%                         |
| R30    | 4       | 34,97%                                       | 34,65%                                     | -1%                         |
| R33    | 2       | 16,55%                                       | 15,50%                                     | -6%                         |
| R34    | 1       | 13,90%                                       | 13,00%                                     | -6%                         |

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Tabla 17, al disminuir la probabilidad de ocurrencia de los nodos raíz, se disminuye la probabilidad de ocurrencia de los nodos hijos. Al igual que en el caso anterior, los riesgos directamente asociados a los riesgos modificados presentaron el mayor porcentaje de variación (R8, R15 y R21) mientras que los que se encuentran más alejados en la red bayesiana, disminuyeron en menor proporción, algunos incluso variando menos de un 1% con respecto al escenario base.

Con estos resultados se observa que el modelo refleja de manera coherente los cambios que se apliquen en los estados de los nodos, puesto que las probabilidades de los nodos hijos se ven afectadas por las variaciones en los estados de sus nodos padres. Además, la variación en la probabilidad de los nodos hijos, está inversamente relacionada con la cantidad de nodos precedentes hasta llegar al nodo cuya probabilidad ha sido modificada.

## 4.2 Análisis de sensibilidad

Se realiza un análisis de sensibilidad para determinar las variaciones de las probabilidades de los nodos de la red bayesiana cuando se materializa uno o más riesgos. De esta manera se busca identificar aquellas secuencias o rutas de riesgos que presentan una mayor variación con respecto al escenario base. Para el análisis se definieron los siguientes escenarios:

**Escenario 1:** materialización del nodo padre R1 (100% de probabilidad de ocurrencia) para evaluar el impacto sobre los riesgos Escasez de RRHH, escasez de maquinaria y equipo y escasez de materia prima (R16, R22 y R28 respectivamente) los cuales, de acuerdo con el juicio de los expertos, tienen el mayor nivel de impacto sobre la duración de los proyectos del portafolio. (Ver Tabla 10)

**Escenario 2:** materialización del nodo padre R3 (100% de probabilidad de ocurrencia) para evaluar el impacto sobre los riesgos R16, R22 y R28 y compararlo con el escenario 1. Esto con el fin de poder determinar cuál de los nodos raíz impacta más sobre los nodos finales de la red bayesiana.

**Escenario 3,4 y 5:** materialización de los nodos R6, R10 y R33 (100% de probabilidad de ocurrencia) para determinar cuál es el riesgo que al ocurrir genera un mayor aumento en las probabilidades de los otros nodos.

## 4.2 Escenario 1

Si se materializa el nodo raíz R1, las probabilidades de ocurrencia de los riesgos R16, R22 y R28 aumentan 15.92%, 5% y 0,96% respectivamente. El riesgo R16 es el que presenta un mayor aumento de estos tres nodos finales, lo que implica un alto nivel de dependencia con respecto a los estados del nodo R1. En la tabla 18 se encuentran consignadas las probabilidades de cada uno de los nodos para el escenario 1.

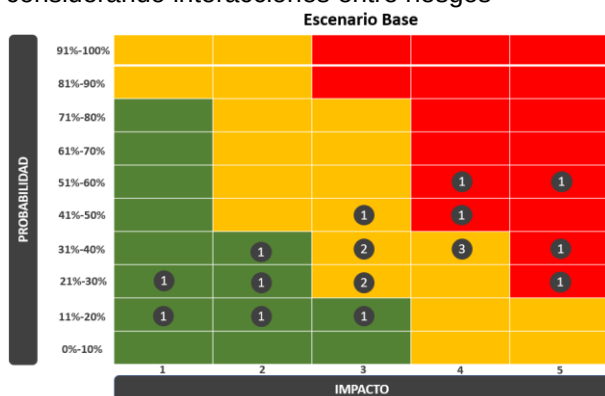
**Tabla 18.** Probabilidades para cada uno de los nodos escenario 1

| Riesgo | Impacto | Probabilidad condicional (Escenario Base) | Probabilidad condicional (Validación 1) | % Variación $(V_f - V_i)/V_i$ |
|--------|---------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| R1     | 3       | 50,00%                                    | 100,00%                                 | 50,00%                        |
| R3     | 1       | 30,00%                                    | 30,00%                                  | 0,00%                         |
| R5     | 2       | 33,00%                                    | 33,00%                                  | 0,00%                         |
| R6     | 2       | 26,00%                                    | 26,00%                                  | 0,00%                         |
| R8     | 4       | 40,00%                                    | 60,00%                                  | 33,33%                        |
| R10    | 4       | 33,15%                                    | 33,15%                                  | 0,00%                         |
| R12    | 3       | 39,14%                                    | 44,46%                                  | 11,97%                        |
| R14    | 4       | 55,00%                                    | 70,00%                                  | 21,43%                        |
| R15    | 3       | 27,50%                                    | 40,00%                                  | 31,25%                        |
| R16    | 5       | 32,22%                                    | 38,32%                                  | 15,92%                        |
| R21    | 3       | 20,00%                                    | 30,00%                                  | 33,33%                        |
| R22    | 5       | 24,88%                                    | 26,19%                                  | 5,00%                         |
| R24    | 4       | 43,99%                                    | 43,99%                                  | 0,00%                         |
| R25    | 3       | 25,00%                                    | 25,00%                                  | 0,00%                         |
| R28    | 5       | 41,15%                                    | 41,55%                                  | 0,96%                         |
| R29    | 3       | 31,03%                                    | 32,30%                                  | 3,93%                         |
| R30    | 4       | 34,97%                                    | 34,97%                                  | 0,00%                         |
| R33    | 2       | 16,55%                                    | 16,55%                                  | 0,00%                         |
| R34    | 1       | 13,90%                                    | 13,90%                                  | 0,00%                         |

Fuente: Elaboración propia

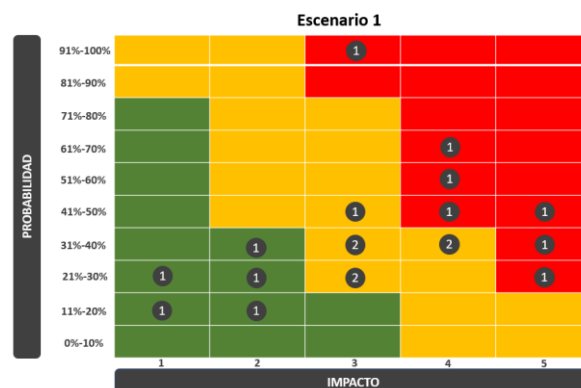
Por otro lado, en la figura 5 se observa en el escenario 1 un mayor nivel de riesgo con respecto al escenario base, lo cual tiene sentido dado que se aumentó la probabilidad de uno de los nodos raíz, el cual afecta a 4 riesgos de manera directa, e indirectamente a otros 5 riesgos.

**Figura 4.** Matriz de riesgos: escenario base considerando interacciones entre riesgos



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.** Matriz de riesgos: Escenario 1



Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Escenario 2

Si se materializa el nodo raíz R3, la probabilidad de ocurrencia del riesgo R16 aumenta un 0.22%, el riesgo R22 un 0.32% y el riesgo R28 aumenta en un 0.82%. Esto implica que el riesgo R3 afecta en menor medida los estados de los nodos finales. Los nodos hijos de R3 aumentan en mayor proporción por lo que están relacionados directamente con este. El nodo R10 que corresponde al riesgo mala gestión del capital tiene un nivel de impacto de 4, por lo que un aumento en su probabilidad de ocurrencia podría retrasar en gran medida la finalización de alguno o varios de los proyectos del portafolio.

**Tabla 19.** Probabilidades para cada uno de los nodos escenario 2

| Riesgo | Impacto | Probabilidad condicional (Escenario Base) | Probabilidad condicional (Validación 1) | % Variación $(v_f - v_i)/v_i$ |
|--------|---------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| R1     | 3       | 50,00%                                    | 50,00%                                  | 0,00%                         |
| R3     | 1       | 30,00%                                    | 100,00%                                 | 70,00%                        |
| R5     | 2       | 33,00%                                    | 40,00%                                  | 17,50%                        |
| R6     | 2       | 26,00%                                    | 40,00%                                  | 35,00%                        |
| R8     | 4       | 40,00%                                    | 40,00%                                  | 0,00%                         |
| R10    | 4       | 33,15%                                    | 37,00%                                  | 10,41%                        |
| R12    | 3       | 39,14%                                    | 40,55%                                  | 3,48%                         |
| R14    | 4       | 55,00%                                    | 55,00%                                  | 0,00%                         |
| R15    | 3       | 27,50%                                    | 27,50%                                  | 0,00%                         |
| R16    | 5       | 32,22%                                    | 32,29%                                  | 0,22%                         |
| R21    | 3       | 20,00%                                    | 20,00%                                  | 0,00%                         |
| R22    | 5       | 24,88%                                    | 24,96%                                  | 0,32%                         |
| R24    | 4       | 43,99%                                    | 44,28%                                  | 0,65%                         |
| R25    | 3       | 25,00%                                    | 25,00%                                  | 0,00%                         |
| R28    | 5       | 41,15%                                    | 41,49%                                  | 0,82%                         |
| R29    | 3       | 31,03%                                    | 31,82%                                  | 2,48%                         |
| R30    | 4       | 34,97%                                    | 35,70%                                  | 2,04%                         |
| R33    | 2       | 16,55%                                    | 19,00%                                  | 12,89%                        |
| R34    | 1       | 13,90%                                    | 16,00%                                  | 13,13%                        |

Fuente: Elaboración propia

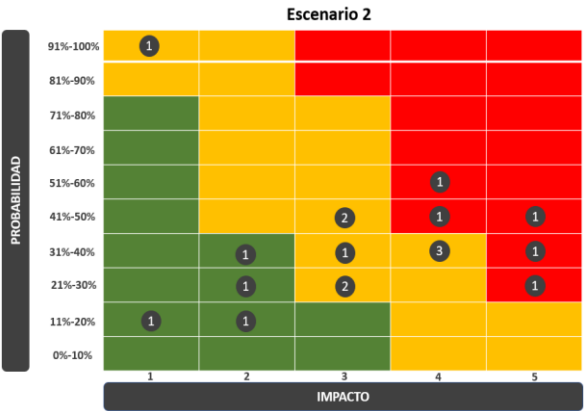
En general, el nivel de riesgo del portafolio dado que ocurra R3, no aumenta en gran medida. Es más, en la matriz de riesgos se observa que la distribución de los riesgos permanece muy similar a la del escenario base. Esto implica que de los nodos raíz de la red bayesiana, R1 impacta más que R3 a los demás riesgos dado que se materialicen.

**Figura 4.** Matriz de riesgos: escenario base considerando interacciones entre riesgos



Fuente: Elaboración propia

**Figura 7.** Matriz de riesgos: Escenario 2



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Escenarios 3, 4 y 5

Una vez identificado cuál es el nodo raíz que más afecta el nivel de riesgo del portafolio, se evalúan 3 escenarios diferentes en los cuales se asume una probabilidad del 100% para los nodos R6, R10 y R33. Esto con el fin de analizar, de la misma forma que se hizo con R1 y R3, de estos 3 cuál es el riesgo que al ocurrir genera un mayor aumento en las probabilidades de los otros nodos, especialmente se analiza la probabilidad del riesgo R28, ya que tanto R6, como R10 y R33 derivan en él. Además, como se mencionó anteriormente, este nodo tiene el mayor nivel de impacto por lo que es importante identificar en qué medida aumentó su probabilidad de ocurrencia. En la Tabla 20 se encuentran consignadas todas las probabilidades de los nodos, dada la ocurrencia del respectivo nodo modificado en cada escenario.

**Tabla 20.** Probabilidades para cada uno de los nodos escenario 2

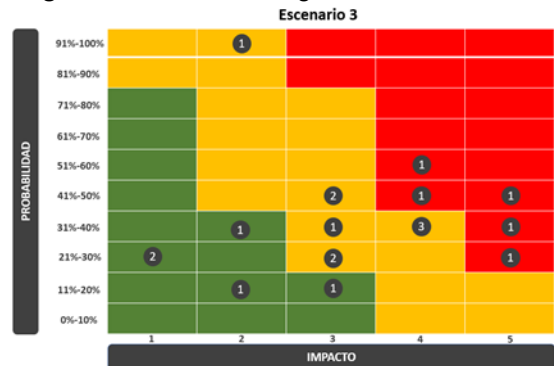
| Riesgo | Probabilidad condicional<br>(Escenario Bas) | Probabilidad condicional<br>(Escenario 3) | Probabilidad condicional<br>(Escenario 4) | Probabilidad condicional<br>(Escenario 5) |
|--------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| R1     | 50,00%                                      | 50,00%                                    | 50,00%                                    | 50,00%                                    |
| R3     | 30,00%                                      | 30,00%                                    | 30,00%                                    | 30,00%                                    |
| R5     | 33,00%                                      | 33,00%                                    | 33,00%                                    | 33,00%                                    |
| R6     | 26,00%                                      | 100,00%                                   | 26,00%                                    | 26,00%                                    |
| R8     | 40,00%                                      | 40,00%                                    | 40,00%                                    | 40,00%                                    |
| R10    | 33,15%                                      | 33,15%                                    | 100,00%                                   | 33,15%                                    |
| R12    | 39,14%                                      | 40,61%                                    | 58,78%                                    | 39,14%                                    |
| R14    | 55,00%                                      | 55,00%                                    | 55,00%                                    | 55,00%                                    |
| R15    | 27,50%                                      | 27,50%                                    | 27,50%                                    | 27,50%                                    |
| R16    | 32,22%                                      | 32,22%                                    | 32,22%                                    | 34,77%                                    |
| R21    | 20,00%                                      | 20,00%                                    | 20,00%                                    | 20,00%                                    |
| R22    | 24,88%                                      | 24,88%                                    | 24,88%                                    | 27,58%                                    |
| R24    | 43,99%                                      | 43,99%                                    | 43,99%                                    | 54,00%                                    |
| R25    | 25,00%                                      | 25,00%                                    | 25,00%                                    | 25,00%                                    |
| R28    | 41,15%                                      | 41,26%                                    | 42,47%                                    | 48,58%                                    |
| R29    | 31,03%                                      | 31,38%                                    | 35,36%                                    | 45,65%                                    |
| R30    | 34,97%                                      | 34,97%                                    | 34,97%                                    | 60,00%                                    |
| R33    | 16,55%                                      | 16,55%                                    | 16,55%                                    | 100,00%                                   |
| R34    | 13,90%                                      | 25,00%                                    | 13,90%                                    | 13,90%                                    |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, la ocurrencia del nodo R33 que corresponde al riesgo Proveedores no confiables, es el que genera un mayor incremento en la probabilidad del riesgo R28 (48.58%). El nodo R10 aumenta hasta un 42.47% la probabilidad de ocurrencia del riesgo R28, mientras que el nodo R6 sólo lo aumenta un 0.11% (probabilidad de ocurrencia de 41.26%) con respecto a su estado en el escenario base.



**Figura 8. Matriz de riesgos: Escenario 3**



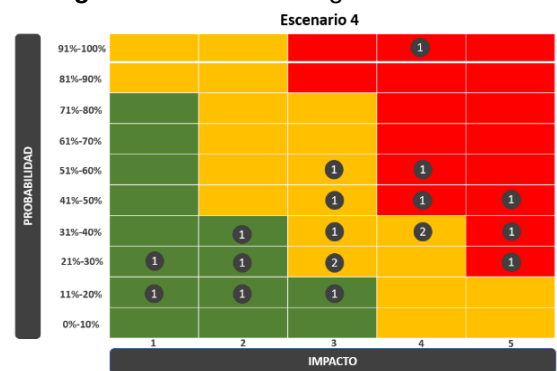
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. Matriz de riesgos: Escenario base**



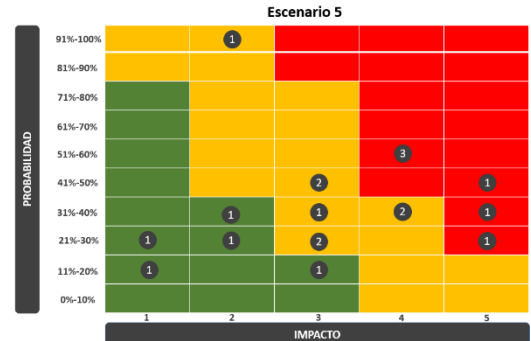
Fuente: Elaboración propia

**Figura 9. Matriz de riesgos: Escenario 4**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 10. Matriz de riesgos: Escenario 5**



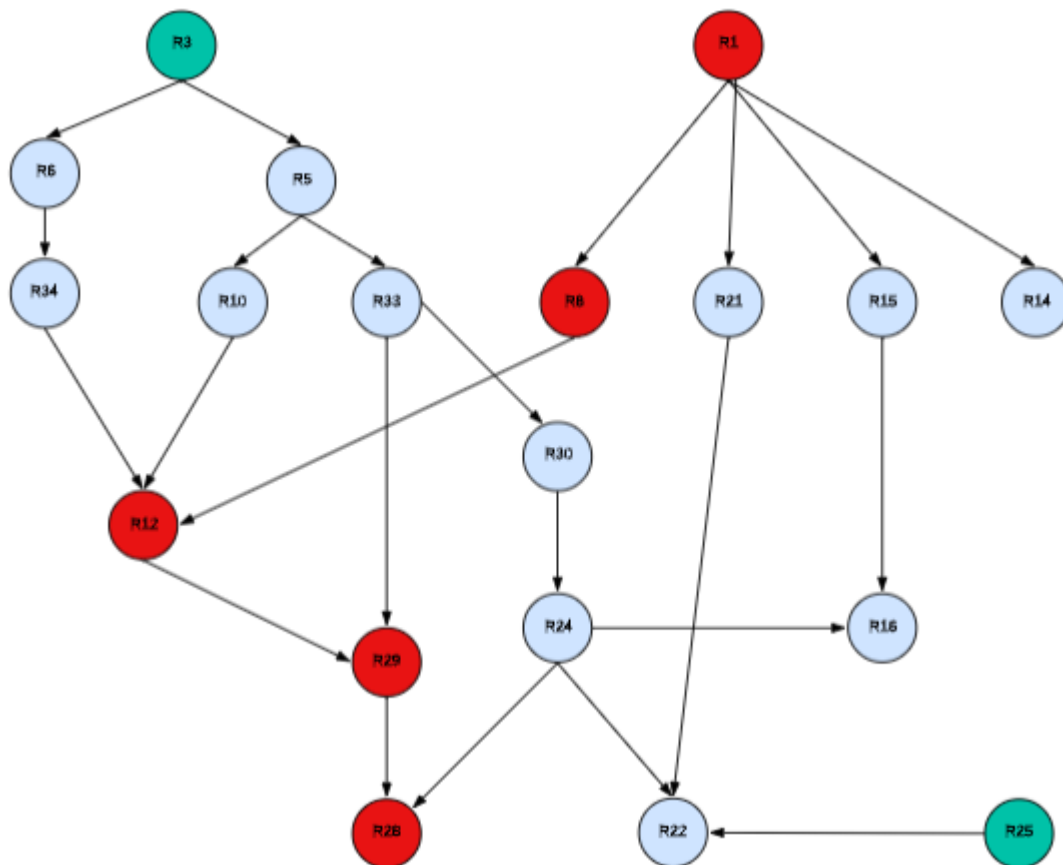
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la distribución de los riesgos en la matriz de riesgos, se puede observar que R10 aumenta en mayor medida el riesgo del proyecto, por el hecho de que dicho riesgo tiene un nivel de impacto alto. Pero ignorando el impacto de la ocurrencia de cada

uno de los riesgos analizados, se observa que los sistemas permanecen en condiciones bastante similares.

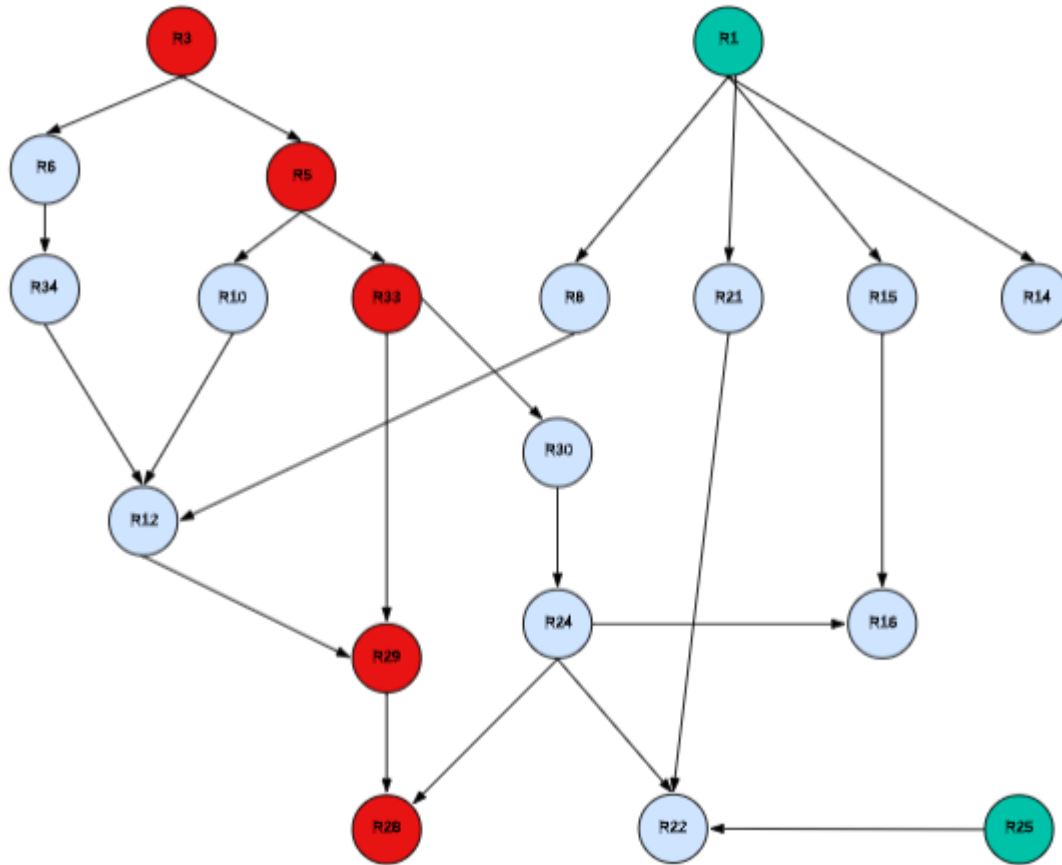
Luego del análisis de estos 5 escenarios se puede identificar que, a la hora de definir las estrategias de prevención o mitigación, se debería dar prioridad al riesgo R1 pues genera un aumento de la probabilidad de ocurrencia de los demás riesgos, en especial de aquellos con un nivel de impacto muy alto. Además, el riesgo R33 es el que genera un mayor aumento en las probabilidades de los riesgos que le suceden. También se debería poner especial atención en R10 por su alto nivel de impacto sobre los proyectos del portafolio.

**Figura 11.** Ruta de riesgos 1



La figura 11 presentan la ruta de riesgos que mayor impacto pueden generar para el portafolio de proyectos y en las cuales deberían centrarse las estrategias de mitigación. De esta forma se pueden evaluar todas las rutas de riesgos posibles para determinar cuáles son aquellos riesgos que pueden afectar en mayor medida el desempeño del portafolio debido al aumento en las probabilidades de ocurrencia dadas las interacciones entre los riesgos.

**Figura 12.** Ruta de riesgos 2



Si se analiza una red más compleja (con más riesgos y más relaciones entre los mismos), las diferencias serán más apreciables en la matriz de riesgos, pues la ocurrencia de un riesgo puede derivar en varios riesgos siendo afectados por dicho evento. No obstante, con este sistema se puede visualizar el objetivo del método propuesto para el análisis de riesgos, teniendo en cuenta las interacciones entre los mismos.

## 5. Conclusiones

El modelo propuesto permite determinar las variaciones de los riesgos dado un cambio en el estado de algún nodo padre, con lo cual se puede determinar aquellos riesgos que más impactan sobre otros y cuya ocurrencia podría aumentar el nivel general de riesgo del portafolio. Este modelo puede aplicarse como base para desarrollar un plan de respuesta al riesgo, puesto que proporciona información necesaria y confiable de los riesgos que tienen gran incidencia en el portafolio porque aumentan la probabilidad de ocurrencia de otros riesgos, de tal manera que permite a los gerentes de proyectos tomar decisiones con respecto a los planes de mitigación de riesgos para así garantizar el éxito

del portafolio.

Se observa que, para el análisis de riesgos de un portafolio de proyectos, es importante tener en cuenta las interrelaciones entre riesgos que surgen debido a las interdependencias entre los proyectos que componen el portafolio. La identificación de riesgos de manera individual puede conducir a cálculos erróneos de probabilidad de ocurrencia e incluso de impacto de los riesgos.

Dadas las limitaciones para la obtención de la información, el presente trabajo se realizó con un portafolio compuesto por 5 proyectos relacionados con el desarrollo de nuevos productos y una lista acotada de 19 riesgos asociados a la interdependencia de recursos entre los proyectos del portafolio. No obstante, la metodología podría aplicarse a portafolios compuestos por más proyectos y de diferente tipología, con una mayor cantidad de riesgos e incluso, con otro tipo de categorías de riesgos.

No obstante, para un sistema mucho más complejo, determinar las probabilidades condicionales de un riesgo puede resultar más difícil, cuando es precedido por más de 3 riesgos. Además, las redes bayesianas limitan el análisis a relaciones unidireccionales (causa-efecto) entre los riesgos, por lo que no considera otro tipo de relaciones que podrían estar presentes como las relaciones cíclicas.

Para futuros trabajos, se podría comparar el modelo propuesto con otro tipo de análisis, como, por ejemplo, por medio de la dinámica de sistemas, la cual es una metodología para analizar el comportamiento de sistemas complejos, la cual permite entre otras cosas, analizar relaciones cíclicas (bucles) entre sus elementos y agregar otro tipo de variables al sistema estudiado, considerando además el transcurso del tiempo.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Project Management Institute. (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). Quinta Edición.
- Ackermann, F., Eden, C., Williams, T., & Howick, S. (2007). Systemic risk assessment: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 58(1), 39–51.  
<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602105>
- Arquer. (2007). *Fiabilidad humana: Métodos de cuantificación, juicio de expertos*. 1–5.
- Bello, U. A., Andrea, L., García, G., Guía, P., Hugo, V., & Velásquez, C. (2016). *Costo Probable De Proyectos De Agua Potable*.
- Boateng, P., Chen, Z., & Ogunlana, S. O. (2015). An Analytical Network Process model for risks prioritisation in megaprojects. *International Journal of Project Management*, 33(8), 1795–1811. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.08.007>
- Chin, K. S., Tang, D. W., Yang, J. B., Wong, S. Y., & Wang, H. (2009). Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology. *Expert Systems with Applications*, 36(6), 9879–9890.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.019>
- Fang, C., & Marle, F. (2012). A simulation-based risk network model for decision support in project risk management. *Decision Support Systems*, 52(3), 635–644.  
<https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.10.021>
- Ghasemi, F., Sari, M. H. M., Yousefi, V., Falsafi, R., & Tamošaitiene, J. (2018). Project portfolio risk identification and analysis, considering project risk interactions and using Bayesian Networks. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5).  
<https://doi.org/10.3390/su10051609>
- Hadjinicolaou, N., & Dumrak, J. (2017). Investigating Association of Benefits and Barriers in Project Portfolio Management to Project Success. *Procedia Engineering*, 182, 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.191>
- Hayse, J. (2000). Using Monte Carlo analysis in ecological risk assessments. *Argonne National Laboratory: DuPage Conty, January 2000*, 1–15.  
<http://web.evs.anl.gov/ecorisk/issue/pdf/montecarlo.pdf>
- Hofman, M., & Grela, G. (2015). Project Portfolio Risk Identification-Application of Delphi Method. *Journal of Business and Economics*, 6(11), 1857–1867.  
[https://doi.org/10.15341/jbe\(2155-7950\)/11.06.2015/004](https://doi.org/10.15341/jbe(2155-7950)/11.06.2015/004)
- Madic, B., Trujic, V., & Mihajlovic, I. (2011). Project portfolio management implementation review. *African Journal of Business Management*, 5(2), 240–248.  
<https://doi.org/10.5897/AJBM10.256>
- Marle, F., Vidal, L., & Bocquet, J. (2013). Int . J . Production Economics Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management. *Intern. Journal of Production Economics*, 142(2), 225–234.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.11.022>
- Martinez, B., & Molina, R. (2020). *Categorización De Los Factores De Riesgo Asociados a La Interacción Entre Proyectos De Un Portafolio De Proyectos*.

- Martinsuo, M. (2013). Project portfolio management in practice and in context. *International Journal of Project Management*, 31(6), 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.013>
- Micán, C., Fernandes, G., & Araújo, M. (2020). Project portfolio risk management: A structured literature review with future directions for research. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 8(3), 67–84. <https://doi.org/10.12821/ijispm080304>
- PMI. (2015). *Capturing the Value of PROJECT MANAGEMENT*.
- PMI. (2018). El éxito en tiempos de disrupción. *Pulse of the Profession de PMI*, 12, 32.
- PMI (Project Management Institute). (2017). Aumento de las tasas de éxito. *PULSE of the Profession*, 32. <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2017.pdf>
- Project Management Institute. (2016). *El alto costo de un bajo desempeño*. 36. <http://www.pmi.org/learning/thought-leadership/pulse>
- Rezaie, K., Amalnik, M. S., Gereie, A., Ostadi, B., & Shakhseeniaee, M. (2007). Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties. *Applied Mathematics and Computation*, 190(2), 1492–1501. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.02.038>
- Teller, J. (2013). Portfolio risk management and its contribution to project portfolio success: An investigation of organization, process, and culture. *Project Management Journal*, 44(2), 36–51. <https://doi.org/10.1002/pmj.21327>
- Zhang, Y. (2016). ScienceDirect Selecting risk response strategies considering project risk interdependence. *JPMA*, 34(5), 819–830. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.03.001>

## 7. Anexos

### Anexo 1. Formato entrevista

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 1. Formato.

#### Anexo 1.1 Entrevista experto 1

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 1.1 Exp. 1.

#### Anexo 1.2 Entrevista experto 2

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 1.1 Exp. 2.

#### Anexo 1.3 Entrevista experto 3

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 1.1 Exp. 3.

#### **Anexo 2. Cálculo RIR**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 2. Cálculo RIR.

#### **Anexo 3. Encuesta 2**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 3. Encuesta 2.

#### **Anexo 4. Encuesta 3**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 4. Encuesta 3.

#### **Anexo 5. Escenario Base**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 5. Escenario Base.

#### **Anexo 6. Validación 1**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 6. Validación 1.

#### **Anexo 7. Validación 2**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 7. Validación 2.

#### **Anexo 8. Escenario 1**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 8. Escenario 1.

#### **Anexo 9. Escenario 1**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 9. Escenario 2.

#### **Anexo 10. Escenario 3**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 10. Escenario 3.

#### **Anexo 11. Escenario 4**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 11. Escenario 4.

#### **Anexo 12. Escenario 5**

Excel adjunto “Anexos”, pestaña Anexo 12. Escenario 5.

#### **Anexo 13. Red bayesiana**

Archivo adjunto “Red bayesiana.xbn”.

**Anexo 14. Escenario 1**

Archivo adjunto “Escenario 1.xbn”.

**Anexo 15. Escenario 2**

Archivo adjunto “Escenario 2.xbn”.

**Anexo 16. Validación 1**

Archivo adjunto “Validación 1.xbn”.

**Anexo 17. Validación 2**

Archivo adjunto “Validación 2.xbn”.