



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Análisis de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú

Presentado por

Julca Varas, Carlos Antonio

Para la obtención del

Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil

Curso: 2021/2022

Fecha: marzo 2022

Tutor: García Segura, Tatiana

Cotutor: Montalbán Domingo, Laura

Dedicatoria:

A mis padres y hermanas por su apoyo incondicional en todo momento, y por ser las personas que me motivan a seguir mis objetivos.

Agradecimiento:

A mis directoras de TFM: Tatiana García Segura y Laura Montalbán Domingo, por su compromiso y valioso tiempo dedicado en esta investigación.

A mis amigos del máster por los maravillosos momentos compartidos dentro y fuera de las aulas.

A los profesores del MAPGIC por los valiosos conocimientos y experiencias compartidas.

RESUMEN

El presente trabajo fin de máster analiza los riesgos que provocan retraso y sobrecoste durante la fase de ejecución de obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú. Para ello se partió de una revisión de literatura en la cual se identificaron 74 riesgos de retraso y sobrecoste en proyectos de construcción alrededor del mundo. Teniendo como base estos riesgos, se llevó a cabo una revisión de documentos modificatorios de obra. Se encontró que 20 de los riesgos recogidos en la revisión de la literatura se encuentran presentes en las obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú; además, se identificaron 7 nuevos riesgos que son propios de este tipo de obras y del contexto peruano. Luego, mediante el análisis y realización de una matriz de probabilidad e impacto, se seleccionaron 9 riesgos como los más significativos tanto para retraso como sobrecoste. A partir de una muestra de 318 contratos finalizados y la definición de 128 variables de estudio, se realizaron varios análisis estadísticos: (1) chi-cuadrado, que sirvió para determinar el grado de asociación entre el retraso y sobrecoste de cada uno de los riesgos; (2) regresión logística binaria, que permitió identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos, además de aquellas características que influyen en la ocurrencia de los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste; (3) regresión lineal múltiple, que determinó las características de contratación que influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste de los contratos. Todos estos análisis sirvieron para encontrar las características de contratación y sus categorías que presentan diferencias significativas en la ocurrencia de los riesgos más importantes. Con ello, se propusieron directrices para la simulación del retraso y sobrecoste de las obras según escenarios de contratación. Los resultados permitieron conocer que los riesgos de “problemas de disponibilidad de terrenos”, “aprobación de documentos de modificaciones de obra” y “rediseño debido a cambios en el diseño técnico original”, son riesgos graves tanto para el tiempo como para el coste. Del mismo modo se identificó que el monto contractual inicial, es la variable más influyente en la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste en los contratos, siendo que a mayor monto mayor es la probabilidad de ocurrencia y magnitud. Estos resultados ayudarán a las administraciones de Perú a conocer los riesgos más significativos según las características de contratación y, por tanto, permitirán tomar decisiones y mejorar el rendimiento en tiempo y coste. Finalmente, la simulación por escenarios de contratación a partir de los riesgos más importantes permite prever el nivel de contingencia tanto para el tiempo y coste, además de identificar los riesgos más influyentes en el retraso y sobrecoste.

ABSTRACT

The present Master's thesis analyses the risks that cause delays and cost overruns during the construction phase of Drinking Water Supply and Sewerage projects in Peru. A literature review was carried out to identify 74 risks of delay and cost overruns in constructions projects around the world. Based on this information, a review of governmental documental, containing reasons to delay a project, was conducted. This research found that 20 of the collected risks in the literature review are present in those projects in Peru; in addition, 7 new risks were identified. These new risks are typically related to the type of projects and to the Peruvian cultural context. Afterwards, by analysing and carrying out a Probability and Impact Matrix, 9 risks were selected as the most significant for both, the delay and the cost overrun. From a sample of 318 completed projects and the identification of 128 variables, several statistical analyses were carried out: (1) Chi-Squared, which aims to determine the degree of association between the delay and de cost overrun of each risk; (2) a Binary and Logistic Regression, which made it possible to identify the contracting characteristics that significantly influence the occurrence of the most important risks of delay and cost overruns; (3) Multiple Linear Regression, which aims to identify the contracting characteristics that significantly influence the magnitude of the delay and the cost overruns of each project contract. All of the analysis were aimed to identify the contracting characteristics and their categories that significantly present differences in the occurrence of the most important risks. To summarise, guidelines were proposed for the simulations of the delays and cost overruns of the projects according to contracting scenarios. The result revealed that the risks of “Land availability problems”, “Approval of modification during the construction phase of projects”, and “Re-designing due to changes in the original project design” are the most serious for both, time and cost. In the same way, it was identified that the initial project budget of the contract is the most influential variable in the occurrence and magnitude of the delay and cost overruns, what is more, from there, it is concluded that, the higher the amount of the contract, the greater the probability of occurrence and magnitude. These results will help the governmental administration in Peru to know and understand the most significant risks according to each of the contracting characteristics. Thus, will allow them to make decisions improving performance in time and cost for this type of projects. Finally, the simulation by contracting scenarios based on the most important risks allows forecasting the level of contingency for both, time and cost, in addition, it helps to identity the most influential risks in delay and cost overruns.

RESUM

El present treball fi de màster analitza els riscos que provoquen retard i sobrecost durant la fase d'execució d'obres de subministrament d'aigua potable i sanejament al Perú. Per a això es va partir d'una revisió de literatura en la qual es van identificar 74 riscos de retard i sobrecost en projectes de construcció al voltant del món. Tenint com a base aquests riscos, es va dur a terme una revisió de documents modificatoris d'obra. Es va trobar que 20 dels riscos recollits en la revisió de la literatura es troben presents en les obres de subministrament d'aigua potable i sanejament al Perú; a més, es van identificar 7 nous riscos que són propis d'aquesta mena d'obres i del context peruà. Després, mitjançant l'anàlisi i realització d'una matriu de probabilitat i impacte, es van seleccionar 9 riscos com els més significatius tant per a retard com sobrecost. A partir d'una mostra de 318 contractes finalitzats i la definició de 128 variables d'estudi, es van realitzar diverses anàlisis estadístiques: (1) *chi-quadrat, que va servir per a determinar el grau d'associació entre el retard i sobrecost de cadascun dels riscos; (2) regressió logística binària, que va permetre identificar les característiques de contractació que influeixen significativament en l'ocurrència de retard i sobrecost en els contractes, a més d'aquelles característiques que influeixen en l'ocurrència dels riscos més importants de retard i sobrecost; (3) regressió lineal múltiple, que va determinar les característiques de contractació que influeixen significativament en la magnitud de retard i sobrecost dels contractes. Totes aquestes anàlisis van servir per a trobar les característiques de contractació i les seues categories que presenten diferències significatives en l'ocurrència dels riscos més importants. Amb això, es van proposar directrius per a la simulació del retard i sobrecost de les obres segons escenaris de contractació. Els resultats van permetre conèixer que els riscos de “problemes de disponibilitat de terrenys”, “aprovació de documents de modificacions d'obra” i “redissenye a causa de canvis en el disseny tècnic original”, són riscos greus tant per al temps com per al cost. De la mateixa manera es va identificar que la suma contractual inicial, és la variable més influent en l'ocurrència i magnitud de retard i sobrecost en els contractes, sent que a major suma major és la probabilitat d'ocurrència i magnitud. Aquests resultats ajudaran les administracions del Perú a conèixer els riscos més significatius segons les característiques de contractació i, per tant, permetran prendre decisions i millorar el rendiment en temps i cost. Finalment, la simulació per escenaris de contractació a partir dels riscos més importants permet preveure el nivell de contingència tant per al temps i cost, a més d'identificar els riscos més influents en el retard i sobrecost.

RESUMEN EJECUTIVO

Título: Análisis de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú

Autor: Carlos Antonio Julca Varas

Planteamiento del problema: Los retrasos y sobrecostes en proyectos de construcción se han vuelto un problema común alrededor del mundo. Perú no es la excepción, específicamente en las obras de suministro de agua potable y saneamiento, siendo que en situaciones extremas provocan la paralización de este tipo de obras, ocasionando perjuicio en la población al no poder acceder de manera oportuna a estos servicios.

Objetivos:

- Identificar riesgos de retraso y sobrecoste en la ejecución de obras a partir de la revisión de la literatura.
- Analizar riesgos que provocan retraso y sobrecoste y su impacto, durante la fase de ejecución en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.
- Identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento.
- Identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.
- Proponer directrices para la simulación de retrasos y sobrecostes en base a escenarios de contratación a partir de los riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento.

Estructura organizativa: **Capítulo 1. Introducción:** se presenta una breve introducción a la investigación, además recoge el planteamiento del problema, justificación de la investigación, objetivo general y específicos, preguntas de investigación y el alcance de la investigación.

Capítulo 2. Contexto de la investigación: se expone la situación actual de la construcción, organización del sector saneamiento, nivel de ejecución de la inversión pública en los últimos años, y marco normativo que regula la contratación de obra pública, todo esto en el contexto peruano.

Capítulo 3. Marco teórico: se describen los conceptos generales de la investigación, las fases de la gestión de riesgos, el estado del arte de los riesgos de retraso y sobrecoste en proyectos de construcción a nivel mundial, y los principales riesgos identificados de la literatura.

Capítulo 4. Metodología de la investigación: se detalla el esquema de investigación utilizado para el estudio, recolección y preparación de la información, priorización de riesgos, análisis estadísticos y simulación de retrasos y sobrecostes en contratos.

Capítulo 5. Resultados y discusiones: se detallan los resultados más relevantes de la investigación, interpretando y discutiendo en base a la literatura revisada.

Capítulo 6. Conclusiones: se presenta las conclusiones más relevantes en cumplimiento de cada uno de los objetivos, la contribución de la investigación, recomendaciones prácticas, limitaciones y futuras líneas de investigación.

Capítulo 7. Referencias bibliográficas: contiene las referencias bibliográficas utilizadas para la realización de la investigación.

Capítulo 8. Anexos: contiene tablas que sustentan resultados contemplados en el capítulo 5, además de la relación del TFM con Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Método:

Como primer paso, se identificaron los riesgos de retraso y sobrecoste presentes en la literatura alrededor del mundo. Teniendo como base estos riesgos, se identificaron los riesgos presentes en las obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú. Luego, se determinaron los riesgos más importantes a través de una matriz de probabilidad e impacto. Posteriormente, por métodos estadísticos como el chi-cuadrado se determinó la asociación entre el retraso y sobrecoste de cada uno de los riesgos, la regresión logística binaria permitió identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos, además de aquellas características que influyen en la ocurrencia de los riesgos, y mediante la regresión lineal múltiple se determinaron las características de contratación que influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste de los contratos. Finalmente, se realiza una

	simulación del retraso y sobrecoste de las obras según escenarios de contratación.
Cumplimiento de objetivos:	Mediante el esquema de investigación planteado se logró los objetivos planteados, identificando los principales riesgos de retraso y sobrecoste presentes en la literatura, identificando los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú, luego determinando las características de contratación que influyen significativamente la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste de los contratos, e influyen en la ocurrencia de cada uno de los riesgos más importantes. Finalmente proponiendo directrices para la simulación de retrasos y sobrecostes en las obras en base a escenarios de contratación.
Contribuciones:	La investigación contribuyó principalmente a identificar los riesgos de retraso y sobrecoste más importantes en obras de suministro de agua potable y saneamiento, además de las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos, y en cada uno de los riesgos más importantes. Adicionalmente presenta directrices para la simulación del retraso y sobrecoste de las obras por escenarios de contratación, lo cual representa una herramienta muy útil para las administraciones públicas en la toma de decisiones sobre la gestión de los riesgos, y en busca de un mejor rendimiento en tiempo y coste.
Recomendaciones:	A partir de los descubrimientos de la investigación se formuló recomendaciones como propuestas de mejora en la ejecución de obras públicas, referidas a la gestión de los riesgos de retraso y sobrecoste más importantes.
Limitaciones:	La limitación principal de la investigación fue que los riesgos de retraso y sobrecoste identificados únicamente corresponden a los que no son de responsabilidad del contratista, dado que la investigación se basó en documentos modificatorios de obra, las cuales son procedentes siempre y cuando el contratista no tenga responsabilidad alguna. Otra limitación está asociado al tipo de promotor, debido a que la investigación se centró en administraciones nacional, regional y provincial. Adicionalmente se limitó a encontrar la relación entre las características de contratación y los riesgos, más no en la justificación fehaciente del porqué de dicha relación.

Índice de contenidos

1. Introducción.....	18
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Justificación de la investigación	21
1.3. Objetivo General	22
1.3.1. Objetivos específicos	22
1.4. Preguntas de investigación.....	22
1.5. Alcance.....	23
2. Contexto de la investigación	24
2.1. La construcción en Perú.....	24
2.2. Sector saneamiento en Perú	26
2.3. Ejecución de obra pública en Perú.....	30
2.3.1. Nivel de ejecución de obra pública y sector saneamiento	30
2.3.2. Marco normativo de ejecución de obra pública	33
2.3.3. Ciclo de inversión pública en Perú	37
2.3.4. Gestión de riesgos en el proceso de ejecución de obras públicas en Perú	38
3. Marco teórico	39
3.1. Conceptos generales de la investigación.....	39
3.2. Gestión de riesgos de proyectos.....	41
3.3. Riesgos de retraso y sobrecoste en el sector de la construcción	42
3.3.1. Principales riesgos de retraso y sobrecoste en la construcción presentes en la literatura	49
4. Metodología de la investigación	54
4.1. Identificación de riesgos de retrasos y sobrecostes en literatura	57
4.2. Identificación de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento.....	58
4.2.1. Definición de la población y la muestra de estudio	58
4.2.2. Definición de variables de investigación	59
4.2.3. Caracterización de la muestra de estudio.....	66
4.3. Priorización de riesgos	67
4.4. Análisis estadístico.....	69

4.5.	Simulación: análisis de riesgos en base a escenarios de contratación	74
5.	Resultados y discusiones	75
5.1.	Estructura de desglose de riesgos de retraso y sobrecoste presentes en literatura.....	75
5.2.	Descripción de la muestra	78
5.3.	Principales riesgos de retraso y sobrecoste en la muestra.....	85
5.4.	Probabilidad e impacto de riesgos de retraso y sobrecoste identificados	88
5.5.	Respuesta a preguntas de investigación	94
5.5.1.	P1: ¿Cuáles son los riesgos más importantes que se presentan en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?.....	94
5.5.2.	P2: ¿Existe asociación entre el retraso y sobrecoste para cada riesgo en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?.....	103
5.5.3.	P3: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?.....	105
5.5.4.	P4: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?	108
5.5.5.	P5: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?.....	123
5.6.	Simulación: análisis de riesgos en base a escenarios de contratación	126
6.	Conclusiones.....	161
6.1.	Cumplimiento de los objetivos	161
6.2.	Contribuciones de la investigación	165
6.3.	Recomendaciones.....	166
6.4.	Limitaciones.....	166
6.5.	Futuras líneas de investigación	167
7.	Referencias bibliográficas.....	168
8.	Anexos.....	175
	Anexo 1. Test de normalidad de variables de estudio	175
	Anexo 2. Matriz de correlaciones.....	177
	Anexo 3. Tablas de contingencia de riesgos.....	178
	Anexo 4. Anexo ODS al trabajo de fin de máster	186

Índice de tablas

Tabla 1.	Funciones de actores involucrados en el sector Saneamiento en Perú	27
Tabla 2.	Riesgos de retraso y/o sobrecoste presente en la literatura	49
Tabla 3.	Variables de características de la contratación	59
Tabla 4.	Variables de riesgos de retraso.....	61
Tabla 5.	Variables de riesgos de sobrecoste.....	62
Tabla 6.	Impacto de riesgos de retraso (porcentaje)	63
Tabla 7.	Impacto de riesgos de sobrecoste (porcentaje)	64
Tabla 8.	Retraso imputable al contratista.....	65
Tabla 9.	Interpretación de los coeficientes de correlación.....	67
Tabla 10.	Ejemplos de categorías de riesgos de retraso y sobrecoste utilizadas en literatura ...	75
Tabla 11.	Estructura de desglose de riesgos presentes en literatura	76
Tabla 12.	Correlaciones identificadas de variables características de contratación.....	84
Tabla 13.	Listado final de variables de características de contratación	85
Tabla 14.	Estructura de desglose de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento	85
Tabla 15.	Datos de probabilidad e impacto de riesgos de retraso y sobrecoste	89
Tabla 16.	Tabla de priorización de riesgos	95
Tabla 17.	Clasificación de riesgos de retraso y sobrecoste	99
Tabla 18.	Riesgos más importantes en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú	100
Tabla 19.	Asociación entre riesgos de retraso y sobrecoste: R-2, R-3, R-4, R-5, R-6, R-8, R-9 y R-10.....	103
Tabla 20.	Asociación entre riesgos de retraso y sobrecoste: R-11, R-13, R-15, R-19, R-23, R-26 y R-27.....	103
Tabla 21.	Grado de asociación entre retraso y sobrecoste de los riesgos	104
Tabla 22.	Variables independientes y sus categorías definidas para la regresión logística	105
Tabla 23.	Regresión logística binaria de las características de contratación y retraso en contratos.....	106
Tabla 24.	Regresión logística binaria de las características de contratación y sobrecoste en contratos.....	106

Tabla 25.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-2: “Problemas de disponibilidad de terrenos”	108
Tabla 26.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-3: “Cambios en el alcance del proyecto”	109
Tabla 27.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-4: “Aprobación de documentos de modificaciones de obra”	110
Tabla 28.	Reagrupación de la variable año de inicio de obra según modificaciones del reglamento.....	110
Tabla 29.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-6: “Silencio administrativo ante solicitudes del constructor”	111
Tabla 30.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-8: “Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original”	111
Tabla 31.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-9: “Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño”	112
Tabla 32.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-10: “Estudio de suelos defectuoso”	113
Tabla 33.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-11: “Errores y discrepancias en los documentos de diseño”	114
Tabla 34.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-13: “Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar”	115
Tabla 35.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-23: “Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)”	116
Tabla 36.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-26: “Condiciones imprevistas en el lugar de la obra”	116
Tabla 37.	Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-27: “Estado de emergencia covid”	117
Tabla 38.	Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-2, R-3 y R-4.....	118
Tabla 39.	Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-6, R-8 y R-9.....	118
Tabla 40.	Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-10, R-11 y R-13.....	119
Tabla 41.	Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-23, R-26 y R-27.....	120
Tabla 42.	Variables independientes para análisis de regresión lineal múltiple.....	123

Tabla 43.	Regresión lineal múltiple de las características de contratación y magnitud de retraso.....	124
Tabla 44.	Regresión lineal múltiple de las características de contratación y magnitud de sobrecoste.....	124
Tabla 45.	Probabilidad de RR_2: Problemas de disponibilidad de terreno	126
Tabla 46.	Probabilidad de RR_4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra.....	126
Tabla 47.	Probabilidad de RR_6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	126
Tabla 48.	Probabilidad de RR_8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original ..	127
Tabla 49.	Probabilidad de RR_23: Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos).....	127
Tabla 50.	Probabilidad de RR_27: Estado de emergencia covid.....	127
Tabla 51.	Función de distribución de impacto de riesgos de retraso	128
Tabla 52.	Probabilidad de RS_2: Problemas de disponibilidad de terreno.....	128
Tabla 53.	Probabilidad de RS_3: Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales).....	128
Tabla 54.	Probabilidad de RS_4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra	128
Tabla 55.	Probabilidad de RS_8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original ..	128
Tabla 56.	Probabilidad de RS_9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño....	129
Tabla 57.	Probabilidad de RS_10: Estudio de suelos defectuoso	129
Tabla 58.	Probabilidad de RS_11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño	129
Tabla 59.	Probabilidad de RS_13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	129
Tabla 60.	Función de distribución de impacto de riesgos de sobrecoste	129
Tabla 61.	Contratos con características de contratación según escenario 1R.....	130
Tabla 62.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 1R.....	130
Tabla 63.	Estadísticos más importantes del escenario 1R.....	131
Tabla 64.	Contratos con características de contratación según escenario 2R.....	132
Tabla 65.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 2R.....	132
Tabla 66.	Estadísticos más importantes del escenario 2R.....	133
Tabla 67.	Contratos con características de contratación según escenario 3R.....	134
Tabla 68.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 3R.....	134
Tabla 69.	Estadísticos más importantes del escenario 3R.....	135

Tabla 70.	Contratos con características de contratación según escenario 4R	136
Tabla 71.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 4R.....	136
Tabla 72.	Estadísticos más importantes del escenario 4R.....	137
Tabla 73.	Contratos con características de contratación según escenario 5R	138
Tabla 74.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 5R.....	139
Tabla 75.	Estadísticos más importantes del escenario 5R.....	140
Tabla 76.	Contratos con características de contratación según escenario 6R	141
Tabla 77.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 6R.....	141
Tabla 78.	Estadísticos más importantes del escenario 6R.....	142
Tabla 79.	Contratos con características de contratación según escenario 7R	143
Tabla 80.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 7R.....	143
Tabla 81.	Estadísticos más importantes del escenario 7R.....	144
Tabla 82.	Contratos con características de contratación según escenario 1S	145
Tabla 83.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobre coste según escenario 1S	145
Tabla 84.	Estadísticos más importantes del escenario 1S	146
Tabla 85.	Contratos con características de contratación según escenario 2S	147
Tabla 86.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobre coste según escenario 2S	147
Tabla 87.	Estadísticos más importantes del escenario 2S	148
Tabla 88.	Contratos con características de contratación según escenario 3S	149
Tabla 89.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobre coste según escenario 3S	149
Tabla 90.	Estadísticos más importantes del escenario 3S	150
Tabla 91.	Contratos con características de contratación según escenario 4S	151
Tabla 92.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobre coste según escenario 4S	151
Tabla 93.	Estadísticos más importantes del escenario 4S	152
Tabla 94.	Contratos con características de contratación según escenario 5S	153
Tabla 95.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobre coste según escenario 5S	154
Tabla 96.	Estadísticos más importantes del escenario 5S	154
Tabla 97.	Contratos con características de contratación según escenario 6S	156
Tabla 98.	Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobre coste según escenario 6S	156
Tabla 99.	Estadísticos más importantes del escenario 6S	157
Tabla 100.	Resumen de simulación del retraso para distintos escenarios.....	158

Tabla 101. Resumen de simulación del sobre coste para distintos escenarios.....	159
Tabla 102. Test de normalidad Kolmogorov - Smirnov	175
Tabla 103. Matriz de correlación de Spearman de variables de contratación.....	177
Tabla 104. Tabla de contingencia del riesgo R-2_Problemas de disponibilidad de terrenos	178
Tabla 105. Tabla de contingencia del riesgo R-3_Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	178
Tabla 106. Tabla de contingencia del riesgo R-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra.....	179
Tabla 107. Tabla de contingencia del riesgo R-5_Absolución de consultas de obra.....	179
Tabla 108. Tabla de contingencia del riesgo R-6_Silencio administrativo ante solicitudes del constructor.....	180
Tabla 109. Tabla de contingencia del riesgo R-8_ Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	180
Tabla 110. Tabla de contingencia del riesgo R-9_ Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	181
Tabla 111. Tabla de contingencia del riesgo R-10_ Estudio de suelos defectuoso	181
Tabla 112. Tabla de contingencia del riesgo R-11_ Errores y discrepancias en los documentos de diseño	182
Tabla 113. Tabla de contingencia del riesgo R-13_ Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	182
Tabla 114. Tabla de contingencia del riesgo R-15_ Reclamos por usuarios directos del proyecto.....	183
Tabla 115. Tabla de contingencia del riesgo R-19_ Permisos gubernamentales.....	183
Tabla 116. Tabla de contingencia del riesgo R-23_ Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	184
Tabla 117. Tabla de contingencia del riesgo R-26_ Condiciones imprevistas del lugar de la obra.....	184
Tabla 118. Tabla de contingencia del riesgo R-27_ Estado de emergencia covid.....	185

Índice de figuras

Figura 1.	Variación porcentual del PBI del sector construcción	25
Figura 2.	Número de trabajadores directos e indirectos en la construcción 2015-2019.....	25
Figura 3.	Porcentaje de población con acceso al servicio de agua potable, según área de residencia 2017-2020	28
Figura 4.	Porcentaje de población con acceso al servicio de alcantarillado o disposición sanitaria de excretas, según área de residencia 2017-2020	29
Figura 5.	Distribución de obras de infraestructura que se encontraban en ejecución al 15 de marzo del 2020.....	29
Figura 6.	Ejecución de presupuesto de inversión pública 2014-2020	30
Figura 7.	Ejecución de presupuesto de inversión pública 2014-2020 por nivel de gobierno....	30
Figura 8.	Variación porcentual de la inversión pública en el periodo 2013-2023	31
Figura 9.	Evolución de nivel de ejecución de inversiones en sector saneamiento	32
Figura 10.	Evolución de nivel de ejecución de inversiones en saneamiento por nivel de gobierno	32
Figura 11.	Ciclo de inversión de proyectos de inversión pública.....	38
Figura 12.	Procesos de gestión de riesgos en obras de construcción en Perú	39
Figura 13.	Esquema de metodología de la investigación	56
Figura 14.	Relación entre variables de acuerdo con las preguntas de investigación 2 - 5	70
Figura 15.	Casos que presentan retraso y/o sobrecoste	78
Figura 16.	Casos con retraso imputable o no imputable al contratista	79
Figura 17.	Casos según estrategia de pago	79
Figura 18.	Casos por promotor	79
Figura 19.	Casos por actuación	80
Figura 20.	Casos por región geográfica.....	80
Figura 21.	Casos por ámbito de ejecución.....	81
Figura 22.	Casos por naturaleza de intervención.....	81
Figura 23.	Casos por monto contractual (euros)	81
Figura 24.	Casos por desfase de tiempo entre proyecto y obra	82
Figura 25.	Casos por coeficiente de adjudicación	82
Figura 26.	Casos por departamentos	83
Figura 27.	Probabilidad e impacto de riesgos de retraso.....	90
Figura 28.	Probabilidad e impacto de riesgos de sobrecoste.....	91

Figura 29. Contribución de subcategorías a ocurrencia de riesgos de retraso.....	92
Figura 30. Contribución de subcategorías a ocurrencia de riesgos de sobrecoste.....	92
Figura 31. Índice de importancia del impacto en el tiempo	96
Figura 32. Índice de importancia del impacto en el coste	96
Figura 33. Matriz de Probabilidad e Impacto de riesgos de retraso y sobrecoste	98
Figura 34. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 1R	131
Figura 35. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 1R	131
Figura 36. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 2R	133
Figura 37. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 2R	133
Figura 38. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 3R	135
Figura 39. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 3R	135
Figura 40. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 4R	137
Figura 41. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 4R	137
Figura 42. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 5R	139
Figura 43. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 5R	140
Figura 44. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 6R	142
Figura 45. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 6R	142
Figura 46. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 7R	144
Figura 47. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 7R	144
Figura 48. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 1S	146
Figura 49. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 1S	146
Figura 50. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 2S	148
Figura 51. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 2S	148
Figura 52. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 3S	150
Figura 53. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 3S	150
Figura 54. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 4S	152
Figura 55. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 4S	152
Figura 56. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 5S	154
Figura 57. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 5S	155
Figura 58. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 6S	156
Figura 59. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 6S	157

1. Introducción

Un proyecto es considerado exitoso cuando ha logrado su rendimiento técnico, ha cumplido con su plazo y se ha mantenido dentro de los costes presupuestados (Frimpong et al., 2003). Sin embargo, en todo el mundo muchos estudios han demostrado que los retrasos y sobrecostes son un problema común en el sector de la construcción (Ismail et al., 2013), tanto en países desarrollados como en aquellos que se encuentran en vías de desarrollo (Heravi & Mohammadian, 2017).

Todo proyecto de construcción lleva asociado riesgos inherentes que pueden tener consecuencias en el éxito del proyecto (Hamzaoui et al., 2015; Renuka & Umarani, 2019). La identificación y comunicación temprana de los riesgos a lo largo de la fase de construcción permite a los equipos del proyecto gestionar y minimizar los retrasos y sobrecostes, al tiempo que se incrementa la satisfacción del cliente (Perrenoud et al., 2016).

Existe una gran preocupación por los retrasos y sobrecostes en el sector de la construcción, sobre todo en los proyectos públicos ya que la mayoría se ejecutan con dinero de los contribuyentes; a nivel mundial, se debate mucho sobre cómo minimizar los retrasos y sobrecostes en este tipo de proyectos (Apolot et al., 2011). Además se debe tener en cuenta que el dinero que se gasta en modificaciones a los proyectos se traduce en un aumento del tiempo de construcción, lo que a su vez reduce el número y tamaño de los proyectos que pueden completarse durante un ejercicio fiscal determinado (Al-Hazim & Abusalem, 2015).

El sector de la construcción es una industria muy importante en el desarrollo económico de un país (Ismail et al., 2013), y Perú no es la excepción, dado que la actividad de la construcción representa el 6% del PBI nacional (Project Management Institute-Perú, 2020), donde el sector saneamiento a nivel de presupuesto público asignado y ejecutado se encuentra ubicado en el tercer lugar, luego de los sectores de Transporte y Educación (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

Perú es un país donde el 8,8% de la población carece de acceso al servicio de agua potable y el 23,2% al servicio de alcantarillado y/o disposición sanitaria de excretas, sumado a esto en los últimos 7 años el nivel de ejecución de este sector fue en promedio 61% del presupuesto asignado (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a), todo esto evidencia una demanda de inversión eficiente en este tipo de infraestructuras.

Por tanto, es importante realizar investigaciones que permitan analizar los riesgos que vienen provocando retrasos y sobrecostes en este tipo de contratos, a fin de implementar estrategias que permitan mitigar la probabilidad de ocurrencia e impacto, y de esta manera lograr un mayor rendimiento en tiempo y coste. Toda esta mejora se traduce en una mayor cantidad de obras ejecutadas y un acceso oportuno de la población a los servicios de agua potable y saneamiento (Lozano, 2012).

Por todo lo anterior, el trabajo fin de máster se presenta como un estudio de los riesgos que provocan retrasos y sobrecostes en la ejecución de las obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú, a partir de fuente primaria como son los documentos modificatorios de obra los cuales son datos de acceso público a través del portal InfObras.

1.1. Planteamiento del problema

Los proyectos de construcción son actividades complejas en las que intervienen socios con objetivos diferentes y se llevan a cabo en un entorno incierto (Hamzaoui et al., 2015), lleva asociado riesgos inherentes que pueden tener consecuencias en el éxito del proyecto (Hamzaoui et al., 2015; Renuka & Umarani, 2019), siendo la fase de construcción la que más contribuye a los retrasos y sobrecostes en los proyectos de construcción (Ismail et al., 2013). En la construcción, el tiempo y el coste son los parámetros más importantes para medir el rendimiento y el éxito de los proyectos (Isamil, 2014). Muchos estudios han demostrado que los retrasos y sobrecostes son un problema común en el sector de la construcción (Hamzaoui et al., 2015; Ismail et al., 2013).

Los riesgos no identificados y, por lo tanto, no gestionados, son amenazas claramente incontroladas para los objetivos de un proyecto, que pueden dar lugar a sobrecostes significativos (Chapman, 2001), además de retrasos o incluso el fracaso de los proyectos (Derakhshanfar et al., 2019).

En Perú, de acuerdo con un informe de La Contraloría General de la Republica del 2019 existen 867 obras paralizadas por un monto total de inversión aproximado de 3.590 millones de euros¹, de las cuales un 70% de obras corresponden a ejecución por contrata. Según monto contractual de las obras se tiene que el 82,9% de obras paralizadas corresponden a un monto menor a 2,1 millones de euros. Siendo que el sector vivienda, construcción y saneamiento ocupa el tercer lugar con un 15% del total de obras paralizadas. Entre las principales causas que ocasionaron la paralización de las obras se identificaron a deficiencias técnicas e incumplimientos contractuales (39%), arbitraje (28%), limitaciones presupuestales (15%), disponibilidad de terreno (3%) (La Contraloría General de la Republica del Perú, 2019b).

Adicionalmente a las obras paralizadas por causa de arbitraje, se identificó otras 698 obras en arbitraje con un monto contractual total aproximado de 5.577 millones de euros, dentro del cual el sector vivienda, construcción y saneamiento ocupa el segundo lugar con un 9% respecto al monto contractual. Siendo que las principales causas que ocasionaron el arbitraje son: ampliaciones de plazo (26,8%), resolución de contrato (21,8%), penalidades (5,2%), interpretación del contrato (1,7%), fianza (1,6%) y adicionales (1%) (La Contraloría General de la Republica del Perú, 2019b).

Respecto al sector saneamiento en el 2016 en el ámbito urbano, el Programa Nacional de Saneamiento Urbano identificó 121 proyectos paralizados con un presupuesto total de 198,5

¹ Tipo de cambio: 4,70 soles = 1 euro al 15/10/2021

millones de euros, a consecuencia de deficiencias en la elaboración de los proyectos constructivos, problemas en la ejecución de obra, y problemas sociales-climáticos que conllevan la demora o paralización de las obras. Mientras en el ámbito rural, el Programa Nacional de Saneamiento Rural registró 59 obras paralizadas que en conjunto totalizan 34,5 millones de euros, teniendo como causas principales a problemas con el contrato, problemas en la ejecución de la obra y problemas sociales-climáticos. Por su parte las municipalidades presentaron 46 obras paralizadas con un presupuesto total de 46 millones de euros, las que están relacionadas a deficiencias en el diseño del contrato (resolución, suspensión o ampliación), el diseño de los proyectos constructivos y en un menor número por deficiente gestión financiera, problemas climáticos o sociales, problemas en la ejecución de la obra (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017a).

Las inversiones en saneamiento no generan un impacto en la satisfacción de la población, debido a que las inversiones no son eficientes, entre otros, porque los proyectos constructivos no se formulan con criterios comunes, no se utilizan modelos estandarizados, e inconvenientes durante la ejecución (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017a). Por otra parte, los riesgos durante la ejecución de las obras de saneamiento trae como consecuencia retraso en la ejecución, costos adicionales innecesarios, baja calidad de la infraestructura, obras paralizadas, decrecimiento en los niveles de cobertura del servicio de agua potable y saneamiento (La Contraloría General de la Republica del Perú, 2015).

En situaciones extremas, los retrasos y sobrecostos, producto de una mala planificación durante la fase de diseño o por inadecuada gestión durante la ejecución de la obra, pueden ocasionar que las obras queden inconclusas o abandonadas por falta de recursos, y de esta manera causar perjuicios notables a la población expresados en los efectos propios de no disponer y disfrutar de ellos oportunamente (Lozano, 2012).

En suma, las obras representan el crecimiento y desarrollo económico-social del país, pues deben estar destinados a incrementar la calidad de vida de la sociedad y a la satisfacción de sus necesidades (Lozano, 2012), y con mucha mayor razón si se trata de un servicio básico como es el agua potable y saneamiento, por lo cual se hace necesario estudiar los riesgos que vienen provocando retrasos y sobrecostos en este tipo proyectos.

1.2. Justificación de la investigación

En Perú para el año 2016, se tenía una cobertura de agua potable de 94,5% en el ámbito urbano y 71,2% en rural, y respecto a alcantarillado y/o disposición sanitaria de excretas un 88,3% en ámbito urbano y 24,6% en rural. La meta establecida para el año 2021, fue alcanzar una cobertura de 100% en los servicios de agua potable y alcantarillado en el ámbito urbano. Asimismo, una cobertura de 84,6% en acceso a los servicios de agua potable y 70% en servicios de alcantarillado y/o disposición sanitaria de excretas en el ámbito rural (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017a).

Para el logro de la meta establecida al 2021, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento como ente rector en materia de saneamiento, realiza año a año un seguimiento del avance, y en su último informe reporta que al año 2020 se tenía un logro esperado de 98,1% de cobertura de agua potable en ámbito urbano y 81,2% en rural, y en alcantarillado y/o disposición sanitaria de excretas un 96,5% en urbano y 58,0% en rural, sin embargo las cifras obtenidas son de 94,8% de agua potable en urbano y 77,6% en rural, y lo que respecta a saneamiento un 89,2% en urbano y 30,2% en rural (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021b). Haciendo notar un déficit en el cumplimiento de cierre de brechas de cobertura de estos servicios básicos. La brecha existente en estos servicios equivale a 2,9 millones de personas sin acceso a agua potable (8.8% de la población) y 7,5 millones de personas sin acceso al servicio de alcantarillado o disposición sanitaria de excretas (23.2% de la población) (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

La sociedad precisa de un sector público eficiente capaz de dar respuestas satisfactorias a las demandas de infraestructura, pues es un factor fundamental que contribuye a que una región sea competitiva, para ello, es necesario analizar la forma en que se gestiona la ejecución de una obra pública, de modo que se asegure que estas inversiones sean adecuadamente manejadas (Lozano, 2012).

El total de presupuesto público destinado al sector saneamiento, entre los años 2014 y 2020 asciende a 8,5 mil millones de euros, sin embargo, el nivel de ejecución para el gobierno nacional fue de 67,8% del presupuesto acumulado, mientras que los gobiernos regionales y gobiernos locales ejecutaron el 67,2% y el 58,9% respectivamente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a), haciendo notar que existen deficiencias para ejecutar la totalidad del presupuesto asignado. Además hay que tener en cuenta que no es suficiente con tener cuantiosas inversiones en obras públicas, si su ejecución no va acompañada de criterios de eficiencia y productividad que incidan en una disminución de los costes de ejecución de estas (Lozano, 2012).

Las brechas de acceso y calidad de los servicios de saneamiento evidencian la inequidad entre los ámbitos urbano y rural, así como la inequidad existente al interior de cada ámbito, siendo el caso que la población más pobre resulta ser la más afectada. En ese sentido, asegurar el acceso a servicios sostenibles resulta una condición ineludible para reducir la

inequidad social, aliviar la pobreza en el país y cumplir las metas de los objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, en su Objetivo N°6 “Agua limpia y segura”, y un factor crítico de éxito para alcanzar coberturas universales es garantizar inversiones eficientes en el sector (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017b)

Por todo lo anterior, se hace notar la importancia de llevar a cabo una investigación que estudie los riesgos que provocan retrasos y sobrecostos en contratos de obras públicas de agua potable y saneamiento, pues esto permitirá adoptar estrategias que permitan minimizar los retrasos y sobrecostos que afectan a las obras públicas que en muchos casos ocasiona la paralización de obra, y todo esto termina afectando a la población que tanto necesita de este tipo de infraestructura como es el servicio básico de agua potable y saneamiento.

1.3. Objetivo General

Analizar los principales riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.

1.3.1. Objetivos específicos

Con el fin de cumplir con el objetivo general, se propone los siguientes objetivos específicos:

- Identificar riesgos de retraso y sobrecoste en la ejecución de obras a partir de la revisión de la literatura.
- Analizar riesgos que provocan retraso y sobrecoste y su impacto, durante la fase de ejecución en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.
- Identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento.
- Identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.
- Proponer directrices para la simulación de retrasos y sobrecostos en base a escenarios de contratación a partir de los riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento.

1.4. Preguntas de investigación

De acuerdo con los objetivos específicos anteriormente propuestos, se formula las siguientes preguntas de investigación que ayudarán a obtener los cuatro primeros objetivos planteados:

- ¿Cuáles son los riesgos más importantes que se presentan en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?
- ¿Existe asociación entre el retraso y sobrecoste para cada riesgo en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

- ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?
- ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?
- ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

1.5. Alcance

El trabajo fin de máster se limita a la fase de ejecución de obras de promoción pública de suministro de agua potable y saneamiento en Perú registradas en el portal web de InfObras en el periodo 2010 - 2021, con estrategia de contratación Proyecto-Licitación-Obra, modalidad de ejecución por contrata, y que tienen como promotor administración nacional, regional y provincial.

2. Contexto de la investigación

La investigación se centra en la República del Perú el cual se encuentra ubicado en la parte Oeste de Sudamérica, limitando con Ecuador, Colombia, Brasil, Bolivia, Chile y el Océano Pacífico. Se ubica en una zona geográfica que por su latitud es tropical, entre los 0° y 18° Sur, con una superficie de 1.285.216 km², ocupando el puesto número 21 a nivel mundial en extensión territorial (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2015), al año 2021 cuenta con una población de 33.035.300 de habitantes (INEI, 2021).

La economía peruana se caracteriza por ser estable, con un comportamiento positivo en los últimos años, en el año 2019 obtuvo un PBI de 162,2 mil millones de euros; sin embargo en el 2020 como consecuencia de las medidas tomadas para combatir la pandemia de la covid-19 disminuyó a 150,2 mil de millones de euros (INEI, 2021).

2.1. La construcción en Perú

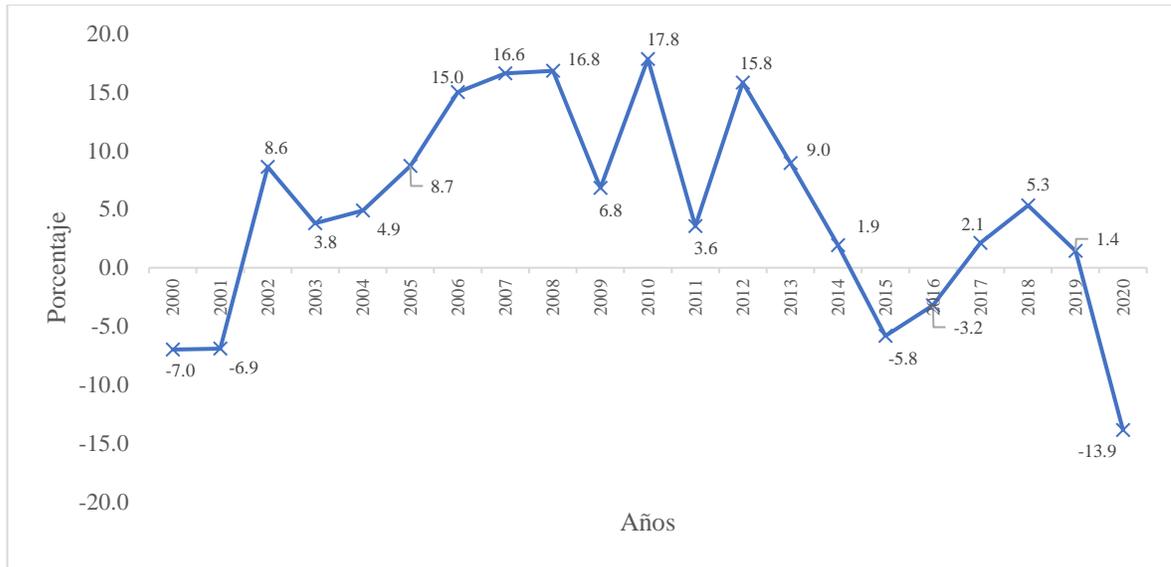
En Perú el sector de la construcción representa aproximadamente el 6% del PBI y existen alrededor de 23.700 empresas constructoras (Project Management Institute-Perú, 2020). Por lo que el sector construcción es uno de los principales factores del crecimiento económico del país (CAPECO, 2020).

El sector de la construcción se viene recuperando después de la fuerte caída por la pandemia, a pesar de la incertidumbre política y su impacto negativo sobre las expectativas acerca del futuro de la economía, la evolución del PBI muestra un incremento continuo desde junio de 2021, respecto a los niveles del 2019. Uno de los sectores con mayor dinamismo fue el de construcción (Banco Central de Reserva del Perú, 2021b).

La actividad del sector construcción en el tercer trimestre de 2021 aumentó 18,3 % respecto al mismo periodo del 2019, debido principalmente a la autoconstrucción y a la continuación de obras públicas y privadas. En términos interanuales, se observó un crecimiento de 23,8%. Durante este periodo, el consumo interno de cemento, principal indicador de la actividad del sector aumentó 19,3% respecto a los niveles de 2019 (16,3% con respecto a 2020). Se espera una contracción en la actividad del sector en el último trimestre por la caída de la inversión pública, con lo que crecería 34,7% en 2021 (Banco Central de Reserva del Perú, 2021b). Para el 2022, se estima que el sector construcción aumente 0,5% y para 2023, se prevé un crecimiento de 2,5%, impulsado por una mayor inversión pública y privada (Banco Central de Reserva del Perú, 2021b).

En la Figura 1, se muestra la variación porcentual del PBI del sector de la construcción en los últimos 20 años, donde sin duda alguna debido a la pandemia en el 2020 se evidenció una fuerte caída del 13,9%.

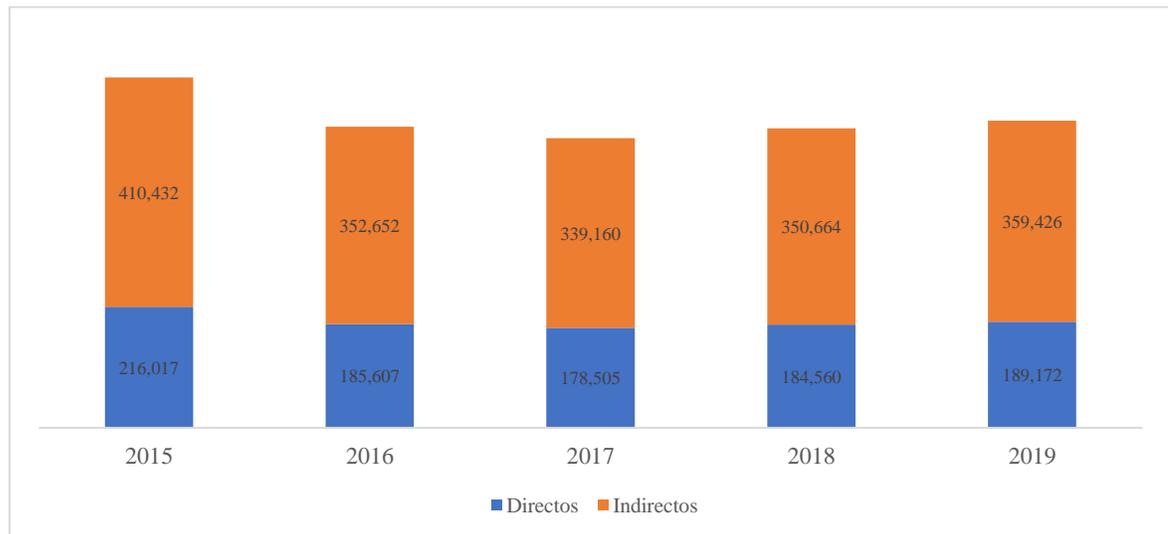
Figura 1. Variación porcentual del PBI del sector construcción



Fuente: (Banco Central de Reserva del Perú, 2021a)

En el año 2019, el sector formal de la construcción brindó empleo a 189 mil trabajadores directos, de los cuales el 63% es personal obrero, además este sector tiene influencia indirecta en el empleo de otros 359 mil trabajadores que laboran en la provisión de materiales y servicios de construcción. Así también presentó un crecimiento de 2,5% en el empleo sectorial respecto al 2018 (CAPECO, 2020).

Figura 2. Número de trabajadores directos e indirectos en la construcción 2015-2019



Fuente: (CAPECO, 2020)

2.2. Sector saneamiento en Perú

El Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento quien es el ente rector en materia de saneamiento, en marzo del 2017 mediante Decreto Supremo N° 007-2017-VIVIENDA, aprueba la Política Nacional de Saneamiento, la cual tiene como objetivo principal “alcanzar el acceso universal, sostenible y de calidad de los servicios de saneamiento”. Para implementar esta política, el mismo ministerio aprobó con Decreto Supremo N°018-2017-VIVIENDA, el Plan Nacional de saneamiento 2017-2021, instrumento que desarrolla el objetivo principal y objetivos específicos de la política.

En Perú los servicios de saneamiento están conformados por los siguientes sistemas y procesos (Decreto Legislativo N° 1280, 2016):

1. Servicio de agua potable: comprende la captación, almacenamiento, conducción, tratamiento, distribución, entrega y medición al usuario mediante cualquier tecnología.
2. Servicio de alcantarillado sanitario: comprende la recolección, impulsión y conducción de aguas residuales hasta el punto de entrega para su tratamiento.
3. Servicio de tratamiento de aguas residuales, comprende los procesos de mejora de la calidad del agua residual proveniente del servicio de alcantarillado mediante procesos físicos, químicos, biológicos u otros, y los componentes necesarios para la disposición final o reúso.
4. Servicio de disposición sanitarias de excretas, que comprende los procesos para la disposición final del agua residual y la disposición sanitaria de excretas a nivel intradomiciliario, con o sin arrastre hidráulico.

Las principales funciones que se desarrollan en materia de saneamiento, y las entidades a cargo de cada una de ellas se presentan en la Tabla 1 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a):

Tabla 1. Funciones de actores involucrados en el sector Saneamiento en Perú

Funciones	Ámbito Urbano	Ámbito Rural
Rectoría	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – MVCS - Dictar normas y lineamientos; así como planificar, financiar, entre otras fuentes, y garantizar la provisión y prestación de los servicios de saneamiento. - Promueve y desarrolla el fortalecimiento de capacidades de los gobiernos regionales y locales, a través de la asistencia y apoyo técnico	
Regulación, supervisión y fiscalización	Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento – SUNASS - Funciones normativa, reguladora, supervisora, fiscalizadora y sancionadora, de solución de controversias y reclamos.	
Fiscalización (aspectos específicos)	- Ministerio de Salud - MINSA (Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA): Vigila la calidad del agua para consumo humano - MVCS (Dirección General de Asuntos Ambientales - DGAA): Supervisa y fiscaliza el cumplimiento de obligaciones ambientales - Ministerio de desarrollo agrario y riesgo (Autoridad Nacional del Agua - ANA): Verifica los estándares de Calidad Ambiental para Agua	
Promoción de la adecuada gestión y Administración	Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento – OTASS - Promueve, planifica y ejecuta la política de Integración, dirige el Régimen de Apoyo Transitorio (RAT) y fortalece las capacidades de los prestadores del ámbito urbano	PNSR/DRVCS/ATM Fortalecimiento, asistencia técnica y monitoreo a los prestadores
Prestación de servicios	Prestadores: - Empresas Prestadoras de servicios de saneamiento - Municipalidades a través de UGM (prestación directa), u operadores especializados (prestación indirecta)	Prestadores: - Municipalidades, a través de UGM (prestación directa) - Organizaciones comunales (JASS y otras – prestación indirecta)
Formulación y ejecución de inversiones	- Empresa Prestadora de servicios (EPS) - Gobiernos locales - Gobiernos regionales - Programa Nacional de Saneamiento Urbano - PNSU - Programa Agua Segura para Lima y Callao – PASLC - Terceros a través de diversos mecanismos (APP, OxI)	- Gobiernos locales - Gobiernos regionales - Programa Nacional de Saneamiento Rural – PNSR - Terceros a través de diversos mecanismos (APP, OxI)
Otros actores	- Otros sectores relacionados con el sector saneamiento - Cooperación internacional - Academia y Sociedad Civil	

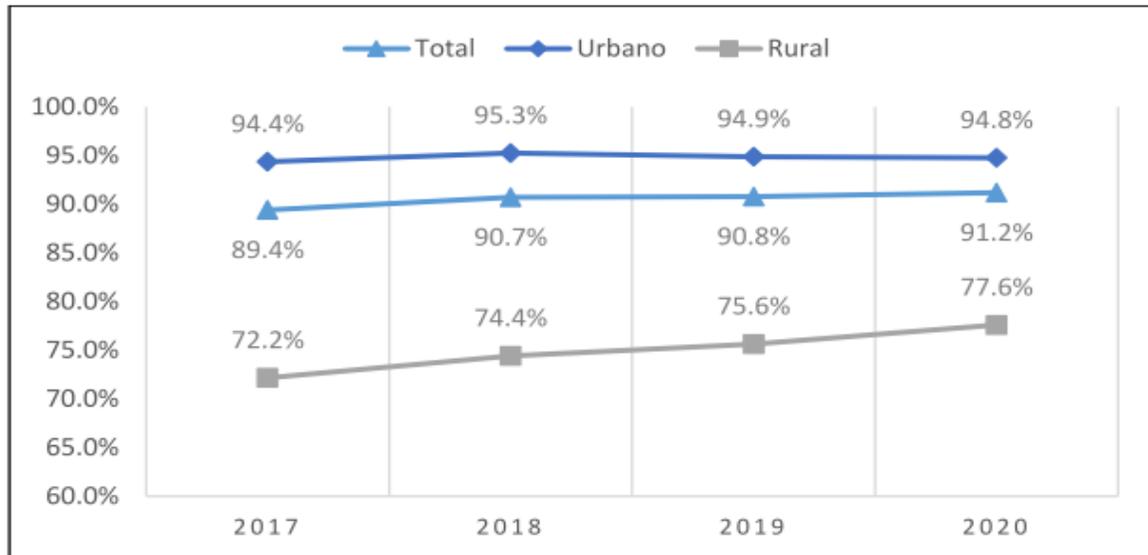
Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a)

La meta establecida para el año 2021 es alcanzar una cobertura del 100% en los servicios de agua potable y alcantarillado en el ámbito urbano. Asimismo, una cobertura de 84,6% en acceso a los servicios de agua potable y 70% en servicios de alcantarillado y/o disposición sanitaria de excretas en el ámbito rural (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017a).

Sin embargo, el porcentaje de población con acceso al servicio de agua mediante red pública pasó de un 89,4% en 2017 a 91,2% en 2020, subiendo 1,8 puntos porcentuales en los últimos

4 años. En términos de brecha, aproximadamente 2,9 millones de peruanos no cuentan con acceso al servicio, de los cuales el 49,5% reside en el ámbito rural. Si bien el ámbito urbano tiene la mayor cobertura (94,8%), ha decrecido ligeramente en los últimos años. En tanto que el ámbito rural ha tenido crecimiento sostenido entre los años 2017-2020, pero estando aún muy lejos de la cobertura universal (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

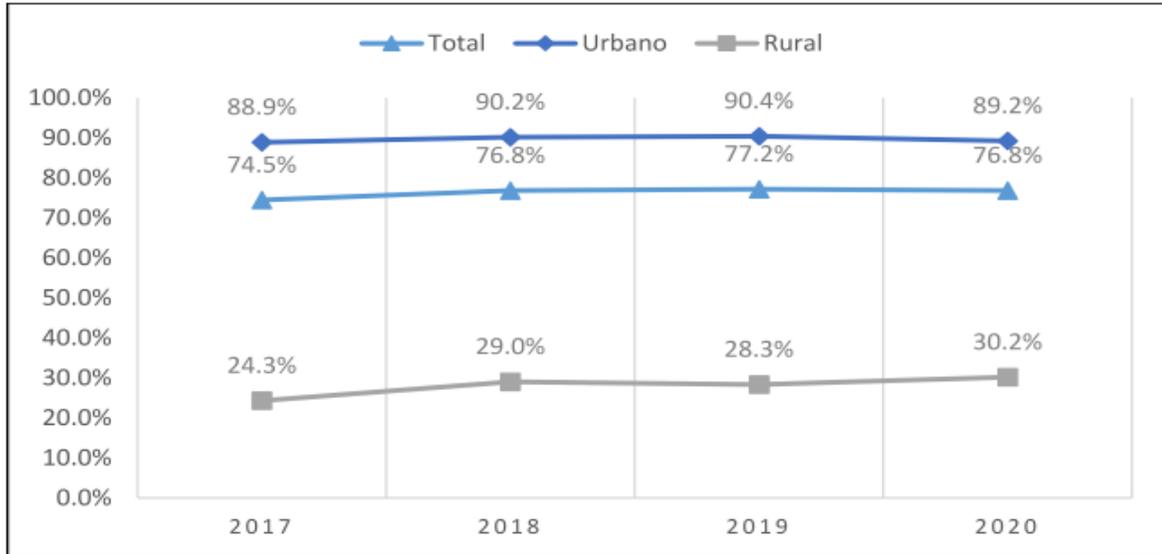
Figura 3. Porcentaje de población con acceso al servicio de agua potable, según área de residencia 2017-2020



Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a)

Respecto de los servicios de alcantarillado y disposición sanitaria de excretas, en los últimos 4 años la población con acceso a dichos servicios, en el ámbito urbano, se incrementó en 2,3 puntos porcentuales al pasar de 74,5% en 2017 a 76,8% en el 2020; mientras que en el ámbito rural el incremento para el periodo 2017-2020 fue de 5,9%. En el año 2020 el incremento de las inversiones se vio afectado a causa de las restricciones implementadas por el gobierno para reducir el contagio de covid-19. En términos de brecha, aproximadamente 7,5 millones de peruanos no cuentan con acceso a dichos servicios de los cuales el 63% reside en el ámbito rural. La cobertura del servicio brindado en ámbito urbano (89,2%) continua siendo mayor al brindado en el ámbito rural (30,2%) (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

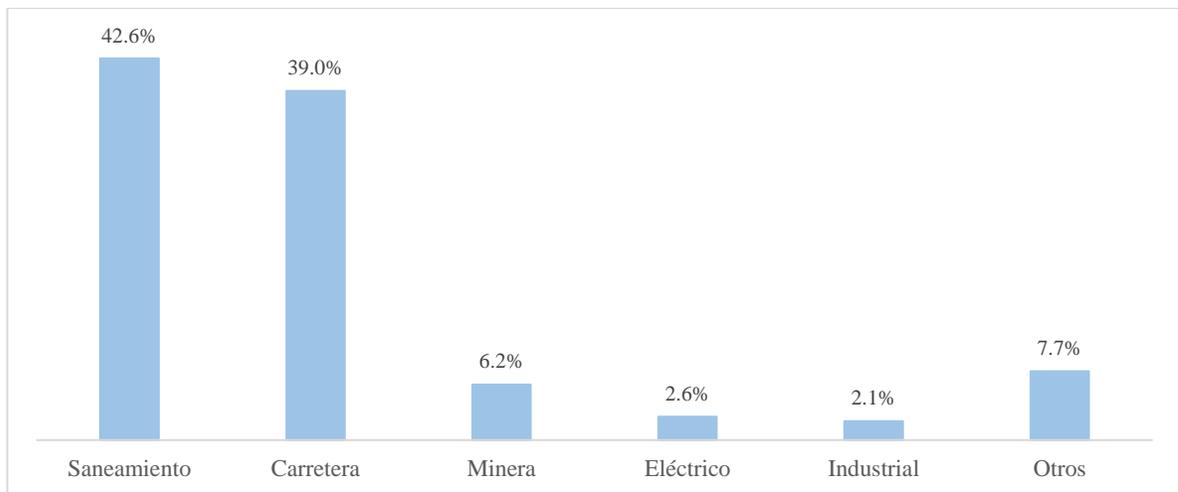
Figura 4. Porcentaje de población con acceso al servicio de alcantarillado o disposición sanitaria de excretas, según área de residencia 2017-2020



Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a)

En el año 2020 la Cámara Peruana de la construcción (CAPECO) realizó una encuesta respecto a las obras de infraestructuras que fueron afectadas por el estado de emergencia debido a la covid-19, en la cual evidenció que la mayor cantidad correspondía al rubro de saneamiento (43%), seguido muy de cerca por los proyectos de carreteras (39%), con una menor representatividad las actividades mineras (6,2%) y de electricidad (2,6%).

Figura 5. Distribución de obras de infraestructura que se encontraban en ejecución al 15 de marzo del 2020



Fuente: (CAPECO, 2020)

2.3. Ejecución de obra pública en Perú

2.3.1. Nivel de ejecución de obra pública y sector saneamiento

La ejecución de obra pública en general ha presentado una evolución negativa en el nivel de ejecución presupuestal en inversiones en los últimos 7 años pasando de un 78% en el 2014 a un 62% en el 2020 (Figura 6).

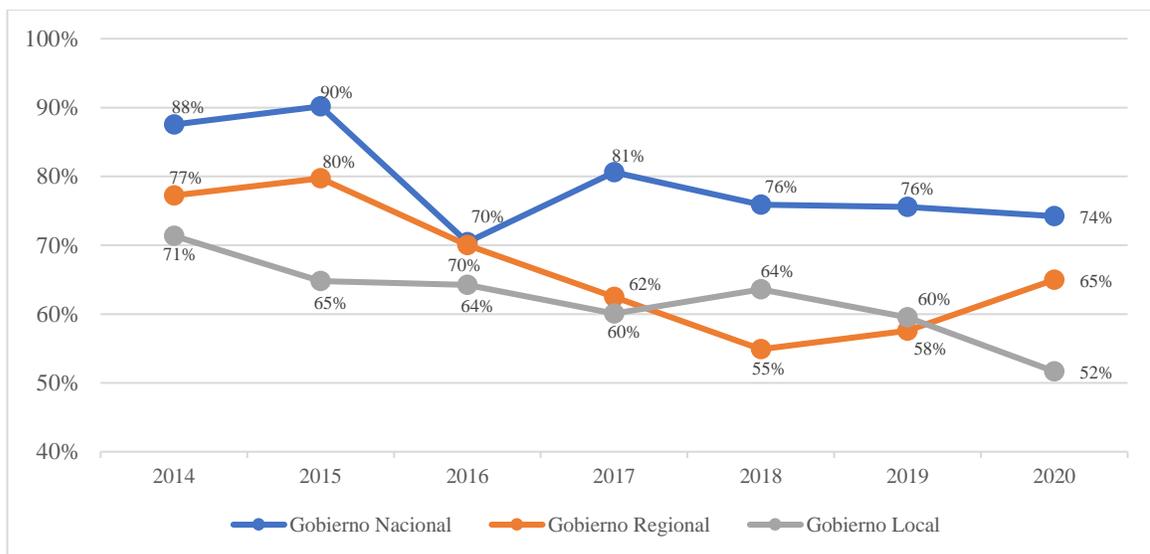
Figura 6. Ejecución de presupuesto de inversión pública 2014-2020



Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021). Elaboración propia

Por nivel de gobierno, las administraciones regional y local son las que presentan mayor ineficiencia en la ejecución del presupuesto asignado (Figura 7).

Figura 7. Ejecución de presupuesto de inversión pública 2014-2020 por nivel de gobierno

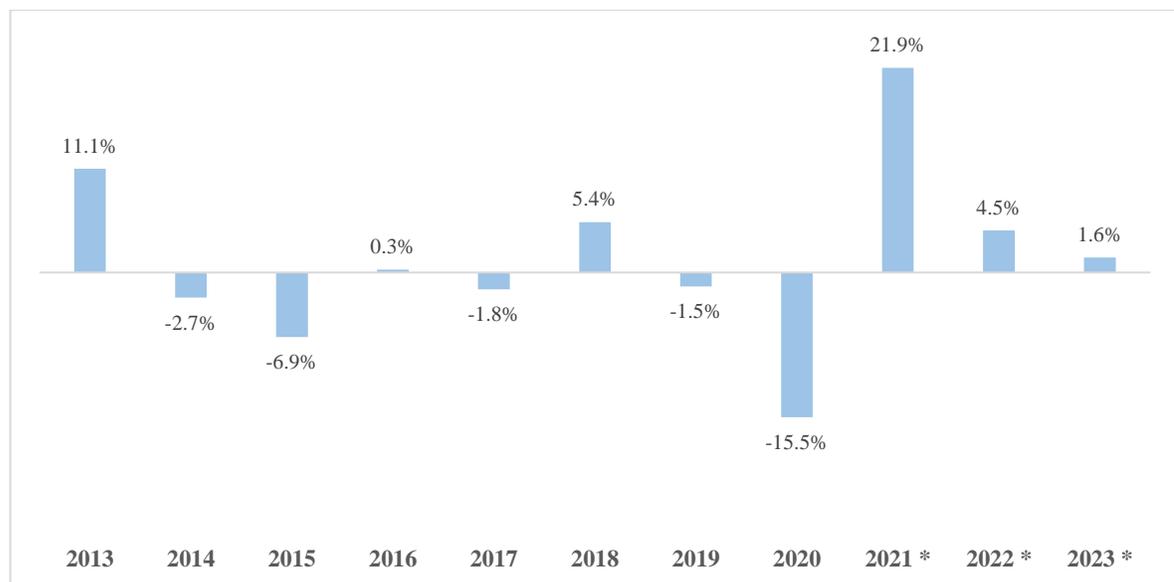


Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021). Elaboración propia

La inversión pública aumentó 12,5% en los tres primeros trimestres de 2021 respecto a similar periodo de 2019 y 70,1 % interanual. Los mayores desembolsos fueron destinados a la ejecución de obras de transporte, educación, saneamiento, actividades agropecuarias, y salud, para el cierre del año se espera un crecimiento anual de 21,9% (Banco Central de Reserva del Perú, 2021b).

Se proyecta que la inversión pública de 2022 y 2023 crezca 4,5 y 1,6%, respectivamente (Figura 8), como resultado del mayor gasto en obras de reconstrucción, Proyectos Especiales de Inversión Pública y los proyectos en el marco del Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad (PNIC) (Banco Central de Reserva del Perú, 2021b). En el PNIC se encuentran priorizados 4 grandes proyectos del sector saneamiento con una inversión de 1.134 millones de euros (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019).

Figura 8. Variación porcentual de la inversión pública en el periodo 2013-2023



* Proyección

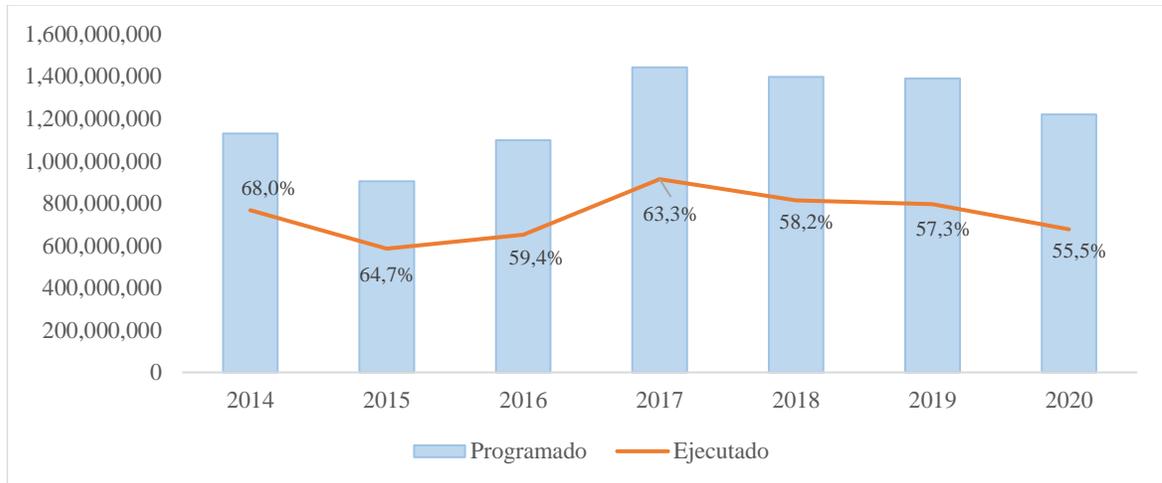
Fuente: (Banco Central de Reserva del Perú, 2021b)

El presupuesto acumulado de inversión en saneamiento entre los años 2014 - 2020 asciende a 8,5 mil millones de euros, de los cuales el 79,7% se encuentra en la cartera de inversiones de los gobiernos locales (GL) incluyendo transferencias del Gobierno Nacional (GN), el 12,6% en el GN y el 7,7% en los gobiernos regionales (GR). El GN logró el mayor nivel de ejecución presupuestal, con el 67,8% del presupuesto acumulado, mientras que los GR y GL ejecutaron el 67,2% y el 58,9% respectivamente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

Durante los últimos 4 años (2017-2020), las inversiones se incrementaron en comparación al período (2014 – 2016). Sin embargo, se evidencia que para el período 2017 – 2020, se presenta un decrecimiento sostenido en cuanto el nivel de ejecución, registrándose para el año 2020, el menor nivel de cumplimiento en el período, con 55,5% debido al estado de

emergencia nacional por efecto de la pandemia (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a)

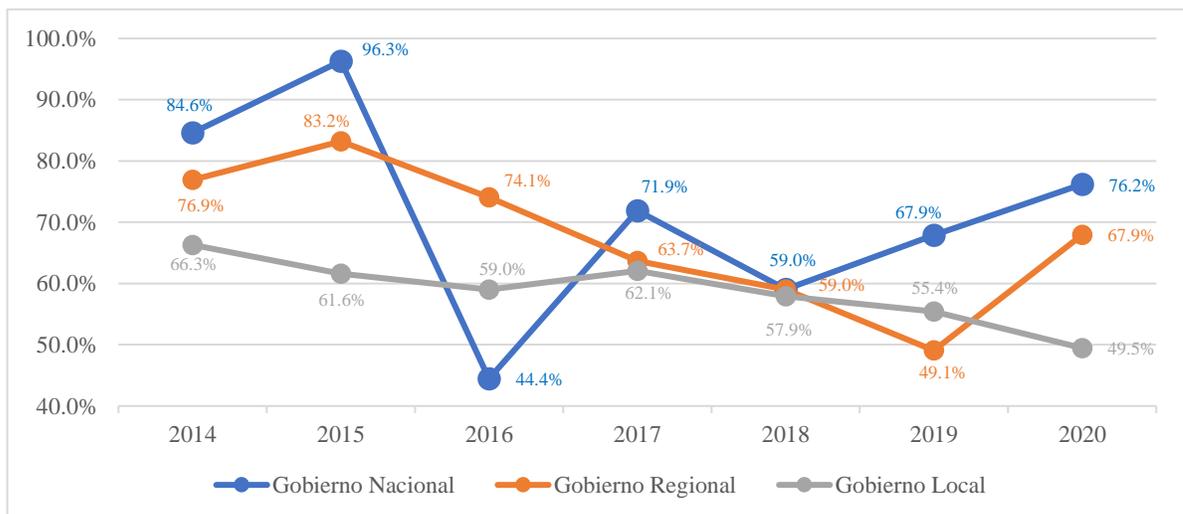
Figura 9. Evolución de nivel de ejecución de inversiones en sector saneamiento



Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a)

Por otro lado, son los Gobiernos Locales los que disminuyen año a año el nivel de ejecución de inversiones, en comparación de los niveles del Gobierno Nacional y los Gobierno Regional. Estos últimos registraron para el periodo 2019 – 2020, un incremento importante en sus niveles de ejecución, pasando de 67,9% a 76,2% y de 49,1% a 67,9%, respectivamente. No obstante, la capacidad de ejecución de los recursos asignados, en todos los niveles de gobierno, constituye uno de los principales problemas para lograr el cierre de brechas (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

Figura 10. Evolución de nivel de ejecución de inversiones en saneamiento por nivel de gobierno



Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a)

El presupuesto en el sector saneamiento representó el 13,2% del monto a nivel nacional en el periodo 2014 – 2020. Asimismo, el monto ejecutado de inversiones fue el 11,3% del monto ejecutado a nivel nacional por todos los sectores. Es así que dicho sector a nivel de presupuesto asignado y ejecutado se encuentra ubicado en el tercer lugar, luego de los sectores de Transporte y Educación (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

Para el sector Saneamiento existe un total de 16.789 inversiones viables/aprobados para los tres niveles de gobierno. De las cuales 4.767 obtuvieron declaración de viabilidad antes de diciembre del 2016, mientras que 12.022 inversiones la obtuvieron posterior a dicha fecha. Con respecto a las 12.022 inversiones viabilizadas/aprobadas con posterioridad a diciembre del 2016 y registrados en el Banco de Inversiones, el 68,90% corresponde a inversiones realizadas para poblaciones del ámbito rural y el 31,10% para el ámbito urbano (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

Por otro lado, en lo que corresponde a la cartera de inversión para el periodo 2021-2024 del estado, que comprende las inversiones de los tres niveles de gobierno, es de 11.901 inversiones, con un monto total de 6.990 millones de euros. Adicionalmente se han identificado en los planes regionales de saneamiento de los gobiernos regionales un total de 14.343 proyectos que hacen un monto de inversión de 10.530 millones de euros (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

Se estima que la brecha financiera en infraestructura, es decir la inversión requerida para lograr el acceso universal a los servicios de saneamiento, es actualmente de 10.851 millones de euros. Esta brecha es dinámica, se incrementa por el crecimiento poblacional en aproximadamente 426 millones de euros adicionales por año; así también por las necesidades de inversión en rehabilitación, mejoramiento y reposición del stock de infraestructura estimadas en 532 millones de euros por año, de modo que la brecha de infraestructura alcanza un valor cercano a los 21.277 millones de euros hacia el año 2030 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2021a).

2.3.2. Marco normativo de ejecución de obra pública

La ejecución de la obra pública en Perú se rige por la Ley N°30225 Ley de Contrataciones del Estado aprobada en julio del 2014. Tiene por finalidad establecer normas orientadas a maximizar el valor de los recursos públicos que se invierten y a promover la actuación bajo el enfoque de gestión por resultados en las contrataciones del estado, de tal manera que estas se efectúen en forma oportuna y bajo las mejores condiciones de precio y calidad, permitan el cumplimiento de los fines públicos y tengan una repercusión positiva en las condiciones de vida de los ciudadanos (Ley 30225, Ley de Contrataciones Del Estado, 2014). Dicha ley cuenta con su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N°344-2018-EF.

Para la ejecución de obras públicas, se establece los siguientes sistemas de contratación aplicables según las características de las obras:

- Suma alzada: aplicable cuando la cantidad y calidad de la prestación están claramente definidas en los documentos del proyecto constructivo. El postor formula su oferta considerando los trabajos que resulten necesarios para el cumplimiento de la prestación requerida según dichos documentos, debiendo presentar en su oferta el desagregado de partidas que la sustenta (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).
- Precios unitarios: aplicable cuando no puede conocerse con exactitud o precisión las cantidades requeridas. El postor formula su oferta proponiendo precios unitarios considerando las partidas contenidas en los documentos del procedimiento, las condiciones previstas en los planos y especificaciones técnicas y las cantidades referenciales, que se valorizan en relación a su ejecución real y por un plazo de ejecución (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).
- Esquema mixto: cuando en el proyecto constructivo de obra uno o varios componentes técnicos corresponden a cantidades no definidas con precisión, se contratan bajo el sistema de precios unitarios, en tanto los componentes, cuyas cantidades estén definidas, se contratan bajo el sistema de suma alzada (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Durante el proceso de selección de ejecución de obra, se rechaza la oferta que supere el valor referencial (Presupuesto Base de Licitación - PBL) en más del 10% y las que se encuentran por debajo del 90%. Para que se acepte una oferta económica que supere en más del 10%, se debe contar con la certificación de crédito presupuestario suficiente y la aprobación del Titular de la Entidad (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018)

El contrato de obra está conformado por el documento que lo contiene, los documentos del procedimiento de selección, la oferta ganadora, así como demás documentos derivados del procedimiento de selección que establezcan obligaciones para las partes. También incluye cláusulas referidas a: i) Garantías, ii) Anticorrupción, iii) Solución de controversias y iv) Resolución por incumplimiento. En el caso específico de obras se incluyen, además, las cláusulas que identifiquen los riesgos que pueden ocurrir durante la ejecución y la parte del contrato que los asume (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

La administración es responsable de la obtención de las licencias, autorizaciones, permisos, servidumbre y similares para la ejecución de obras, salvo que en los documentos del procedimiento de selección se estipule que la tramitación de éstas se encuentra a cargo del contratista (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

El inicio del plazo contractual de ejecución de obra rige desde el día siguiente de que se cumplan las siguientes condiciones (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018):

- Se notifique al contratista quién es el inspector o el supervisor (dirección facultativa)
- Se haga entrega total o parcial del terreno donde se ejecuta la obra
- Provea el calendario de entrega de los materiales e insumos que de acuerdo con las bases hubiera asumido como obligación la administración;

- Haga entrega del Expediente Técnico de Obra (proyecto constructivo) completo;
- Otorgue al contratista el adelanto directo.

También se establece que el contratista está obligado a presentar al supervisor o inspector de obra, un informe técnico de revisión del expediente técnico (proyecto constructivo) de obra, que incluya entre otros, las posibles prestaciones adicionales, riesgos del proyecto y otros aspectos que sean materia de consulta (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Cuando se produzcan eventos no atribuibles a las partes que originen la paralización de obra, estas pueden acordar por escrito la suspensión del plazo de ejecución contractual, hasta la culminación de dicho evento, sin que ello suponga el reconocimiento de mayores gastos generales; salvo aquellos que resulten necesarios para viabilizar la suspensión (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Durante la ejecución de obra se cuenta de modo permanente con un residente. Por su sola designación, el residente representa al contratista como responsable técnico de obra, no estando facultado a realizar modificaciones al contrato. Además se cuenta, de modo permanente con un inspector o supervisor. El inspector es un profesional, funcionario o servidor de la administración, expresamente designado por esta, mientras que el supervisor es una persona natural o jurídica especialmente contratada para dicho fin (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

La administración controla los trabajos efectuados por el contratista a través del inspector o supervisor (dirección facultativa), según corresponda, quien es el responsable de velar directa y permanentemente por la correcta ejecución técnica, económica y administrativa de la obra, además de la debida y oportuna administración de riesgos, debiendo absolver las consultas que formule el contratista. No estando facultado para realizar modificaciones al contrato (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Las consultas durante la ejecución se formulan en el cuaderno de obra y se dirigen al inspector o supervisor, cuando no requieran la opinión del proyectista, son absueltas dentro de 5 días siguientes de anotadas las mismas, y cuando se requieran de la opinión del proyectista son elevadas por el inspector o supervisor a la administración dentro del plazo máximo de 4 días siguientes de anotadas, correspondiendo a esta en coordinación con el proyectista absolver la consulta dentro del plazo máximo de 15 días siguientes. Vencidos los plazos, no se absuelve la consulta, el contratista tiene el derecho a solicitar ampliación de plazo (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Ampliaciones de plazo

El contratista puede solicitar ampliación de plazo por causales ajenas a su responsabilidad, siempre que modifiquen la ruta crítica del programa de ejecución de obra, las cuales se detallan a continuación (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018):

- a. Atrasos y/o paralizaciones por causas no atribuibles al contratista.
- b. Cuando es necesario un plazo adicional para la ejecución de prestación adicional de obra.
- c. Cuando es necesario un plazo adicional para la ejecución de los mayores metrados.

Ante solicitudes de ampliación de plazo la administración cuenta con 15 días para resolver, contados desde el día siguiente de la recepción del informe del supervisor. De no emitirse pronunciamiento alguno dentro del plazo señalado, se tiene por aprobado lo indicado por el inspector o supervisor en su informe (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Las ampliaciones de plazo en los contratos de obra pueden dar lugar al pago de mayores costos directos y mayores gastos generales variables, ambos directamente vinculados con dichas ampliaciones (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Prestaciones adicionales de obra

Solo procede la ejecución de prestaciones adicionales de obra cuando previamente se cuente con la certificación presupuestaria, y resolución del Titular de la administración y en los casos en que sus montos, restándole los presupuestos deductivos vinculados, no excedan el 15% del monto del contrato original (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

La necesidad de ejecutar una prestación adicional de obra es anotada en el cuaderno de obra, por el residente, o por el inspector o supervisor. El inspector o supervisor, según corresponda, ratifica mediante un informe técnico su posición respecto a la necesidad de ejecutar la prestación adicional. Se requiere el detalle o sustento de la deficiencia del expediente técnico de obra (proyecto constructivo) o del riesgo que haya generado la necesidad de ejecutar la prestación adicional (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Posterior a la opinión favorable del supervisor o inspector sobre el expediente técnico del adicional, la administración en un plazo de 12 días hábiles notifica al contratista la resolución mediante la que se pronuncia sobre la procedencia de la ejecución de la prestación adicional de obra. La demora de la administración en emitir y notificar esta resolución puede ser causal de ampliación de plazo (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Cuando en contratos suscritos a precios unitarios se requiera ejecutar mayores metrados, estos son autorizados por el supervisor o inspector de obra a través de su anotación en el cuaderno de obra, y comunicados a la administración, de forma previa a su ejecución. El contratista mediante anotación en cuaderno de obra solicita la ejecución de mayores metrados. El supervisor autoriza su ejecución siempre que no se supere el 15% del monto contractual original, considerando el monto acumulado de los mayores metrados y las prestaciones adicionales de obras, restándole los presupuestos deductivos (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Las prestaciones adicionales de obra cuyos montos, restándole los presupuestos deductivos vinculados, superen el 15% del monto contractual original, luego de ser aprobadas por el

titular de la administración, requieren previamente para su ejecución y pago, la autorización expresa de la Contraloría General de la República (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Las prestaciones adicionales de obra y los mayores metrados, en contratos a precios unitarios, en conjunto, no pueden superar el 50% del monto contractual original. En caso de que superen este límite, se procede a la resolución del contrato (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Recepción de la Obra

En la fecha de la culminación de la obra, el residente anota tal hecho en el cuaderno de obra y solicita la recepción de la misma. El inspector o supervisor, en un plazo no mayor de 5 días posteriores a la anotación señalada, corrobora el fiel cumplimiento de lo establecido en los planos, especificaciones técnicas y calidad, de encontrarlo conforme anota en el cuaderno de obra y emite el certificado de conformidad técnica, que detalla las metas del proyecto y precisa que la obra cumple lo establecido en el expediente técnico (proyecto constructivo) de obra y las modificaciones aprobadas por la administración (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Dentro de los 2 días hábiles siguientes a la recepción del certificado de conformidad técnica, la administración designa un comité de recepción. En un plazo no mayor de 20 días siguientes de realizada su designación, el comité de recepción junto al contratista y al inspector o supervisor verifican el funcionamiento u operatividad de la infraestructura culminada y las instalaciones y equipos. Culminada la verificación, y de no existir observaciones, se procede a la recepción de la obra, y se considera concluida en la fecha anotada por el contratista en el cuaderno de obra (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

De existir observaciones, estas se consignan en un Acta o Pliego de Observaciones y no se recibe la obra. El contratista dispone de un décimo (1/10) del plazo de ejecución vigente de la obra o 45 días, el que resulte menor para subsanar las observaciones, plazo que se computa a partir de la fecha de suscripción del Acta o Pliego (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

2.3.3. Ciclo de inversión pública en Perú

El Ciclo de Inversión es el proceso mediante el cual un proyecto de inversión es concebido, diseñado, evaluado, ejecutado y genera sus beneficios para la efectiva prestación de servicios y la provisión de la infraestructura necesaria para el desarrollo del país. Consta de las 4 fases siguientes (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017):

Figura 11. Ciclo de inversión de proyectos de inversión pública



Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017)

Programación Multianual de Inversiones: tiene como objetivo lograr la vinculación entre el planeamiento estratégico y el proceso presupuestario, mediante la elaboración y selección de una cartera de inversiones tri-anual orientada al cierre de brechas prioritarias, ajustada a los objetivos y metas de desarrollo nacional, sectorial y/o territorial (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017).

Formulación y Evaluación: comprende la formulación del proyecto, de aquellas propuestas de inversión necesarias para alcanzar las metas establecidas en la programación multianual de inversiones, y la evaluación respectiva sobre la pertinencia del planteamiento técnico del proyecto de inversión considerando los estándares de calidad y niveles de servicio aprobados por el Sector, el análisis de su rentabilidad social, así como las condiciones necesarias para su sostenibilidad (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017).

Ejecución: abarca la elaboración del expediente técnico (proyecto constructivo) o documento equivalente y la ejecución física de las inversiones (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017).

Funcionamiento: referido a la operación y mantenimiento de los activos generados con la ejecución de la inversión y la provisión de los servicios implementados con dicha inversión (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017).

2.3.4. Gestión de riesgos en el proceso de ejecución de obras públicas en Perú

El Reglamento de la Ley de contrataciones del Estado, en su artículo 29. Requerimiento, numeral 29.2, señala que para la contratación de obras, la planificación incluye la identificación y asignación de riesgos previsibles de ocurrir durante la ejecución, así como las acciones y planes de intervención para reducirlos o mitigarlos, conforme a los formatos de la Directiva N°12-2017/OSCE/CD. El análisis de riesgos implica clasificarlos por niveles en función a: i) su probabilidad de ocurrencia y ii) su impacto en la ejecución de la obra

Esta directiva tiene como finalidad precisar y uniformizar los criterios que deben ser tomados en cuenta por las administraciones para la implementación de gestión de riesgos en la planificación de la ejecución de obras; con lo que, se incrementa la eficiencia de las inversiones públicas (Directiva N° 012-2017-OSCE/CD, 2017).

Durante la elaboración del expediente técnico (proyecto constructivo), la entidad debe incluir un enfoque integral de gestión de los riesgos previsible de ocurrir durante la ejecución de la obra, teniendo en cuenta las características particulares de la obra y las condiciones del lugar de su ejecución. Así también al elaborar las bases para el proceso de selección, el comité debe incluir en la proforma de contrato las cláusulas que identifiquen y asignen los riesgos y la determinación de la parte del contrato que debe asumirlos durante la ejecución contractual. Durante la ejecución de la obra la administración a través del inspector o supervisor, debe realizar la debida y oportuna administración de riesgos durante todo el plazo de obra (Directiva N° 012-2017-OSCE/CD, 2017).

El enfoque integral de gestión de riesgos debe contemplar, por lo menos, los siguientes procesos:

Figura 12. Procesos de gestión de riesgos en obras de construcción en Perú



Fuente: (Directiva N° 012-2017-OSCE/CD, 2017)

3. Marco teórico

3.1. Conceptos generales de la investigación

El presente Trabajo Fin de Máster se enmarca en conceptos sobre ejecución de obra pública y específicamente de proyectos de suministro de agua potable y saneamiento en Perú. Por lo cual varios conceptos son interpretados dentro del contexto y marco normativo peruano; en el presente capítulo se definen conceptos clave que serán utilizados a lo largo de la investigación. Los conceptos que son relevantes para la investigación son los siguientes:

Contratista: proveedor que celebra un contrato con una administración de conformidad con las disposiciones de la Ley N°30225 y el Reglamento (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Cuaderno de Obra: documento que se abre a la fecha de entrega del terreno y en el que el inspector o supervisor y el residente anotan las ocurrencias, órdenes, consultas y las respuestas a las consultas (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Especificaciones Técnicas: descripción de las características técnicas y/o requisitos funcionales del bien a ser contratado. Incluye las cantidades, calidades y las condiciones bajo las que se ejecutan las obligaciones (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Expediente Técnico de Obra (Proyecto constructivo): conjunto de documentos que comprende: memoria descriptiva, especificaciones técnicas, planos de ejecución de obra, metrados, presupuesto de obra, fecha de determinación del presupuesto de obra, análisis de precios, calendario de avance de obra valorizado, fórmulas polinómicas y, si el caso lo requiere, estudio de suelos, estudio geológico, de impacto ambiental u otros complementarios (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Gastos Generales: aquellos costos indirectos que el contratista efectúa para la ejecución de la prestación a su cargo, derivados de su propia actividad empresarial, por lo que no pueden ser incluidos dentro de las partidas de las obras o de los costos directos del servicio (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Infobras: sistema de información que fortalece el control y la transparencia en la ejecución de las obras públicas a través del registro, articulación y publicación de información por parte de las administraciones que las gestionan. Se puede obtener información relevante y de fácil entendimiento sobre la ejecución de las obras públicas, para el control, fiscalización y transparencia. Fue implementado desde el 2012 (La Contraloría General de la Republica del Perú, 2019c).

La Contraloría General de la República: entidad encargada de supervisar que los recursos públicos sean empleados de acuerdo a las leyes de nuestro país, tiene por misión dirigir y supervisar con eficiencia y eficacia el control gubernamental, orientando su accionar al fortalecimiento y transparencia de la gestión de las administraciones (La Contraloría General de la Republica del Perú, 2019c).

Mayor metrado: incremento del metrado de una partida prevista en el presupuesto de obra, indispensable para alcanzar la finalidad del proyecto, resultante del replanteo y cuantificación real respecto de lo considerado en el expediente técnico (proyecto constructivo) de obra y que no proviene de una modificación del diseño de ingeniería (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Obra pública: es el resultado derivado de un conjunto de actividades materiales que comprenden la construcción, reconstrucción, remodelación, mejoramiento, demolición, renovación, ampliación y habilitación de bienes inmuebles, tales como edificaciones, estructuras, excavaciones, perforaciones, carreteras, puentes, entre otros, que requieren dirección técnica, expediente técnico, mano de obra, materiales y/o equipos; destinadas a satisfacer necesidades públicas (La Contraloría General de la Republica del Perú, 2019a).

Partida: cada una de las partes que conforman el presupuesto de una obra y precio unitario (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Prestación adicional de obra: aquella no considerada en el expediente técnico (proyecto constructivo) de obra, ni en el contrato original, cuya realización resulta indispensable y/o

necesaria para dar cumplimiento a la meta prevista de la obra principal y que da lugar a un presupuesto adicional (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Riesgo: evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos de un proyecto (Project Management Institute, 2017).

Ruta Crítica del programa de ejecución de obra: secuencia programada de las partidas de una obra cuya variación afecta el plazo total de ejecución de la obra (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Valor referencial (Presupuesto Base de licitación): corresponde al monto del presupuesto de obra establecido en el proyecto constructivo de obra aprobado por la administración, y contiene los análisis de precios unitarios por cada partida y subpartida, además de los gastos generales variables y fijos, así como la utilidad. Para el caso de ejecución de obras, el valor referencial para convocar el procedimiento de selección no puede tener una antigüedad mayor a los 9 meses, contados a partir de la fecha de determinación del presupuesto de obra, pudiéndose actualizarse antes de la convocatoria (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

3.2. Gestión de riesgos de proyectos

La gestión de los riesgos tiene como objetivo identificar y gestionar los riesgos. Cuando no se manejan adecuadamente estos riesgos tienen el potencial de hacer que no se logre los objetivos definidos. En consecuencia, la efectividad de la gestión de los riesgos del Proyecto está directamente relacionada con el éxito del mismo (Project Management Institute, 2017).

De acuerdo con la guía del PMI los procesos de Gestión de los Riesgos del Proyecto son:

Planificar la gestión de los riesgos: es el proceso de definir cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto (Project Management Institute, 2017).

Identificar los riesgos: proceso en el cual se identifican los riesgos individuales del proyecto, así como las fuentes de riesgo general del proyecto y documentan (Project Management Institute, 2017). El resultado de este proceso es una lista de riesgos, lo que se hace con la lista depende de la naturaleza de los mismos y del proyecto (Ashley et al., 2006).

Análisis cualitativo de riesgos: es el proceso de priorizar los riesgos individuales del proyecto para análisis posterior, evaluando su probabilidad de ocurrencia e impacto, y otras características particulares de los riesgos (Project Management Institute, 2017).

Análisis cuantitativo de riesgos: es el proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto identificados sobre los objetivos generales del proyecto (Project Management Institute, 2017), evaluados en una estimación global del riesgo del proyecto, siendo lo más habitual que se utilice para determinar los valores de contingencia de los costes y plazo (Ashley et al., 2006).

Planificar la respuesta a los riesgos: proceso de desarrollar estrategias y acordar acciones para abordar la exposición al riesgo del proyecto en general, así como para tratar los riesgos individuales del proyecto (Project Management Institute, 2017).

Implementar la respuesta a los riesgos: proceso de implementar planes acordados de respuesta a los riesgos (Project Management Institute, 2017).

Monitorear los riesgos: permite monitorear la implementación de los planes acordados de respuesta a los riesgos, hacer seguimiento a los riesgos identificados, identificar y analizar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a lo largo del proyecto (Project Management Institute, 2017).

3.3. Riesgos de retraso y sobrecoste en el sector de la construcción

El tiempo, el coste y la calidad son las tres dimensiones principales que suelen medir el rendimiento de un proyecto de construcción. Estos parámetros son interdependientes y, las razones que provocan un exceso de tiempo también causan un exceso de costes y problemas de calidad en los proyectos (Aydın & Mihlayanlar, 2018). La viabilidad económica y técnica de cualquier proyecto depende de la medición y el control preciso de estos tres factores (Jahangoshai Rezaee et al., 2021). También es importante destacar que tanto los retrasos como sobrecostes son consecuencias de otros riesgos que se producen a partir de factores internos o externos (Adam et al., 2017).

Un proyecto es considerado exitoso cuando ha logrado su rendimiento técnico, ha cumplido con su plazo y se ha mantenido dentro de los costes presupuestados (Frimpong et al., 2003). Sin embargo, en todo el mundo muchos estudios han demostrado que los retrasos y sobrecostes son un problema común en el sector de la construcción (Ismail et al., 2013), tanto en países desarrollados como en aquellos que se encuentran en vías de desarrollo (Heravi & Mohammadian, 2017).

Todo proyecto de construcción lleva asociado riesgos inherentes que pueden tener consecuencias en el éxito del proyecto (Hamzaoui et al., 2015; Renuka & Umarani, 2019), siendo la fase de construcción la que más contribuye a los retrasos y sobrecostes en los proyectos de construcción (Ismail et al., 2013). La identificación y comunicación temprana de los riesgos a lo largo de la fase de construcción permite a los equipos del proyecto gestionar y minimizar los retrasos y sobrecostes, al tiempo que se incrementa la satisfacción del cliente (Perrenoud et al., 2016).

Existe una gran preocupación por los retrasos y sobrecostes en el sector de la construcción, sobre todo en los proyectos públicos ya que la mayoría se ejecutan con dinero de los contribuyentes; a nivel mundial, se debate mucho sobre cómo minimizar los retrasos y sobrecostes en este tipo de proyectos (Apolot et al., 2011). Además hay que tener en cuenta que el dinero que se gasta en modificaciones a los proyectos se traduce en un aumento del

tiempo de construcción, lo que a su vez reduce el número y tamaño de los proyectos que pueden completarse durante un ejercicio fiscal determinado (Al-Hazim & Abusalem, 2015).

En muchos países del mundo se han realizado investigaciones sobre retrasos y sobrecostes en proyectos de construcción. Por ejemplo, en Uganda se investigaron los riesgos de retraso y sobrecoste en proyectos públicos, a partir de entrevistas con contratistas, funcionarios de ministerios y consultores. Obteniendo como resultado que las causas más importantes de los retrasos son los cambios en el alcance, retraso en los pagos, mal seguimiento y control del proyecto, alto coste del capital y la inestabilidad política; del mismo modo se encontró que la relación entre los factores que causan retrasos y los que causan sobrecostes es moderada (Apolot et al., 2011).

En Irán, por su parte, descubrió que factores como la estimación inexacta de la carga de trabajo y plazo del proyecto, debilidad de las leyes relacionados con las responsabilidades del trabajo y falta de previsión de multas e incentivos en los contratos, son causantes del retraso en los proyectos de construcción (Jahangoshai Rezaee et al., 2021). En otra investigación, donde se analizó 72 proyectos de carreteras urbanas y de edificaciones, se encontró que sólo el 7 y 8,5% de los proyectos estudiados se finalizaron dentro de su presupuesto y plazo inicial, respectivamente. Siendo que los proyectos pequeños experimentaron un mayor rendimiento en cuanto a costes y plazos (Heravi & Mohammadian, 2017). Para el caso de proyectos de suministro de agua potable, se encontró que los factores de retraso más importantes son retraso en el pago por parte del cliente, demora en obtención de permisos, y demora en adquisición del terreno por parte del cliente (Feyzbakhsh et al., 2018).

En Ghana, en proyectos de viviendas estatales, se encontró que los riesgos de retrasos más importantes son el pago al contratista, inflación de precios, financiación del cliente, órdenes de cambio y el mal mercado financiero. Además se identificó que los efectos más importantes que pueden traer estos riesgos son el exceso de costes, exceso de tiempo, litigios, falta de continuidad por parte del cliente y arbitrajes (Amoatey et al., 2015). Por otro lado, en proyectos de aguas subterráneas las principales causas de retrasos y sobrecostes son las dificultades de pago por parte del cliente, mala gestión del contratista, adquisición de materiales, problemas técnicos, y subida de precios de los materiales (Frimpong et al., 2003).

En la India, por otro lado, a partir de entrevistas personales, se encontró que los riesgos más críticos del retraso en la construcción son la falta de compromiso, gestión ineficaz de obra, mala coordinación, planificación inadecuada, falta de claridad en el alcance, falta de comunicación, y contratos deficientes (Doloi et al., 2012). Del mismo modo, otro estudio concluye que las causas más importantes de retrasos son la fluctuación de los precios, disponibilidad de equipos de trabajo, escasez de mano de obra, falta de equipos de última tecnología, falta de mano de obra cualificada (Ms. Leena Mali, 2016). También, se debe tener en cuenta que las partes involucradas en un proyecto de construcción pueden tener

opiniones distintas, por ejemplo para el contratista y consultor, la escasez de mano de obra es el factor más importante que causa el retraso, y para el propietario, la gestión inadecuada de la mano de obra viene a ser el factor más importante (Patil & Ashta, 2017).

En Malasia a partir de encuestas a clientes, consultores y contratistas, se identificó que los riesgos más importantes de retraso son la planificación inadecuada, mala gestión de la obra, experiencia inadecuada del contratista, financiación y pagos inadecuados del cliente, problemas con los subcontratistas, escasez de material y mano de obra, disponibilidad de equipos, falta de comunicación entre las partes, y errores durante la construcción. Con efectos principales como el exceso de tiempo, exceso de costes, disputas, arbitraje, litigios y abandono total (Sambasivan & Soon, 2007). De igual forma otra investigación reveló que el factor financiero es el que más influye en el retraso de los proyectos de construcción, seguido por los problemas de coordinación, y de materiales (Alaghbari et al., 2007).

En Camboya, por su parte, mediante encuestas a contratistas y consultores de proyectos de edificios residenciales, se identificó que las principales causas de los retrasos son la escasez de materiales, programación poco realista, retraso en la entrega de materiales, escasez de mano de obra cualificada, complejidad del proyecto, absentismo laboral, lluvias, cambios en el diseño, retraso de subcontratistas y accidentes laborales (Durdyev et al., 2017).

En Turquía, a través de encuestas a las partes involucradas se descubrió que las principales causas de retraso en la construcción de viviendas son los retrasos en los permisos municipales, cambios en la normativa legal y dificultades para financiar el proyecto. Teniendo como consecuencia una mala reputación y la pérdida de fiabilidad, el exceso de tiempo y costes (Aydın & Mihlayanlar, 2018).

En Zambia, un estudio en proyectos de carreteras determinó que las lluvias, cambios en el alcance, costes ambientales, huelgas, problemas técnicos, inflación y la presión de los gobiernos locales son las principales causas de sobre coste. De igual manera, los retrasos en los pagos, problemas financieros, modificación de los contratos, adquisición de materiales, cambios en planos y especificaciones, problemas de personal, falta de disponibilidad de equipos, mala planificación, errores de construcción, mala coordinación en obra, conflictos laborales y las huelgas fueron las principales causas de retrasos (Kaliba et al., 2009).

Otra investigación en proyectos de construcción de carreteras en Australia estimó que el sobre coste medio era del 9,92% del importe inicial del contrato, sin embargo el importe medio de la financiación para imprevistos era sólo del 5,24% (Baccarini, 2004).

En Burkina Faso, para proyectos de construcción pública mediante encuestas a las partes involucradas se descubrió como factores más importantes del retraso a las dificultades financieras del contratista y propietario, disponibilidad de equipos, lentitud en los pagos por parte del propietario y mal rendimiento del contratista (Bagaya & Song, 2016).

En Marruecos a partir de encuestas a contratistas y consultores públicos y privados se identificó como principales causas de retraso la demora en el pago de los avances, falta de formación de los empleados, falta de una estrategia de gestión de residuos, plazo irreal impuesto por el cliente, retrabajos por errores de construcción, excesiva subcontratación, retraso en obtención de permisos gubernamentales, planificación y programación ineficaces, falta de planificación colectiva y la mano de obra no cualificada (Bajjou & Chafi, 2020).

En Nigeria, por su parte se han estudiado diversos factores que afectan a los retrasos en los proyectos mediante cuestionarios a profesionales. Encontrando que los factores más importantes son el modo de financiación y el pago de las obras terminadas, la planificación inadecuada y la subestimación del plazo de los proyectos; el grado de ocurrencia de los excesos de tiempo es alto, entre el 80 y el 90%; las contribuciones relativas del cliente, el contratista y otros son del 62, 32 y 6%, respectivamente; los excesos de tiempo son más pronunciados en los proyectos del sector público (89%), y ocurren en todos los proyectos, independientemente de su tamaño (Elinwa & Joshua, 2001). Otros autores, teniendo en cuenta la probabilidad e impacto encontraron que los principales riesgos de retraso y sobrecoste en proyectos de carreteras son cambios en el alcance, diseño defectuoso, condiciones imprevistas del terreno, problema de liquidez del contratista, mala relación con la comunidad, falta de atención a los requisitos del contrato, oposición pública a los proyectos y retraso en el pago por parte del cliente (Leo-Olagbaye & Odeyinka, 2020).

En Jordania en una investigación a través de encuestas se descubrió que los contratistas y consultores coinciden en que la interferencia del propietario, experiencia inadecuada del contratista, problemas de financiación, productividad laboral, lentitud en la toma de decisiones, planificación inadecuada y los subcontratistas se encuentran entre los factores más importantes del retraso en proyectos de construcción mediante contratos tradicionales (Odeh & Battaineh, 2002). Otros autores a través de la revisión de documentos e informes finales de proyectos de carreteras concluyen que las principales causas de retraso y sobrecoste son las condiciones del terreno, condiciones meteorológicas, ordenes de cambio y disponibilidad de mano de obra. Así también se estimó que los sobrecostos van desde 101% al 600%, con una media del 214%. De igual forma, el retraso va desde un 125% a 455% con una media del 226% (Al-Hazim & Abusalem, 2015).

En Arabia Saudita, un trabajo de investigación a través de encuestas demostró que los principales factores que influyen en la finalización de los proyectos son adjudicar al licitador más bajo y a contratistas más allá de su capacidad financiera y técnica, contratistas con otros proyectos vacilantes, ministerios no están interesados en el desarrollo del sector de la ingeniería, entidades tardan en conceder derechos financieros a los contratistas, debilidad de las capacidades financieras y técnicas del contratista y el no retirar los proyectos retrasados a contratistas vacilantes (Alsuliman, 2019). Otros investigadores concluyen que las partes involucradas como cliente, constructor y consultor concuerdan en que la causa más común de retraso es ordenes de cambio (Assaf & Al-Hejji, 2006).

En los Emiratos Árabes Unidos a través de encuestas se encontró que la preparación y aprobación de planos, lentitud en la toma de decisiones del cliente y la inadecuada planificación son las principales causas de los retrasos en los proyectos de construcción. Además la investigación reveló que el 50% de los proyectos de construcción sufren retrasos y no se completan a tiempo (Faridi & El-Sayegh, 2006). Otros autores, concluyen que las principales causas de retraso son los cambios en el diseño, plazos poco realistas impuesto por el cliente, retrasos en la obtención de permisos gubernamentales, estimaciones de tiempo inexactas por parte del consultor y las órdenes de cambio por parte del cliente. Y las principales causas de sobrecostes son la variación del diseño, mala estimación de los costes, retraso en la toma de decisiones del cliente, limitaciones financieras del cliente y método de contratación inadecuado (Johnson & Babu, 2020).

En Afganistán, mediante cuestionarios a clientes, contratistas y consultores, se descubrió que las causas más importantes de sobrecoste son la corrupción, retraso en los pagos por parte del cliente, dificultades de financiación por parte del contratista y órdenes de cambio por parte del cliente (Niazi & Painting, 2017).

En Egipto, los factores de reprocesamiento más críticos y que tienen impacto en el plazo y coste son la situación económica del país, compresión del plazo, cambios en el diseño y especificaciones, y un estudio de viabilidad inadecuado (Al-Janabi et al., 2020).

En Indonesia, se descubrió que los factores que más causan retrasos y sobrecostes para el cliente son la planificación inexacta del presupuesto y recursos, y los cambios en el alcance, respectivamente. Mientras que para el contratista son la adquisición de terreno y el retrabajo (Susanti, 2020).

En Israel, las principales causas de sobrecoste son los documentos de licitación prematuros, cambios en el alcance por parte del cliente, y precios de adjudicación bajos (Rosenfeld, 2014).

En Portugal, las principales causas de retraso en los proyectos de construcción son la lentitud en la toma de decisiones, ordenes de cambio, plazos poco realistas, deficientes especificaciones del contrato, limitaciones financieras del contratista, tipo de licitación y proceso de adjudicación. Siendo que las principales repercusiones son los excesos de tiempo y costes y los litigios (Arantes et al., 2016).

En Reino Unido, se identificó que los principales causas de sobrecoste son cambios en el diseño inicial, inclemencias meteorológicas, ordenes de cambio y escasez de mano de obra (Odeyinka et al., 2013).

En otra investigación, en Estados Unidos donde se analizó 229 pequeños proyectos de construcción encontró que los riesgos durante la construcción ocurren como promedio al 79% del plazo original. Además los riesgos con un gran impacto en los costes suelen ser

identificados en las primeras fases del proyecto y que los riesgos que causan mayores retrasos en el calendario se identifican hacia el final del mismo (Perrenoud et al., 2016).

Otros autores estudiaron 258 proyectos de construcción entre ferrocarriles, puentes, túneles y carreteras en 20 países en los que el rendimiento de los costes era muy pobre, reveló que 9 de cada 10 proyectos de construcción experimentaron sobrecostes, con una media de sobrecostes del 28% (Flyvbjerg et al., 2004).

Por otro lado, otro estudio descubrió que la causa de sobrecoste estudio de suelos deficiente tiene mayor importancia para obras de infraestructura que para edificaciones, esto se debe a que los proyectos de edificaciones abandonan el suelo inmediatamente después de la fase de subestructura (Rosenfeld, 2014).

En proyectos de petróleo del tipo llave en mano, se encontró que los factores de riesgo de retraso más importantes son la capacidad financiera del contratista, retraso en la entrega de artículos de larga duración, cambios en el alcance del proyecto, retraso en el diseño de ingeniería de detalle y la falta de experiencia del contratista (Hatmoko & Khasani, 2019). De igual forma en este tipo de contratos llave en mano la principal causa común de retrasos y sobrecostes en las fases de ingeniería y construcción es el cambio de diseño (Habibi et al., 2018).

Del mismo modo, incluso los trabajos repetitivos de proyectos lineales, como las obras de infraestructura de tuberías, pueden verse afectados por varias causas de retraso. Entre las causas principales se encuentran los cambios de diseño, errores de diseño, mala comunicación, problemas relacionados con el cliente, deficiencias en el estudio del suelo, permisos gubernamentales, condiciones meteorológicas, retrasos en las adquisiciones, mala gestión de obra, problemas con subcontratistas y problemas de gestión cultural (Orangi et al., 2011).

También se han realizado investigaciones según el tipo de contratación, encontrándose que en el caso de los proyectos de Diseño-licitación-Construcción (tradicional), la capacidad del propietario desempeña un papel importante en el rendimiento de los costes, mientras que en el caso de los proyectos de Diseño-construcción, la capacidad del contratista resulta fundamental para explicar el rendimiento de los costes (Lu et al., 2017).

Otros investigadores mediante un modelo de regresión lineal demostraron que la lentitud en la toma de decisiones por parte del cliente, la escasa productividad de la mano de obra, la resistencia al cambio del consultor y el retrabajo por errores en la construcción son las razones que afectan significativamente al retraso global del proyecto (Doloi et al., 2012).

En países con un contexto socio-cultural muy similar a Perú, como lo son Ecuador y Colombia, también existen investigaciones sobre retrasos y sobrecostes en proyectos de construcción. Es el caso de Ecuador se encontró que los retrasos son dependientes mayoritariamente de las habilidades gestoras que poseen las partes involucradas en la

ejecución de las obras lineales y edificaciones, influenciado de alguna forma por el rendimiento de la mano de obra y materiales, y las condiciones climáticas. Mientras que, para el caso de sobrecostos estos se ven influenciados directamente por aquellos factores que afectan la productividad de las obras (Manzano Alvarado, 2019).

Del mismo modo, en cuanto a las características propias de la empresa las variables más influyentes en el retraso y sobrecoste de las obras son el nivel de gestión de riesgos de imprevistos y el tamaño de esta, así también el tipo de proyecto que se va a ejecutar juega un papel importante. Es así que para el caso de obras hidráulicas el factor clima tiene un nivel de aparición alto (Manzano Alvarado, 2019).

En Colombia, por su parte, las principales causas de sobrecoste en la construcción de vías terciarias son el aumento en cantidades, adición de ítems no previstos, deficiente gestión del presupuesto y recursos económicos. Para el retraso son el aumento en cantidades, inclemencias meteorológicas, deficiente gestión de recursos y del cronograma (Chamíe Carrillo, 2021).

Se debe tener en cuenta que las causas de retrasos y sobrecostos alrededor del mundo son muy diversas y dependen del sitio de construcción, contexto social, político y económico, la época, el tamaño de las obras, la fase en el ciclo del proceso proyecto-construcción y el tipo de obra (Chamíe Carrillo, 2021). Siendo que para el caso de obras hidráulicas y más específico agua potable y saneamiento, son muy escasas las investigaciones dedicadas a analizar los riesgos de retraso y sobrecoste.

De la revisión de múltiples investigaciones realizadas en todo el mundo sobre retrasos y sobrecostos, se puede identificar una laguna; siendo necesario en la investigación actual sobre retrasos y sobrecostos en la construcción una comprensión de la magnitud de los diferentes factores que causan este fenómeno, basándose no en las opiniones retrospectivas de los encuestados, sino en los datos empíricos recogidos de fuente primaria, como puede ser la documentación rigurosa del proyecto sobre los retrasos y sobrecostos en el momento que se producen (Adam et al., 2017).

En Perú, específicamente en los gobiernos regionales, se identificó como principales problemas durante la ejecución de obra los deficientes estudios de ingeniería, inadecuado presupuesto de obra, modificación del diseño durante ejecución, selección de contratistas que no cuenta con respalda técnico-económico, retrasos injustificados por el contratista, inadecuada supervisión de obra, y los trámites administrativos (Lozano, 2012). Todos estos problemas originan que se destinen mayores recursos financieros para una determinada obra, en desmedro de otras, lo que obliga a paralizaciones parciales o total en muchas de ellas, y en el peor de los casos se han verificado situaciones extremas, en las que muchas obras quedaron inconclusas o abandonadas por sobrecostos y falta de recursos (Lozano, 2012).

En los gobiernos regionales se advierte la falta de una adecuada planificación en las diversas fases de obra, así como deficiencias en los estudios de pre inversión y en los estudios de

ingeniería, incapacidad de gestión, improvisación y precipitación en la toma de decisiones, desorganización y negligencia en la ejecución, que comprometen la eficiente ejecución de las obras públicas afectando así los plazos, costes y la calidad final (Lozano, 2012).

3.3.1. Principales riesgos de retraso y sobre coste en la construcción presentes en la literatura

Mediante la revisión de literatura en “scopus” y “web of sciencie” se seleccionó una base de 21 referencias. Estos se componen de artículos de conferencias y artículos científicos procedentes de diferentes países del mundo.

En total se identificó 74 riesgos que provocan retraso y/o sobre coste en contratos de obra reportados alrededor del mundo a lo largo de los últimos años, para así partiendo de estos riesgos identificar los que efectivamente en la realidad peruana provocan retraso y sobre coste en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento. Cabe aclarar que era muy importante recabar todos los riesgos presentes en la construcción, independientemente si eran de retraso, sobre coste o ambos.

Tabla 2. Riesgos de retraso y/o sobre coste presente en la literatura

Nº	Riesgo	Referencias
01	Debilidad técnica en el control de los estudios de ingeniería en fase de diseño	(Faridi & El-Sayegh, 2006; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
02	Retraso en elaboración y aprobación de documentos de diseño	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Ms. Leena Mali, 2016; Niazi & Painting, 2017; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
03	Pago al contratista	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Niazi & Painting, 2017; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
04	Problemas de disponibilidad de terrenos	(Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
05	Lentitud en toma de decisiones	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
06	Excesiva burocracia	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Niazi & Painting, 2017)
07	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Kaliba et al., 2009; Niazi & Painting, 2017; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)

08	Aprobación de certificaciones de obra	(Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Frimpong et al., 2003)
09	Debilidad técnica del cliente en planificación y control de obra	(Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Faridi & El-Sayegh, 2006; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
10	Suspensión de obra	(Patil & Ashta, 2017)
11	Disponibilidad financiera (presupuesta)	(Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Kaliba et al., 2009)
12	Montos bajos para estudios y dirección facultativa	(Alsuliman, 2019)
13	Interferencia del cliente	(Bagaya & Song, 2016; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007)
14	Entidad no retira los proyectos retrasados al contratista en crisis	(Alsuliman, 2019)
15	Falta de compromiso del cliente	(Bajjou & Chafi, 2020)
16	Aprobación de documentos de modificaciones de obra	(Yap et al., 2021)
17	Actos de corrupción por parte del cliente	(Niazi & Painting, 2017; Patil & Ashta, 2017)
18	Falta de compromiso de alta dirección de la empresa	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006)
19	Planificación inadecuada de la obra	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
20	Problemas financieros del constructor	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Niazi & Painting, 2017; Yap et al., 2021)
21	Incumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto	(Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
22	Deficiente gestión del proyecto	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Alaghbari et al., 2007; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
23	Entrega/adquisición de materiales y equipos	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Frimpong et al., 2003; Kaliba et al., 2009; Ms. Leena Mali, 2016; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
24	Falta de sistema de incentivos a trabajadores	(Elinwa & Joshua, 2001)
25	Gestión ineficaz de los subcontratistas	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Ms. Leena Mali, 2016; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
26	Métodos de construcción inadecuados	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)

27	Accidentes laborales	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Niazi & Painting, 2017; Patil & Ashta, 2017)
28	Falta de experiencia del contratista y su equipo	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Ms. Leena Mali, 2016; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
29	Retrabajos por errores en la construcción	(Alaghbari et al., 2007; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
30	Ineficiencia de maquinaria y equipos	(Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Ms. Leena Mali, 2016; Patil & Ashta, 2017; Yap et al., 2021)
31	Contratista con diferentes obras en simultaneo	(Elinwa & Joshua, 2001; Patil & Ashta, 2017)
32	Oferta económica muy baja	(Bagaya & Song, 2016; Frimpong et al., 2003)
33	Conflicto entre trabajadores	(Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001)
34	Movilización a la obra	(Alaghbari et al., 2007; Bajjou & Chafi, 2020; Elinwa & Joshua, 2001; Ms. Leena Mali, 2016)
35	Movimientos innecesarios de trabajadores	(Bajjou & Chafi, 2020)
36	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Kaliba et al., 2009; Patil & Ashta, 2017)
37	Estimación inexacta del costo de obra en fase de diseño	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alsuliman, 2019; Frimpong et al., 2003)
38	Softwares no eficientes en fase de diseño	(Bajjou & Chafi, 2020)
39	Inadecuada estimación del plazo de obra en fase de diseño	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
40	Estudio de suelos defectuoso	(Doloi et al., 2012)
41	Experiencia inadecuada del consultor/diseñador	(Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Doloi et al., 2012; Patil & Ashta, 2017)
42	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bajjou & Chafi, 2020; Faridi & El-Sayegh, 2006; Niazi & Painting, 2017; Patil & Ashta, 2017)
43	Complejidad del diseño	(Bajjou & Chafi, 2020; Durdyev et al., 2017; Kaliba et al., 2009; Patil & Ashta, 2017)
44	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
45	Experiencia inadecuada de la dirección facultativa	(Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Patil & Ashta, 2017)

46	Lentitud para dar instrucciones por parte de la dirección facultativa	(Alaghbari et al., 2007)
47	Reclamos por usuarios del proyecto	(Durdyev et al., 2017)
48	Problemas con propietarios aladaños al lugar de obra	(Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007)
49	Débil fuentes de información en los ministerios sobre infraestructuras	(Alsuliman, 2019)
50	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	(Durdyev et al., 2017; Ms. Leena Mali, 2016)
51	Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos	(Alaghbari et al., 2007)
52	Permisos gubernamentales	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Faridi & El-Sayegh, 2006; Patil & Ashta, 2017)
53	Debilidad de las leyes relacionados con las responsabilidades del contratista	(Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
54	Cambios en normativa	(Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Doloi et al., 2012; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
55	Condiciones políticas/cambio de gobierno	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Amoatey et al., 2015; Doloi et al., 2012; Elinwa & Joshua, 2001; Kaliba et al., 2009; Yap et al., 2021)
56	Aceleración en la apertura del proyecto debido a cuestiones políticas y sociales	(Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
57	Detalles insuficientes en el documento contractual	(Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
58	Falta de multas e incentivos en los contratos	(Doloi et al., 2012; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
59	Ausencia de cláusulas de alternativas de resolución de disputas (AdR) en el contrato	(Amoatey et al., 2015)
60	Prescripciones técnicas incompletas/ambigüedad	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007)
61	Criterios de selección inadecuados en el proceso de selección del contratista	(Alsuliman, 2019; Doloi et al., 2012; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Niazi & Painting, 2017)
62	Falta de coordinación/comunicación entre las partes	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
63	Falta de estructura organizativa general que vincula a todas las partes	(Doloi et al., 2012; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007)
64	Conflictos legales entre las partes	(Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua,

		2001; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
65	Escasez de materiales y equipos en el mercado	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
66	Mala calidad de los materiales	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Ms. Leena Mali, 2016; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007)
67	Escasez de mano de obra cualificada	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Kaliba et al., 2009; Ms. Leena Mali, 2016; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
68	Baja productividad de mano de obra	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Faridi & El-Sayegh, 2006; Ms. Leena Mali, 2016; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
69	Inflación/fluctuaciones del mercado	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Niazi & Painting, 2017; Yap et al., 2021)
70	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
71	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso	(Amoatey et al., 2015; Kaliba et al., 2009)
72	Robo en la obra/vandalismo	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020)
73	Inaccesibilidad al lugar de obra	(Doloi et al., 2012; Patil & Ashta, 2017)
74	Condiciones imprevistas del lugar de la obra	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)

Fuente: Elaboración propia

4. Metodología de la investigación

Para el desarrollo del presente trabajo fin de máster, se siguió la metodología de investigación expuesto en la Figura 13. Lo cual permitirá responder a las preguntas de investigación planteadas que se detallan a continuación:

P1: ¿Cuáles son los riesgos más importantes que se presentan en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

P2: ¿Existe asociación entre el retraso y sobrecoste para cada riesgo en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

P3: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

P4: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

P5: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Lo primero fue una revisión de literatura basada en artículos científicos y demás fuentes de información fiable existente en bibliotecas virtuales (Scopus y Web of Science) con el fin de recoger los distintos riesgos de retraso y sobrecoste identificados en proyectos de construcción a la fecha de la presente investigación. Esto sirvió como punto de partida sobre el cual posteriormente se identificó los riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.

Luego, se realizó la recolección de datos de obras de suministro de agua potable y saneamiento (documentos modificatorios) a través de la plataforma de acceso público InfObras de la Contraloría General de la República del Perú. Para ello antes se definió el tamaño de la población, muestra y variables de estudio. Con esto ya definido, la recolección y preparación de toda la información se realizó en una hoja Excel para su posterior estudio.

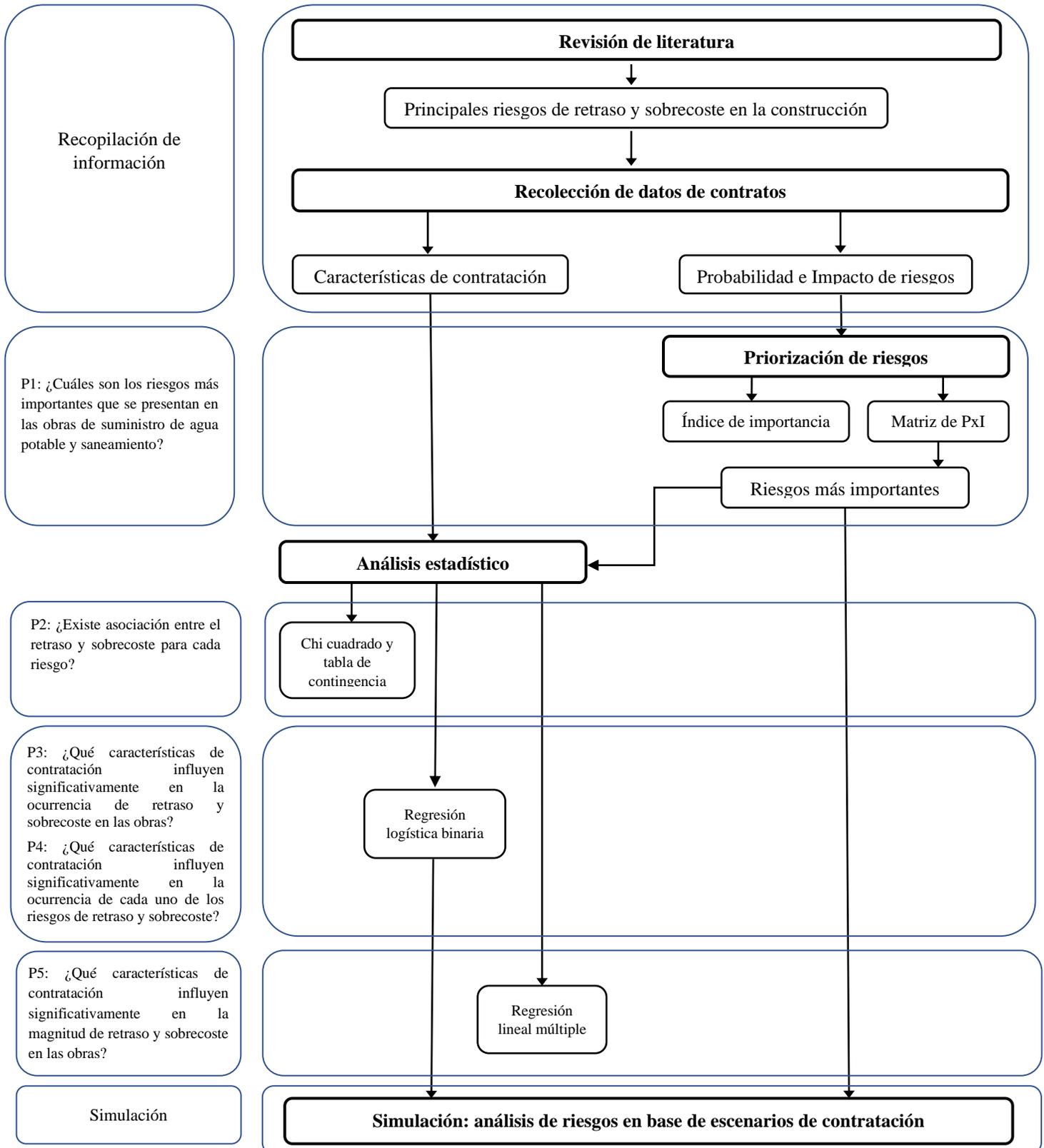
Con la información de la muestra ya preparada, el siguiente paso fue conocer nuestros datos a través de una caracterización de la muestra. Para ello se realizó un análisis exploratorio de la información, identificando variables no representativas y valores atípicos para el estudio.

Para responder a la primera pregunta de investigación, se realizó una priorización de los riesgos de retraso y sobrecoste en función de su probabilidad de ocurrencia e impacto, con lo cual se identificó los riesgos más importantes en las obras de suministro de agua potable y saneamiento. Luego a través de la prueba de chi-cuadrado y tablas de contingencia, se analizó la asociación que existe entre el retraso y sobrecoste de cada uno de los riesgos más importantes (pregunta 2). Posteriormente, mediante un análisis de regresión logística binaria

se identificó que variables de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos (pregunta 3), de igual forma se realizó para la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste más importantes (pregunta 4). Para responder a la pregunta 5, fue necesario llevar a cabo un análisis de regresión lineal múltiple, a fin de identificar que variables de contratación influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste de los contratos. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa computacional estadístico IBM SPSS.

Como último paso fue realizar un análisis de riesgos mediante una simulación Monte Carlo teniendo en cuenta los riesgos más importantes y distintos escenarios de contratación. Para esto se utilizó el complemento @risk para Excel.

Figura 13. Esquema de metodología de la investigación



Fuente: Elaboración propia

4.1. Identificación de riesgos de retrasos y sobrecostos en literatura

En este primer paso de la investigación se identificó los principales riesgos que provocan retrasos y sobrecostos en proyectos de construcción alrededor del mundo a lo largo de los últimos años. Esto sirvió como punto de partida sobre el cual posteriormente se identificó los riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.

Para recolectar la base literaria, se realizó una búsqueda de publicaciones oficiales en las bibliotecas virtuales como Scopus y Web of Science. Para lo cual se utilizaron estrategias de búsqueda con palabras clave como son: “Cost overruns” or “Time delays” and “Construction projects”.

Con los resultados obtenidos, se filtró inicialmente por su título de acuerdo con la importancia que tenían con el presente tema de investigación (riesgos de retraso y sobrecoste en obras). Cabe recalcar que se consideró artículos de todo tipo de obras, dado que la cantidad de publicaciones respecto a obras de suministro de agua potable y saneamiento era muy limitada.

De las publicaciones identificadas por título se realizó un siguiente filtro consistente en una revisión rápida del resumen y conclusiones. Esto con el fin de identificar si en realidad el documento consiste en un estudio realizado para determinar riesgos de retraso y sobrecoste en proyectos de construcción. De acuerdo con estos filtros, un total de 21 artículos fueron seleccionados como relevantes para la presente investigación.

Cada uno de los artículos ya seleccionados fueron clasificados para su estudio de acuerdo con las siguientes características:

- Título
- Año de publicación
- País
- Tipo de obra: general, carreteras, edificaciones
- Riesgos identificados: listado de riesgos identificados en la publicación.
- Categorías: categorías en las que se agrupan los riesgos identificados.

Luego se procedió a estudiar los riesgos de retraso y sobrecoste en las referencias consultadas, encontrando distintas denominaciones a un mismo riesgo entre los diferentes autores alrededor del mundo, para lo cual se procedió a unificar la denominación del riesgo de acuerdo con el contexto de la investigación.

Una vez definido el listado de riesgos, se procedió agrupar los riesgos individuales por categorías, dependiendo de la clasificación otorgada al momento de recolectar la información. Luego se realizó una estructura de desglose de riesgos (EDR), la cual es una

forma común de estructurar las categorías de riesgos y permite obtener una representación jerárquica de las posibles fuentes de riesgos (Project Management Institute, 2017).

4.2. Identificación de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento

4.2.1. Definición de la población y la muestra de estudio

En primer lugar se estableció el tamaño de la población. Para lo cual se utilizó el portal web InfObras para descargar en formato excel el listado total de obras de suministro de agua potable y saneamiento con los que cuenta dicho portal. En la web de datos públicos InfObras se estableció el siguiente criterio de búsqueda para conseguir el banco de datos:

- Nombre de la obra: Agua potable.

Es importante resaltar que se utilizó este criterio, dado que para la presente investigación era de interés contar con obras que se ejecutaron en el ámbito urbano y rural, y en Perú las denominaciones de los proyectos respecto a la recolección de las aguas residuales pueden ser “alcantarillado”, “saneamiento”, “letrinas”, “unidades básicas de saneamiento”. Con esto se descargó un total de 4.866 contratos.

Ya contando con el listado de obras en Excel se estableció los siguientes filtros:

- Estado de la obra: finalizada.
- Modalidad de ejecución: por contrata.
- Promotor: Administración nacional, regional y provincial.

Así también se descartó las obras que implicaba intervenciones puntuales en algunos de los componentes del sistema de agua potable, por ejemplo: captación o reservorio o redes.

Aplicando los filtros anteriormente descritos se pasó a tener una población de 1.781 contratos.

Para determinar la muestra se utilizó la siguiente ecuación (Vivanco, 2005):

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2(N-1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

n : tamaño de muestra

N : tamaño de población (1.781 contratos)

p : probabilidad a favor (recomendable 50%)

q : probabilidad en contra (recomendable 50%)

Z : nivel de confianza (con nivel de confianza del 95%, corresponde $Z=1,96$)

e : error máximo permitido (5%)

Por lo tanto, para una población de 1.781 contratos, se estimó una muestra de 316 elementos necesarios para llevar a cabo la investigación. Sin embargo se recolectó información de 322 contratos.

Dado que no todos los contratos en el portal web contaban con la información completa, se tuvo que revisar contrato por contrato a fin de verificar si contaba con la información mínima necesaria para la presente investigación. Entonces para la recolección de la muestra, se tomó el criterio de dar prioridad a las administraciones públicas que cuentan con mayor cantidad de proyectos ejecutados, iniciando por administración nacional, luego regional y por último provincial.

4.2.2. Definición de variables de investigación

Toda la información obtenida de las obras fue organizada y clasificada en variables de investigación. Para lo cual se estableció seis grupos de variables. Estas fueron:

- Características de la contratación
- Riesgos de retraso
- Riesgos de sobrecoste
- Impacto de los riesgos de retraso (porcentaje)
- Impacto de los riesgos de sobrecoste (porcentaje)
- Retraso imputable al contratista

En la Tabla 3, se observa las variables de características de la contratación con la codificación realizada para su posterior identificación.

Tabla 3. Variables de características de la contratación

Código	Nombre de variable	Tipo	Descripción	Unidad/Valores
CC_1	Presupuesto Base de Licitación	Numérica	Presupuesto base de licitación (PBL) estimado por el promotor.	- Euros
CC_2	Coefficiente de adjudicación	Numérica	Relación entre el Presupuesto adjudicado y el Presupuesto Base de Licitación.	- Porcentaje
CC_3	Estrategia de pago	Categórica	Estrategia de pago utilizado para la ejecución de la obra	- Suma Alzada (0) - Precios unitarios (1)
CC_4	Promotor	Categórica	Administración pública que actúa como promotor de la obra.	- Administración Nacional (0) - Administración Regional (1) - Administración Provincial (2)
CC_5	Actuación	Categórica	Componentes de la obra: agua potable, alcantarillado y/o Unidades Básicas de Saneamiento (ubs)	- Agua potable o alcantarillado (0) - Agua potable y alcantarillado (1) - Agua potable y ubs (2)

CC_6	Región geográfica	Categoría	Divisiones naturales de Perú por región de acuerdo con el clima, y vegetación.	- Costa (0) - Sierra (1) - Selva (2)
CC_7	Ámbito de ejecución	Categoría	Ámbito de ejecución de la obra que puede ser urbano o rural.	- Rural (0) - Urbano (1)
CC_8	Naturaleza de intervención	Categoría	Naturaleza de intervención del objeto del contrato	- Obra nueva (0) - Mejoramiento y/o ampliación (1)
CC_9	Monto contractual inicial	Numérica	Coste de obra según contrato original	- Euros
CC_10	Plazo de ejecución inicial	Numérica	Plazo de ejecución de obra según contrato original	- Días
CC_11	Sobrecoste de obra	Numérica	Relación entre sobrecostes generados por los riesgos y el monto contractual inicial	- Porcentaje
CC_12	Plazo real de ejecución	Numérica	Plazo real de ejecución	- Días
CC_13	Retraso de obra	Numérica	Relación entre el retraso total de ejecución de obra (Plazo real de ejecución – Plazo de ejecución inicial) entre al plazo de ejecución inicial	- Porcentaje
CC_14	Tipo de desviación	Categoría	Presenta retraso, sobrecoste, retraso y sobrecoste, o ninguna.	- Ninguna (0) - Retraso (1) - Sobrecoste (2) - Retraso y sobrecoste (3)
CC_15	Desfase entre proyecto y obra	Numérica	Desfase de tiempo entre fecha de aprobación del proyecto constructivo e inicio de obra	- Meses
CC_16	Año de aprobación del proyecto constructivo	Numérica	Año en el que se aprobó el proyecto constructivo original.	- Año: desde 2009 al 2020
CC_17	Año de inicio de obra	Numérica	Año en que inicia la ejecución de obra.	- Año: desde 2010 al 2021

Fuente: Elaboración propia

Los riesgos de retraso y sobrecoste corresponden a todas las justificaciones realizadas en los documentos modificatorios denominados “adicional de obra” para el caso del coste, y “ampliación de plazo” o “suspensión de obra” para el plazo. Las justificaciones encontradas fueron interpretadas y clasificadas en 27 riesgos. Para cada contrato se definió si había ocurrido o no cada uno de los 27 riesgos de retraso y sobrecoste, ya que podían ocurrir varios riesgos en una misma obra.

Cabe mencionar que los riesgos de retraso y sobrecostes imputables al contratista quedan fuera del alcance de la presente investigación, debido a que todo el análisis corresponde a modificaciones de plazo y coste otorgados al contratista, para lo cual de acuerdo con el marco normativo peruano se debe cumplir el requisito indispensable que dicha modificación no debe ser de responsabilidad del contratista.

Las variables en las que se clasificaron los riesgos de retraso encontradas en los contratos y su respectiva codificación se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Variables de riesgos de retraso

Código	Nombre de variable	Tipo	Unidad/valores
RR_1	Pago al contratista	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_2	Problemas de disponibilidad de terrenos	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_3	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_4	Aprobación de documentos de modificaciones de obra	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_5	Absolución de consultas de obra	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_6	Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_7	Designación de dirección facultativa	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_8	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_9	Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_10	Estudio de suelos defectuoso	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_11	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_12	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_13	Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
CR_14	Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_15	Reclamos por usuarios directos del proyecto	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_16	Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_17	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_18	Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_19	Permisos gubernamentales	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_20	Cambios en normativa	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_21	Conflictos legales entre las partes	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_22	Escasez de materiales y equipos en el mercado	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_23	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_24	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)

RR_25	Inaccesibilidad al lugar de obra	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_26	Condiciones imprevistas del lugar de la obra	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RR_27	Estado de emergencia covid-19	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)

Fuente: Elaboración propia

Las variables en las que se clasificaron los riesgos de sobrecoste encontradas en los contratos y su respectiva codificación se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Variables de riesgos de sobrecoste

Código	Nombre de variable	Tipo	Unidad/valores
RS_1	Pago al contratista	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_2	Problemas de disponibilidad de terrenos	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_3	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_4	Aprobación de documentos de modificaciones de obra	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_5	Absolución de consultas de obra	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_6	Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_7	Designación de dirección facultativa	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_8	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_9	Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_10	Estudio de suelos defectuoso	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_11	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_12	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_13	Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_14	Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_15	Reclamos por usuarios directos del proyecto	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_16	Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_17	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_18	Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_19	Permisos gubernamentales	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_20	Cambios en normativa	Categórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)

RS_21	Conflictos legales entre las partes	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_22	Escasez de materiales y equipos en el mercado	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_23	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_24	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_25	Inaccesibilidad al lugar de obra	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_26	Condiciones imprevistas del lugar de la obra	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
RS_27	Estado de emergencia covid-19	Catagórica	- Ocurre (1) - No ocurre (0)

Fuente: Elaboración propia

Las variables en las que se clasificó el impacto en el plazo de los riesgos respecto del plazo contractual inicial y su respectiva codificación se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Impacto de riesgos de retraso (porcentaje)

Código	Nombre de variable	Tipo	Unidad/valores
IRRP_1	Impacto en el plazo del riesgo "Pago al contratista".	Numérica	Porcentaje
IRRP_2	Impacto en el plazo del riesgo "Problemas de disponibilidad de terrenos".	Numérica	Porcentaje
IRRP_3	Impacto en el plazo del riesgo "Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)".	Numérica	Porcentaje
IRRP_4	Impacto en el plazo del riesgo "Aprobación de documentos de modificaciones de obra".	Numérica	Porcentaje
IRRP_5	Impacto en el plazo del riesgo "Absolución de consultas de obra".	Numérica	Porcentaje
IRRP_6	Impacto respecto al plazo contractual del riesgo "Silencio administrativo ante solicitudes del constructor".	Numérica	Porcentaje
IRRP_7	Impacto en el plazo del riesgo "Designación de dirección facultativa".	Numérica	Porcentaje
IRRP_8	Impacto en el plazo del riesgo "Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original"	Numérica	Porcentaje
IRRP_9	Impacto en el plazo del riesgo "Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño"	Numérica	Porcentaje
IRRP_10	Impacto en el plazo del riesgo "Estudio de suelos defectuoso"	Numérica	Porcentaje
IRRP_11	Impacto en el plazo del riesgo "Errores y discrepancias en los documentos de diseño"	Numérica	Porcentaje
IRRP_12	Impacto en el plazo del riesgo "Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra"	Numérica	Porcentaje
IRRP_13	Impacto en el plazo del riesgo "Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar"	Numérica	Porcentaje
IRRP_14	Impacto en el plazo del riesgo "Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño"	Numérica	Porcentaje
IRRP_15	Impacto en el plazo del riesgo "Reclamos por usuarios directos del proyecto"	Numérica	Porcentaje

IRRP_16	Impacto en el plazo del riesgo “Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios”	Numérica	Porcentaje
IRRP_17	Impacto en el plazo del riesgo “Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)”	Numérica	Porcentaje
IRRP_18	Impacto en el plazo del riesgo “Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos”	Numérica	Porcentaje
IRRP_19	Impacto en el plazo del riesgo “Permisos gubernamentales”	Numérica	Porcentaje
IRRP_20	Impacto en el plazo del riesgo “Cambios en normativa”	Numérica	Porcentaje
IRRP_21	Impacto en el plazo del riesgo “Conflictos legales entre las partes”	Numérica	Porcentaje
IRRP_22	Impacto en el plazo del riesgo “Escasez de materiales y equipos en el mercado”	Numérica	Porcentaje
IRRP_23	Impacto en el plazo del riesgo “Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)”	Numérica	Porcentaje
IRRP_24	Impacto en el plazo del riesgo “Manifestaciones/huelgas en vías de acceso”	Numérica	Porcentaje
IRRP_25	Impacto en el plazo del riesgo “Inaccesibilidad al lugar de obra”	Numérica	Porcentaje
IRRP_26	Impacto en el plazo del riesgo “Condiciones imprevistas del lugar de la obra”	Numérica	Porcentaje
IRRP_27	Impacto en el plazo del riesgo “Estado de emergencia covid-19”	Numérica	Porcentaje

Fuente: Elaboración propia

Las variables en las que se clasificó el impacto en el coste de los riesgos respecto al monto contractual inicial y su respectiva codificación se observan en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7. Impacto de riesgos de sobrecoste (porcentaje)

Código	Nombre de variable	Tipo	Unidad/valores
IRSP_1	Impacto en el coste del riesgo “Pago al contratista”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_2	Impacto en el coste del riesgo “Problemas de disponibilidad de terrenos”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_3	Impacto en el coste del riesgo “Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_4	Impacto en el coste del riesgo “Aprobación de documentos de modificaciones de obra”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_5	Impacto en el coste del riesgo “Absolución de consultas de obra”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_6	Impacto en el coste del riesgo “Silencio administrativo ante solicitudes del constructor”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_7	Impacto en el coste del riesgo “Designación de dirección facultativa”.	Numérica	Porcentaje
IRSP_8	Impacto en el coste del riesgo “Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original”	Numérica	Porcentaje
IRSP_9	Impacto en el coste del riesgo “Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño”	Numérica	Porcentaje
IRSP_10	Impacto en el coste del riesgo “Estudio de suelos defectuoso”	Numérica	Porcentaje
IRSP_11	Impacto en el coste del riesgo “Errores y discrepancias en los documentos de diseño”	Numérica	Porcentaje

IRSP_12	Impacto en el coste del riesgo “Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra”	Numérica	Porcentaje
IRSP_13	Impacto en el coste del riesgo “Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar”	Numérica	Porcentaje
IRSP_14	Impacto en el coste del riesgo “Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño”	Numérica	Porcentaje
IRSP_15	Impacto en el coste del riesgo “Reclamos por usuarios directos del proyecto”	Numérica	Porcentaje
IRSP_16	Impacto en el coste del riesgo “Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios”	Numérica	Porcentaje
IRSP_17	Impacto en el coste del riesgo “Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)”	Numérica	Porcentaje
IRSP_18	Impacto en el coste del riesgo “Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos”	Numérica	Porcentaje
IRSP_19	Impacto en el coste del riesgo “Permisos gubernamentales”	Numérica	Porcentaje
IRSP_20	Impacto en el coste del riesgo “Cambios en normativa”	Numérica	Porcentaje
IRSP_21	Impacto en el coste del riesgo “Conflictos legales entre las partes”	Numérica	Porcentaje
IRSP_22	Impacto en el coste del riesgo “Escasez de materiales y equipos en el mercado”	Numérica	Porcentaje
IRSP_23	Impacto en el coste del riesgo “Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)”	Numérica	Porcentaje
IRSP_24	Impacto en el coste del riesgo “Manifestaciones/huelgas en vías de acceso”	Numérica	Porcentaje
IRSP_25	Impacto en el coste del riesgo “Inaccesibilidad al lugar de obra”	Numérica	Porcentaje
IRSP_26	Impacto en el coste del riesgo “Condiciones imprevistas del lugar de la obra”	Numérica	Porcentaje
IRSP_27	Impacto en el coste del riesgo “Estado de emergencia covid-19”	Numérica	Porcentaje

Fuente: Elaboración propia

También para cada contrato se definió si había ocurrido o no retraso imputable al contratista. Esto se detectó restando la fecha real de culminación de obra menos la fecha de término contractual original y menos las ampliaciones de plazo otorgadas, a partir de estos datos se determinó si ocurrió o no un retraso imputable al contratista y su magnitud.

Las variables en las que se clasificó el retraso imputable al contratista encontrado en los contratos y su respectivo impacto se codificaron como se observan en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8. Retraso imputable al contratista

Código	Nombre de variable	Tipo	Unidad/valores
RIC_1	Retraso imputable al contratista	Categoría	- Ocurre (1) - No ocurre (0)
IRICP_1	Impacto en el plazo que es imputable al contratista	Numérica	Porcentaje
IRICD_1	Impacto en el plazo imputable al contratista	Numérica	días

Fuente: Elaboración propia

Toda la información de los 322 contratos de la muestra fueron clasificados y preparados en una hoja excel distribuidos en las 128 variables definidas anteriormente. Cada variable fue codificada para su identificación y clasificada por tipo (categórica o numérica).

4.2.3. Caracterización de la muestra de estudio

Una vez definida las variables de investigación y extraído la información en los apartados anteriores, el siguiente paso fue conocer los datos obtenidos de los contratos, para lo cual se realizó un análisis exploratorio de la información recolectada, identificando las variables no representativas y los valores atípicos para la investigación dentro de la información obtenida.

Para las variables categóricas se realizó un análisis mediante gráficos estadísticos que mejor se ajustaban para analizar dichas variables (barras o tartas). En cada caso se analizó la información gráfica en búsqueda de variables no representativas para la investigación. Es así como de los 322 contratos se encontró que únicamente 2 fueron ejecutados bajo la estrategia de contratación de Proyecto-Obra, siendo los 320 restantes bajo el sistema tradicional (Proyecto-licitación-Obra), por lo cual se decidió no considerar dentro de la investigación a dichos contratos, reduciendo la muestra en 320 contratos.

Respecto a las variables numéricas era importante determinar valores atípicos para lo cual se generó diagrama de bigotes o box plot. Así los valores atípicos encontrados en estos diagramas fueron motivo de verificación a detalle de caso por caso en los documentos contractuales de donde se obtuvo la información con el fin de determinar el sustento de dicho valor. Se encontró que de los 320 contratos existía 2 que presentaban valores atípicos de sobrecoste, de una revisión más a detalle de la información se detectó que dentro de la muestra estos son los únicos proyectos ejecutados con financiamiento externo (del Banco Interamericano de Desarrollo - BID), por lo cual estos proyectos se encontraban excluidos de la Ley N°30025 Ley de contrataciones del estado peruano el cual estipula requisitos y límites de adicionales (sobrecoste). Entonces para evitar distorsión en los resultados se decidió retirar dichos contratos del análisis, quedando finalmente en 318 el tamaño de la muestra para análisis posteriores.

Finalmente para obtener el listado definido de variables para análisis posteriores se realizó la prueba de correlación con el objeto de detectar multicolinealidad entre variables. Para ello con ayuda del programa computacional SPSS lo primero fue realizar la prueba de normalidad de la muestra. El método utilizado para dicha prueba fue el de Kolmogórov-Smirnov, el cual es recomendable dado que la muestra es mayor a 50 elementos (Field, 2009).

Si la prueba no es significativa ($p > 0,05$) nos indica que la distribución de la muestra no es significativamente diferente de una distribución normal. Si, por el contrario, la prueba es significativa ($p < 0,05$), entonces la distribución es significativamente diferente de una distribución normal (es decir, una distribución no normal) (Field, 2009).

Como resultado de la prueba de normalidad se determinó que las variables en estudio seguía una distribución no normal ($p < 0,05$), por lo cual se utilizó el método de correlación de Spearman el cual puede utilizarse cuando los datos no cumplen una distribución normal (Field, 2009). Para determinar el nivel de correlación se empleó la Tabla 9.

Tabla 9. Interpretación de los coeficientes de correlación

Rango de valores del coeficiente	Interpretación de los valores del coeficiente
0,0	Relación nula
Entre 0,0 y 0,2	Relación muy baja
Entre 0,2 y 0,4	Relación baja
Entre 0,4 y 0,6	Relación moderada
Entre 0,6 y 0,8	Relación alta
Entre 0,8 y 1,0	Relación muy alta
1,0	Relación perfecta

Fuente: (Sanz, 2015)

Finalmente después de realizar el análisis de correlación, del grupo de variables que presentaron multicolinealidad (relación muy alta), únicamente se conservó una variable la cual perfectamente estaría representando al grupo de dichas variables, es decir las conclusiones para dicha variable también sería válida para las demás (Field, 2009); generando así el listado definido de variables para el análisis estadístico posterior.

4.3. Priorización de riesgos

P1: ¿Cuáles son los riesgos más importantes que se presentan en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Este paso estuvo relacionado con responder la primera pregunta de investigación que tiene por objetivo identificar los riesgos más importantes. Para ello, se realizó una priorización de riesgos en función de la probabilidad de ocurrencia e impacto (Leo-Olagbaye & Odeyinka, 2020), las cuales son las dos características principales que se utilizan para clasificar los riesgos menores que no requieren mayor atención por parte de la dirección y los riesgos significativos que requieren la atención de la dirección y posiblemente un análisis cuantitativo posterior (Ashley et al., 2006). La probabilidad e impacto de cada riesgo se calculó de la siguiente forma:

- **Probabilidad de ocurrencia (%):** es igual a la relación de la cantidad de contratos en los que ocurre el riesgo entre el total de la muestra.
- **Impacto en el tiempo (%):** para cuantificar el impacto (porcentaje del plazo inicial), se utilizó la media de todos los impactos en el tiempo generados por el riesgo.
- **Impacto en el coste (%):** para cuantificar el impacto (porcentaje del monto contractual inicial), se utilizó la media de todos los impactos en el coste generados por el riesgo.

Existen varios métodos para ayudar a clasificar los riesgos, en la presente investigación se optó por realizar la priorización de los riesgos de dos formas (Al-Janabi et al., 2020): (1) a través de índices de importancia, para de esta manera obtener una clasificación general de los riesgos; y, (2) una matriz de probabilidad e impacto, lo cual permitirá establecer grupos de prioridad.

a. Priorización mediante índices de importancia

Para el caso de índices de importancia, se multiplicó la probabilidad por el impacto de cada uno de los riesgos, esto permitió obtener una puntuación individual, para así de esta manera obtener una prioridad relativa de los riesgos en función del impacto en el tiempo y coste (Project Management Institute, 2017). A continuación se presenta los índices utilizados:

- **Índice de importancia del impacto en el tiempo (I.I.I.T), y coste (I.I.I.C).** Dichos índices se calculan en función de la probabilidad e impacto, mediante la siguiente ecuación (Al-Janabi et al., 2020; Assaf & Al-Hejji, 2006):

$$(I.I.I.T)(\%) = Prr(\%) * Irr (\%) \quad (2)$$

$$(I.I.I.C)(\%) = Prs(\%) * Irs (\%) \quad (3)$$

donde:

Prr: probabilidad del riesgo de retraso

Irr: impacto del riesgo de retraso

Prs: probabilidad del riesgo de sobrecoste

Irs: impacto del riesgo de sobrecoste

b. Priorización mediante matriz de probabilidad e impacto

Se elaboró una matriz de probabilidad e impacto con cuatro cuadrantes, esta matriz permite relacionar la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo con su impacto sobre el tiempo y coste, además de establecer grupos de prioridad de riesgos (Project Management Institute, 2017). Es común desarrollar una matriz de dos dimensiones que clasifica los riesgos en tres categorías basadas en los efectos combinados de su probabilidad e impacto (Ashley et al., 2006).

Riesgos bajo: son los eventos de baja probabilidad y bajo impacto, estos puede ser normalmente descartados de un análisis posterior (Ashley et al., 2006).

Riesgos moderados: son eventos de alta probabilidad y bajo impacto o eventos de baja probabilidad y alto impacto (Ashley et al., 2006).

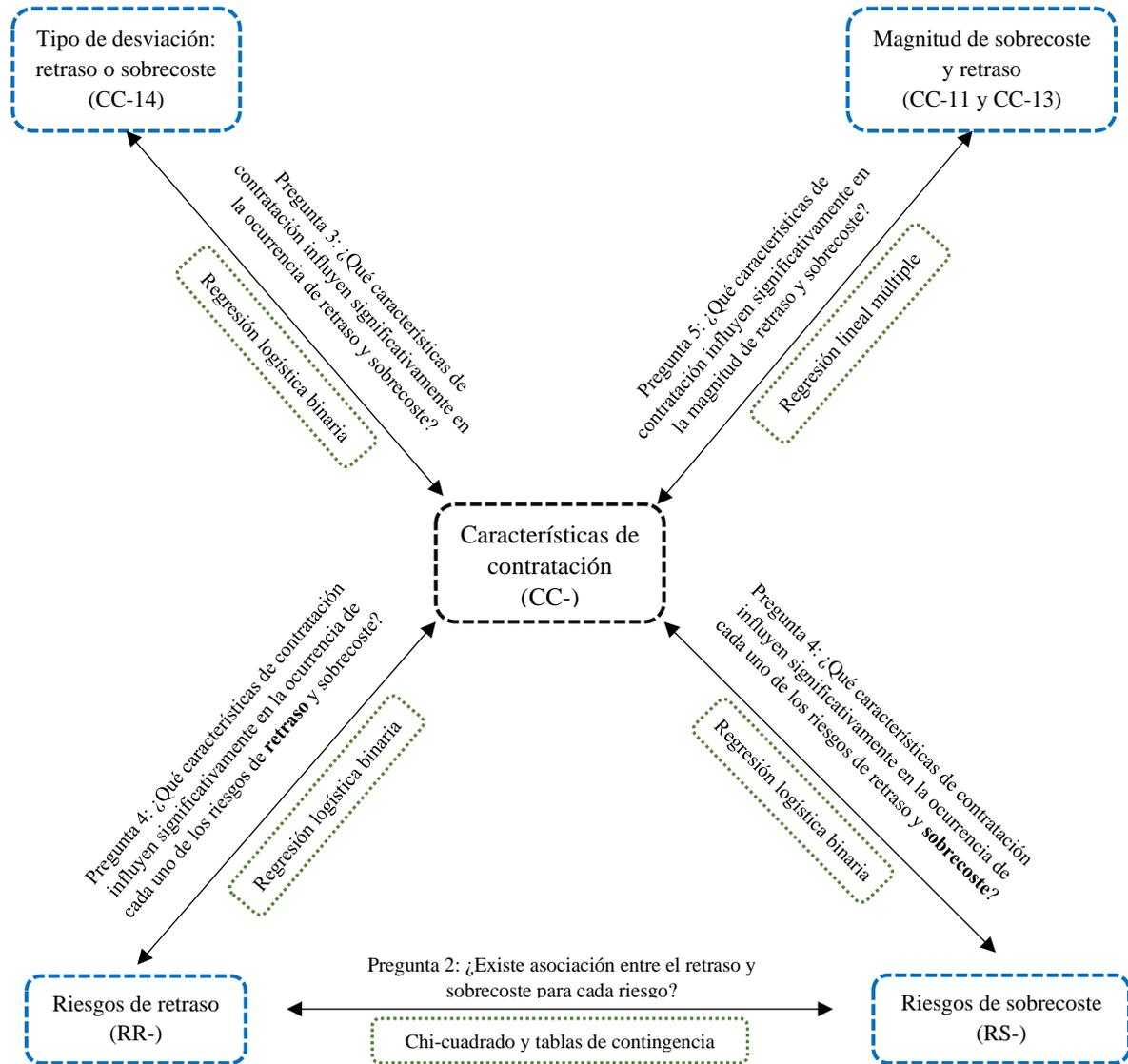
Riesgos altos: tienen alta probabilidad de ocurrencia y un impacto al menos moderado o un alto impacto con una probabilidad al menos moderada. En cualquiera de los dos casos, se justifica una acción de gestión específica dirigida a reducir la probabilidad de ocurrencia o el impacto negativo de estos riesgos (Ashley et al., 2006).

Como umbral de riesgo, que viene a ser el nivel de exposición al riesgo por encima del cual los riesgos se abordan y por debajo del cual los riesgos pueden aceptarse (Project Management Institute, 2017), se consideró el valor de la mediana de los valores medios de probabilidad e impacto de los riesgos, dado que en el contexto de la investigación no se cuenta con referencias al respecto.

4.4. Análisis estadístico

Esta parte estuvo relacionada directamente con responder las restantes preguntas de investigación planteadas en la presente investigación, es decir las preguntas 2-5. Cada pregunta fue analizada a fin de determinar el mejor método estadístico a utilizar, en función de la información obtenida a través de las variables de investigación definidas. En la Figura 14, se muestra la relación entre las variables que se intenta encontrar con las preguntas de investigación.

Figura 14. Relación entre variables de acuerdo con las preguntas de investigación 2 - 5



Leyenda:

- Variables dependientes
- Variables independientes
- Método estadístico

P2: ¿Existe asociación entre el retraso y sobrecoste para cada riesgo en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

La pregunta 2 busca investigar la asociación entre la ocurrencia de retraso y sobrecoste para cada uno de los riesgos más importantes, es decir, si la ocurrencia de un riesgo de retraso también produce un sobrecoste. Para lo cual, el método estadístico escogido fue la prueba de chi-cuadrado y tablas de contingencias, mediante la cual podemos estudiar la relación entre dos variables categóricas, la prueba de chi-cuadrado nos indica si existe o no asociación entre estas dos mismas variables (Field, 2009). Cuando no se cumple con el supuesto de tener frecuencias esperadas mayor a 5, existe el método de Fisher para calcular el estadístico de chi-cuadrado, el cual es más preciso en tablas de 2x2 y con muestras pequeñas (Field, 2009). El estadístico para medir el grado de asociación fue el coeficiente Phi el cual es más preciso para tablas de 2 x 2, además hay que tener en cuenta que en este tipo de tablas el valor V de Cramer es idéntico al Phi (Field, 2009). El análisis de contingencias se realizó con las variables de ocurrencia de los riesgos de retraso (RR-) y sobrecoste (RS-).

P3: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

La pregunta 3 por su lado, tiene por objetivo averiguar que variables de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos. Las variables de contratación para el análisis fueron del listado definitivo, excluyendo a las variables que tienen que ver con resultados como el sobrecoste (CC-11), retraso (CC-13), y tipo de desviación (CC-14).

En esta pregunta, fue necesario realizar una transformación de la variable Tipo de desviación (CC_14) con cuatro niveles (Ninguno, retraso, sobrecoste, retraso y sobrecoste) a dos niveles. Es así, que para la regresión donde se analiza la variable dependiente retraso los niveles “ninguno” y “sobrecoste” pasan a ser un solo nivel “no ocurre”, los demás niveles (retraso, retraso y sobrecoste) pasan a ser “ocurre”; y para el caso donde la variable dependiente es “sobrecoste” los niveles de “ninguno” y “retraso” pasan a ser el nivel “no ocurre”, los demás niveles (sobrecoste, retraso y sobrecoste) pasan a ser “ocurre”, con esta transformación las variables dependientes poseen dos resultados posibles (1: ocurre, 0: no ocurre). Como variables independientes se estableció las variables características de contratación (CC_), para las variables de tipo numérica para una mejor análisis e interpretación se realizó la transformación a variables categóricas.

Dado que la variable dependiente es una variable categórica y tiene únicamente dos resultados posibles (ocurre o no ocurre), el método estadístico escogido fue el de regresión logística binaria, la cual nos permite predecir resultados categóricos a partir de variables predictoras (Field, 2009). Fue necesario realizar dos regresiones logísticas, una para el retraso y otra para sobrecoste. Se utilizó el modelo por pasos el cual es recomendable cuando

no hay certeza de predictores fiables (Field, 2009), y un procedimiento hacia adelante para una mejor interpretación de los resultados, además se definió el intervalo de confianza para el exponencial de Beta en 95%.

Para evaluar el modelo de regresión logística binaria existe el estadístico R^2 de Cox y Snell, sin embargo este estadístico nunca alcanza su máximo teórico de 1, por lo cual posteriormente surgió el R^2 de Nagelkerke (Field, 2009), el cual es el utilizado en la presente investigación.

Para seleccionar qué variables independientes presentan significancia en el modelo de regresión logística binaria, el nivel de la significancia del estadístico de Wald asociado a dicha variable debe ser menor a 0,05. Esto quiere decir, que la variable predictora (independiente) contribuye significativamente al modelo, además cuanto mayor sea el valor de Wald mayor será la contribución de ese predictor (Field, 2009).

Para la interpretación de los resultados, se toma en cuenta si el $\exp(B)$ es mayor que 1 indica que a medida que aumenta el predictor, aumenta las probabilidades de que se produzca el resultado. Por el contrario, un valor menor a 1 indica que a medida que aumenta el predictor, disminuyen las probabilidades de que se produzca el resultado (Field, 2009).

Se debe tener en cuenta que en la regresión logística siempre la interpretación es una comparación entre dos categorías de un predictor (Field, 2009), por lo cual para todas las variables se estableció como categoría de referencia el valor más bajo, es decir la categoría que le corresponde el valor de Cero (0) (Tabla 22).

P4: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

La pregunta 4 por su parte, busca investigar que variables de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de los riesgos de retraso y sobrecoste. Se procedió con el mismo método utilizado en la pregunta 3 de regresión logística binaria, siendo necesario realizar una regresión para cada riesgo de retraso y sobrecoste, además que la variable dependiente en este caso fue “ocurre” o “no ocurre” el riesgo (variables RR- y RS-).

P5: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

En el caso de la pregunta 5, busca identificar las variables de contratación que presentan significancia en la magnitud (porcentaje) de retraso y sobrecoste de los contratos. Entonces de igual forma que en las preguntas anteriores se analizó la relación de las mismas variables de contratación, pero esta vez con la magnitud (en porcentaje) del retraso y sobrecoste que presentaron los contratos.

Dado que la variable dependiente es del tipo numérica y existen múltiples predictores, el método estadístico escogido fue regresión lineal múltiple, la cual permite predecir el resultado de una variable dependiente numérica o la influencia que tienen los predictores sobre ella (Field, 2009). Fue necesario realizar dos regresiones lineales, una para el retraso y otra para sobrecoste. Se procedió de igual forma que en la regresión logística con un modelo por pasos hacia adelante para una mejor interpretación de los resultados, además que el intervalo de confianza para los coeficientes fue establecido en 95%. En este caso de regresión lineal no fue necesario realizar transformación alguna de las variables numéricas a categóricas.

Para evaluar el modelo de regresión lineal múltiple el SPSS utiliza el estadístico de R^2 el cual nos dice que parte de la varianza de la variable dependiente es explicada por el modelo de regresión (Field, 2009). Para comprobar la significancia de R^2 se puede realizar a través del estadístico F, el cual es una medida de cuánto ha mejorado el modelo la predicción del resultado en comparación con el nivel de inexactitud del modelo, y debe presentar un valor de significancia menor a 0,05. Un buen modelo debe tener un valor grande de F, que como mínimo debe ser 1 (Field, 2009).

En una regresión lineal es muy importante evitar multicolinealidad entre los predictores (Field, 2009), SPSS nos da un diagnóstico de colinealidad a través del Factor de inflación de la Varianza (VIF), un valor de 10 es para preocuparse y un valor medio superior a 1, puede ser que la multicolinealidad este sesgando el modelo (Field, 2009).

Para seleccionar que variables independientes presentan significancia en el modelo de regresión lineal, el nivel de la significancia del estadístico “t” asociado a dicha variable debe ser menor a 0,05. Esto quiere decir, que la variable predictora contribuye significativamente al modelo, además cuanto mayor sea el valor de “t” mayor será la contribución de ese predictor (Field, 2009).

Para la interpretación de los resultados, se toma en cuenta, el valor del coeficiente B, si el valor es positivo quiere decir que existe una relación positiva, mientras que un coeficiente negativo representa una relación negativa (Field, 2009). Por ejemplo, cuando el predictor aumenta en una unidad el resultado aumentara tantas unidades como el valor del coeficiente B de dicho predictor, esto siempre y cuando las demás variables predictoras significativas se mantienen constantes (Field, 2009).

4.5. Simulación: análisis de riesgos en base a escenarios de contratación

En esta última parte consiste en un análisis de riesgos en base a los distintos escenarios de contratación que pueden presentar las obras, el cual es un proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales identificados en el proyecto, se utiliza la información sobre los riesgos individuales que han sido evaluados y que presentan un potencial significativo para afectar el plazo y coste del proyecto (riesgos graves) (Project Management Institute, 2017). En la priorización de riesgos mediante la matriz de probabilidad e impacto se identificó los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste, estos riesgos son motivo de análisis en el presente capítulo.

Una de las principales técnicas cuantitativas de riesgos utilizadas actualmente es mediante una simulación, siendo la simulación Monte Carlo la más utilizada (Project Management Institute, 2017), dado que proporciona información detallada e ilustrativa sobre el impacto de los riesgos en el plazo y coste del proyecto (Ashley et al., 2006).

Para evaluar el efecto combinado de los riesgos en el plazo y el coste de las obras de suministro de agua potable y saneamiento, se formuló las siguientes ecuaciones:

$$R (\%) = \sum_{i=1}^n PRR_i * IRR_i \quad (4)$$

$$S (\%) = \sum_{i=1}^n PRS_i * IRS_i \quad (5)$$

Donde:

R (%): retraso estimado del contrato

S (%): sobrecoste estimado del contrato

PRR_i : probabilidad de ocurrencia del riesgo de retraso significativo i

IRR_i : impacto del riesgo de retraso significativo i

PRS_i : probabilidad de ocurrencia del riesgo de sobrecoste significativo i

IRS_i : impacto del riesgo de sobrecoste significativo i

n: número de riesgos significativos

A partir de la respuesta a la pregunta 4, se identificó que variables de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de los riesgos significativos (graves), de igual forma las categorías de dichas variables que presentan diferencias significativas; con lo cual la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo que interviene en la ecuación 4 y 5 (riesgos de retraso y sobrecoste) se toma en función de dichas categorías. En el caso del impacto se considera una única función general para cada riesgo, dado que esta única función considera un mayor rango de resultados posibles de impacto para cada riesgo, con lo cual tendríamos una mayor seguridad en nuestra simulación.

Como datos de entrada para realizar la simulación es necesario contar con las funciones de distribución de probabilidad e impacto de los riesgos. Para la probabilidad se consideró una distribución discreta de Bernoulli. En el caso de los impactos debido a que no se cuenta con los suficientes datos para poder realizar el ajuste respectivo con el complemento @risk para excel, y teniendo en cuenta los respectivos gráficos de histogramas de los impactos, se

decidió por utilizar una distribución del tipo triangular, que es una de las más comúnmente utilizadas para este tipo de análisis en proyectos de construcción (Ashley et al., 2006; Gupta & Thakkar, 2018), además que es de aplicabilidad cuando el posible resultado está entre dos extremos y la tendencia es hacia un valor específico (Gupta & Thakkar, 2018).

Finalmente, se realizó una comprobación con los contratos que forman parte de la muestra estudiada, a fin de verificar si el retraso y sobrecoste que habían presentado dichos contratos se encontraban representados por la función de distribución de probabilidad de retraso y sobrecoste obtenido con las simulaciones según los escenarios de contratación.

5. Resultados y discusiones

5.1. Estructura de desglose de riesgos de retraso y sobrecoste presentes en literatura

Existe un déficit de coherencia en la definición de los riesgos en la construcción, y sus categorías (Derakhshanfar et al., 2019), la Tabla 10 ofrece ejemplos de la diferente terminología utilizada en diferentes artículos para categorizar a los riesgos de retraso y sobrecoste en la construcción.

Tabla 10. Ejemplos de categorías de riesgos de retraso y sobrecoste utilizadas en literatura

Categorías de riesgos de retraso y sobrecoste	Referencias
Financiero, recursos, técnico, económico, medioambiental, operacional, política y gobernanza, relación, seguridad/salud, legal.	(Amoatey et al., 2015)
Relacionado con el proyecto, con el lugar, con el proceso, con las personas, con la autoridad, cuestiones técnicas.	(Doloi et al., 2012)
Cliente, constructor, consultor, materiales, mano de obra y equipamiento, contrato, relaciones contractuales, externas	(Sambasivan & Soon, 2007)
Material y equipo, Gestión, trabajadores, proyecto, externo.	(Durdyev et al., 2017)
Cliente, constructor, diseño, financiero, mano de obra, material y equipamiento, gestión del proyecto, externo.	(Aydm & Mihlayanlar, 2018)
Cliente, consultor, constructor	(Kaliba et al., 2009)
Financiero, recursos, constructor, externo, cliente, consultor, relación contractual, contrato	(Bagaya & Song, 2016)
Cliente, constructor, consultor/diseñador, financiero, Planificación y programación, Comunicación, flujo de información y relación contractual, material, mano de obra y equipamiento, externo.	(Bajjou & Chafi, 2020)
Cliente, constructor, consultor, materiales, mano de obra y equipamiento, contrato, relaciones contractuales, externo	(Odeh & Battaineh, 2002)
Constructor, consultor/diseñador, cliente, financiero, planificación y programación, relación contractual, Normas gubernamentales, Condiciones imprevistas	(Faridi & El-Sayegh, 2006)
Cliente, constructor, externos, consultor	(Niazi & Painting, 2017)
Constructor, consultor, cliente, externos	(Alaghbari et al., 2007)
Proyecto, cliente, constructor, consultor, diseñador/consultor, material, equipos, mano de obra, externo	(Ms. Leena Mali, 2016)
Constructor, material, consultor, mano de obra, cliente, externo, programación.	(Abdellatif & Alshibani, 2019)
Constructor, cliente, mano de obra/equipos, consultor, material, otros	(Yap et al., 2021)

Fuente: Elaboración propia

La Estructura de Desglose de Riesgos (EDR) es una herramienta común y muy práctica, ampliamente utilizada durante las diversas etapas del proyecto en la gestión de riesgos (Hamzaoui et al., 2015). Esta puede ser utilizada en la fase de identificación de los riesgos y servir de apoyo en las fases posteriores (evaluación y respuesta a los riesgos) (Chapman, 2001).

La agrupación de riesgos en categorías puede llevar al desarrollo de respuestas a los riesgos más efectivas mediante el desarrollo de respuestas genéricas a los riesgos a fin de hacer frente a grupos de riesgos relacionados (Project Management Institute, 2017).

Algunos autores, proponen una estructura de desglose de riesgos (EDR) por nivel jerárquico donde los riesgos constituyen el nivel más bajo, y en niveles superiores se ubican las categorías (Derakhshanfar et al., 2019).

Para una mejor identificación y análisis de riesgos en etapas posteriores de la investigación se adoptó una estructura de desglose de riesgos en función de los riesgos y categorías identificados de la revisión sistemática de literatura, la cual se muestra en la Tabla 11. Siendo de manera similar a la formulada por otros autores (Derakhshanfar et al., 2019).

Tabla 11. Estructura de desglose de riesgos presentes en literatura

Categoría	Subcategoría	Nº	Riesgo
Involucrados	Cliente	1	Debilidad técnica en el control de los estudios de ingeniería en fase de diseño
		2	Elaboración y aprobación de documentos de diseño
		3	Pago al contratista
		4	Problemas de disponibilidad de terrenos
		5	Lentitud en toma de decisiones
		6	Excesiva burocracia
		7	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)
		8	Aprobación de certificaciones de obra
		9	Debilidad técnica del cliente en planificación y control de obra
		10	Suspensión de obra
		11	Disponibilidad financiera (presupuestal)
		12	Montos bajos para estudios y dirección facultativa
		13	Interferencia del cliente
		14	Entidad no retira los proyectos retrasados al contratista en crisis
		15	Falta de compromiso del cliente
		16	Actos de corrupción por parte del cliente
		17	Aprobación de documentos de modificaciones de obra
	18	Falta de compromiso de alta dirección de la empresa	
	19	Planificación inadecuada de la obra	
	20	Problemas financieros del constructor	
	21	Incumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto	
	22	Deficiente gestión del proyecto	
	23	Entrega/adquisición de materiales y equipos	
	24	Falta de sistema de incentivos a trabajadores	
	25	Gestión ineficaz de los subcontratistas	
	26	Métodos de construcción inadecuados	
	27	Accidentes laborales	
	Constructor		

	28	Falta de experiencia del contratista y su equipo	
	29	Retrabajos por errores en la construcción	
	30	Ineficiencia de maquinaria y equipos	
	31	Contratista con diferentes obras en simultaneo	
	32	Oferta económica muy baja	
	33	Conflicto entre trabajadores	
	34	Movilización a la obra	
	35	Movimientos innecesarios de trabajadores	
	36	Mala calidad de los materiales	
	37	Baja productividad de mano de obra	
Consultor/ Diseñador	38	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	
	39	Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	
	40	Softwares no eficientes en fase de diseño	
	41	Inadecuada estimación de plazo de obra en fase de diseño	
	42	Estudio de suelos defectuoso	
	43	Experiencia inadecuada del consultor/diseñador	
	44	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	
	45	Complejidad del diseño	
	46	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	
Dirección facultativa	47	Experiencia inadecuada de la dirección facultativa	
	48	Lentitud para dar instrucciones por parte de la dirección facultativa	
Usuarios directos e indirectos del proyecto	49	Reclamos por usuarios directos del proyecto	
	50	Problemas con propietarios aledaños al lugar de obra	
Agentes gubernamental es y otras entidades	51	Débil fuentes de información en los ministerios sobre infraestructuras	
	52	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	
	53	Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos	
	54	Permisos gubernamentales	
	55	Debilidad de las leyes relacionados con las responsabilidades del contratista	
	56	Cambios en normativa	
	57	Condiciones políticas/cambio de gobierno	
	58	Aceleración en la apertura del proyecto debido a cuestiones políticas y sociales	
Contrato	Documento contractual	59	Detalles insuficientes en el documento contractual
		60	Falta de multas e incentivos en los contratos
		61	Ausencia de cláusulas de alternativas de resolución de disputas (AdR) en el contrato
		62	Prescripciones técnicas incompletas/ambigüedad
	Proceso de contratación	63	Criterios de selección inadecuados en el proceso de selección del contratista
		Relación contractual entre las partes	64
65	Falta de estructura organizativa general que vincula a todas las partes		
66	Conflictos legales entre las partes		
Recursos	Materiales y equipo	67	Escasez de materiales y equipos en el mercado
	Mano de obra	68	Escasez de mano de obra cualificada
	Condiciones del mercado	69	Inflación/fluctuaciones del mercado

	Causas naturales	70	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)
Condiciones imprevistas en ejecución	Huelgas y vandalismo	71	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso
		72	Robo en la obra/vandalismo
	Condiciones del lugar de obra	73	Inaccesibilidad al lugar de obra
		74	Condiciones imprevistas del lugar de la obra

Fuente: Elaboración propia

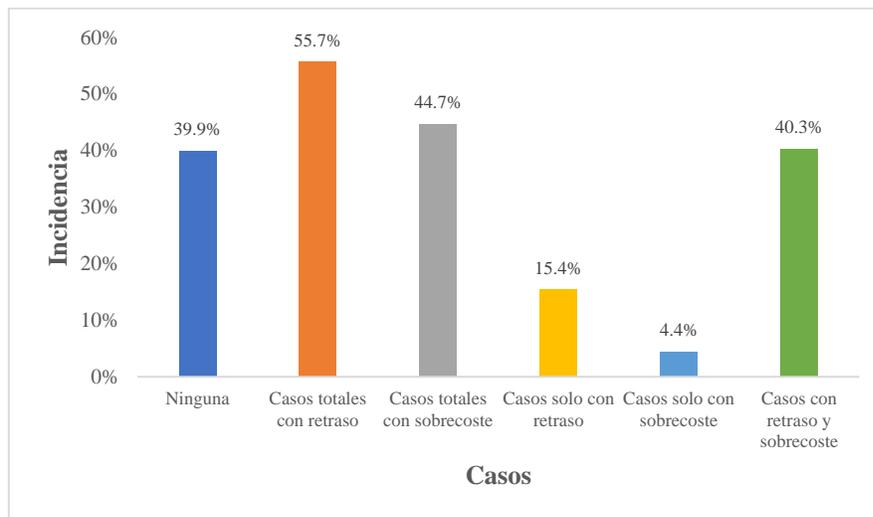
De acuerdo con la estructura de desglose de riesgos, en el último nivel (Riesgos) se ubicó a los 74 riesgos identificados de literatura, los cuales fueron clasificados en 15 subcategorías según la fuente de riesgo, y finalmente en un nivel superior estas se agruparon en 04 grandes categorías (Derakhshanfar et al., 2019).

5.2. Descripción de la muestra

Se analizó la distribución de la muestra de 318 contratos para cada una de las variables de interés mediante gráficos de barras o torta. Obteniendo los siguientes resultados:

Por tipo de desviación, la distribución de casos indica que el 39,9% de los contratos no presentan retraso ni sobrecoste, 55,7% presentan retraso, mientras que el 44,7% presentan sobrecoste; por otro lado el 15,4% presentan únicamente retraso y un 4,4% presentan solo sobrecoste. Finalmente el 40,3% presentan retraso y sobrecoste. Esto quiere decir que el 60,1% de los contratos de alguna forma presentan algún tipo de desviación (Figura 15).

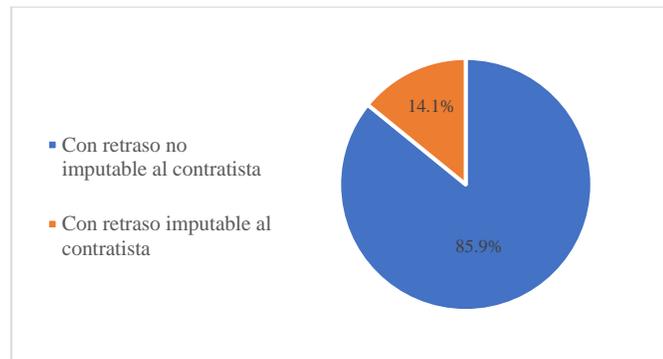
Figura 15. Casos que presentan retraso y/o sobrecoste



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo también, que del total de contratos que presentaron retraso, únicamente en un 14,1% el contratista contribuyó de alguna forma en el retraso de la obra. Evidenciando que la mayor parte de los proyectos (85,9%) que culminan con retrasos el contratista no tiene responsabilidad alguna, todo esto dentro del marco normativo peruano (Figura 16).

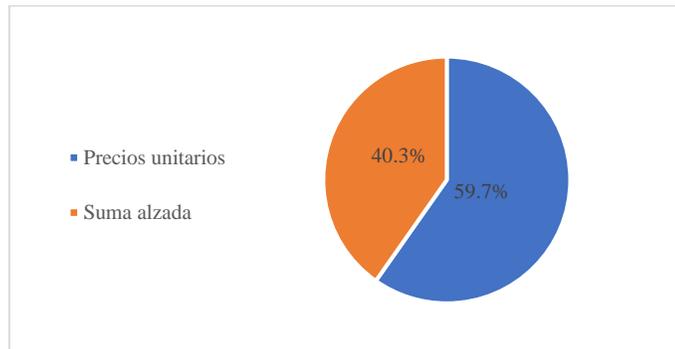
Figura 16. Casos con retraso imputable o no imputable al contratista



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a estrategia de pago con la cual fue ejecutado el contrato, el 59,7% de obras fueron ejecutados por precios unitarios, mientras que el 40,3% por suma alzada (Figura 17).

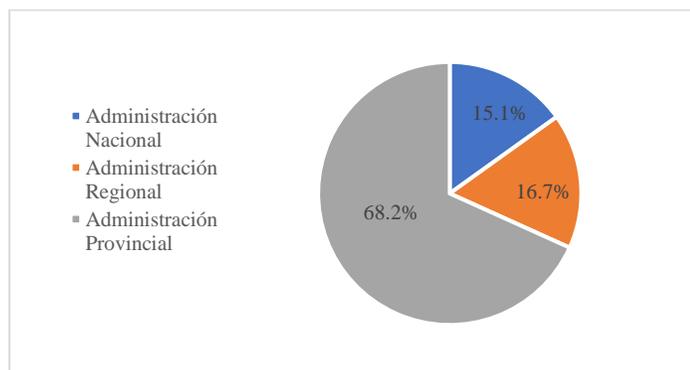
Figura 17. Casos según estrategia de pago



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en lo que respecta al tipo de promotor el 15,1% de obras son de Administración Nacional, mientras que el 16,7% son de Regional, y un 68,2% pertenecen a Provincial. Se obtuvo mayor cantidad de proyectos en provincial debido también a que existen mayor cantidad de administraciones provinciales (Figura 18).

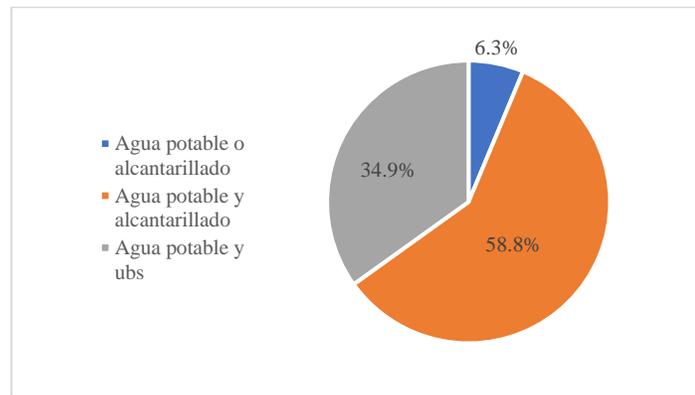
Figura 18. Casos por promotor



Fuente: Elaboración propia

También por tipo de actuación el 6,3% de obras son unicamente de agua potable o alcantarillado, mientras que el 58,8% son de Agua potable y alcantarillado, y un 34,9% son de agua potable y unidades basicas de Saneamiento (ubs) (Figura 19).

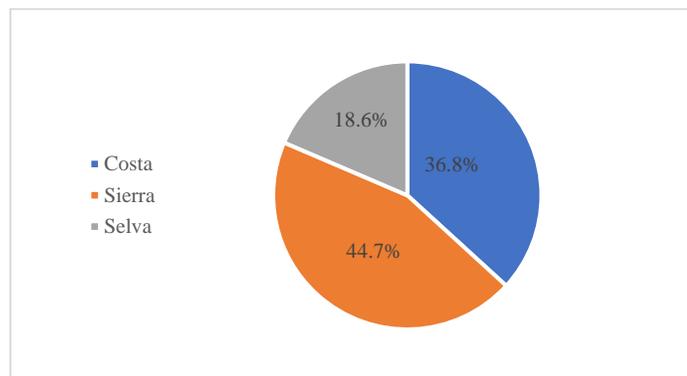
Figura 19. Casos por actuación



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a región geográfica el 36,8% de casos se ubican en la Costa, mientras que el 44,7% en la Sierra y un 18,6% en Selva (Figura 20).

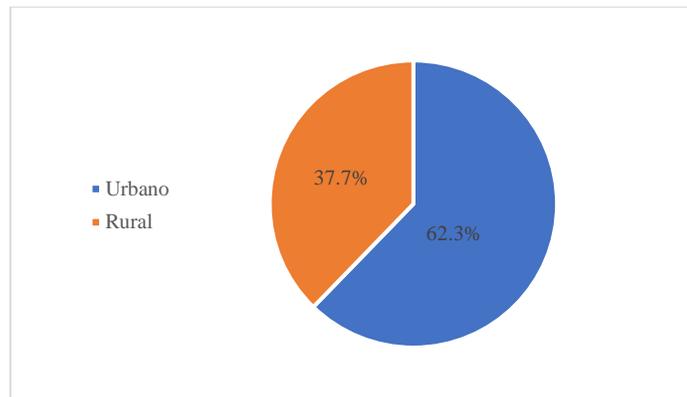
Figura 20. Casos por región geográfica



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el ámbito de ejecución, el 62,3% corresponde al ambito urbano, mientras que el 37,7% a rural (Figura 21).

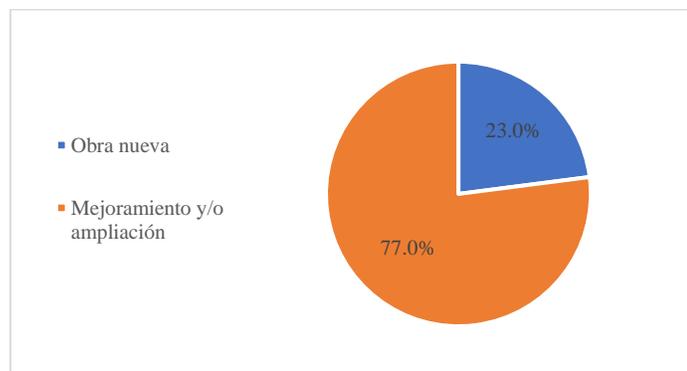
Figura 21. Casos por ámbito de ejecución



Fuente: Elaboracion propia

Respecto a la naturaleza de intervención el 23,0% de los contratos pertenece a obra nueva, mientras que el 77,0% son de Mejoramiento y/o ampliación (Figura 22).

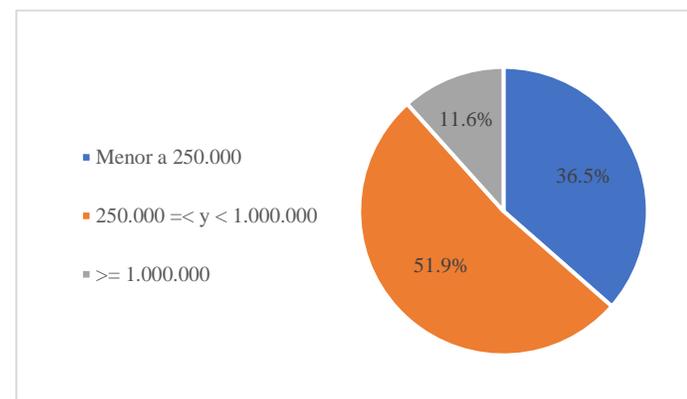
Figura 22. Casos por naturaleza de intervención



Fuente: Elaboración propia

Respecto al monto contractual se obtuvo que el 36,5% es menor a 250.000 euros, el 51,9% entre 250.000 y 1,000.000, y finalmente un 11,6% mayor a 1.000.000 (Figura 23).

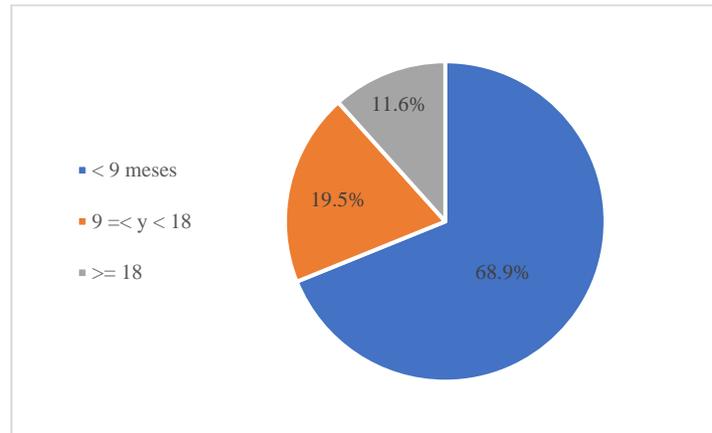
Figura 23. Casos por monto contractual (euros)



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al desfase en tiempo que existe entre la fecha de aprobación del proyecto constructivo y el inicio de obra, se obtuvo que el 68,9% de los contratos inicio obra en menos de 9 meses, el 19,5% se ejecutaron entre 9 y 18 meses, y finalmente un 11,6% fue con un tiempo mayor a 18 meses después de haberse aprobado el proyecto constructivo (Figura 24).

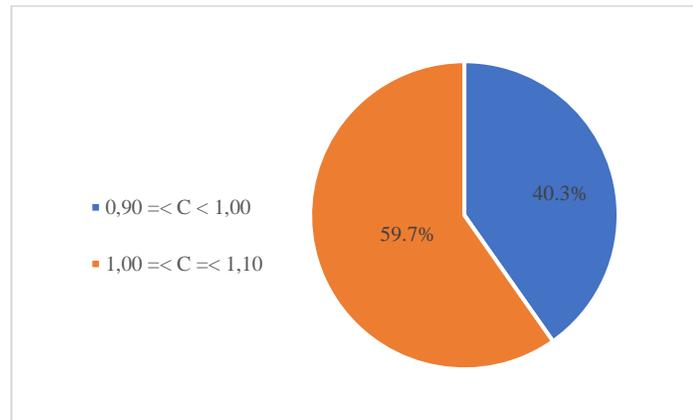
Figura 24. Casos por desfase de tiempo entre proyecto y obra



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al coeficiente de adjudicación, se obtuvo que el 40,3% se adjudicó con un valor entre menor a 1,00 mientras que el 59,7% fue mayor o igual a 1,00. Siempre teniendo en cuenta que el marco normativo peruano establece como límite inferior 0,90 y superior a 1,10 (Figura 25).

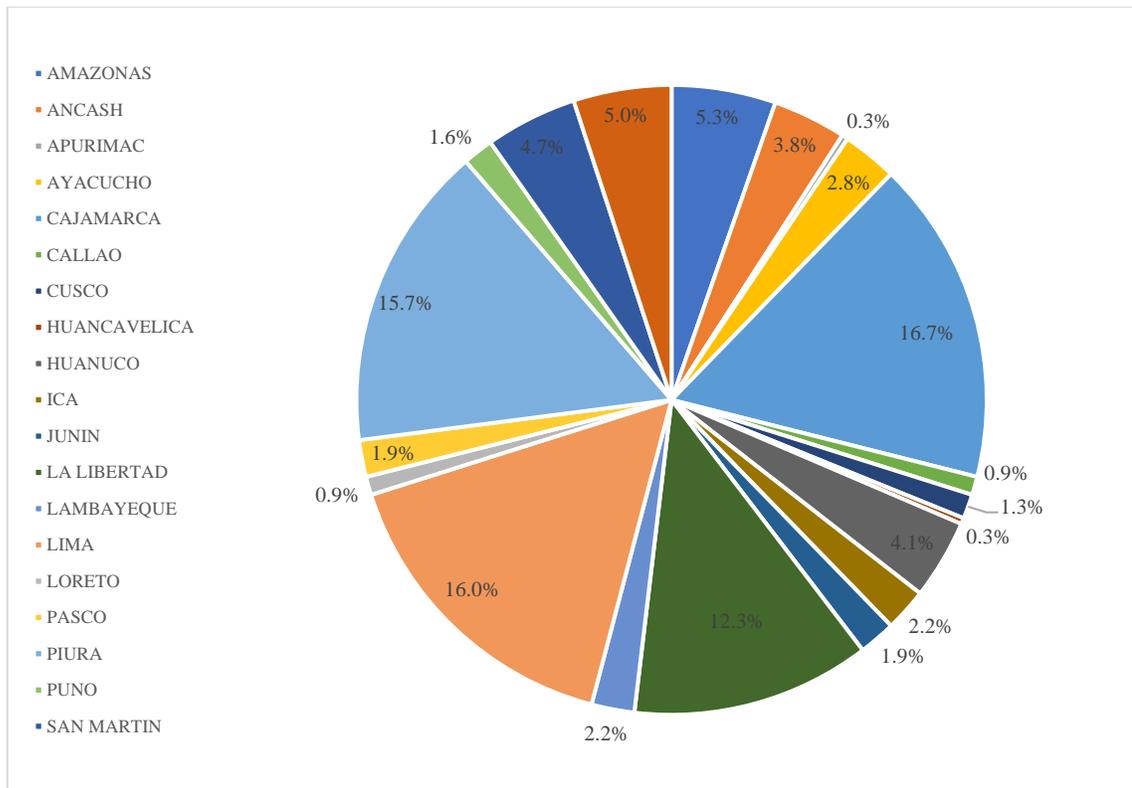
Figura 25. Casos por coeficiente de adjudicación



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en cuanto a la distribución de casos por departamentos se obtuvo contratos distribuidos en 20 de un total de 25 en los que se encuentra dividido el Perú. (24 departamentos más 01 provincia constitucional que es el Callao) (Figura 26).

Figura 26. Casos por departamentos



Fuente: Elaboración propia

También cabe mencionar que en lo que viene a ser la distribución de casos por provincias se obtuvo contratos en 81 provincias de un total de 196 que comprenden el Perú, es decir de un 41% de las provincias.

Luego, para el análisis de multicolinealidad entre las variables de estudio, la cual nos permite identificar variables que se encuentran fuertemente correlacionadas, es decir existe dependencia entre ellas, primero fue necesario determinar si las variables presentan una distribución normal o no normal. Para comprobar la normalidad de los datos se realizó la prueba de normalidad numérica denominada test de Kolmogorov-Smirnov.

Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 102 del Anexo 1, donde se comprueba que los datos de estudio presentan una distribución no normal (todas las variables tienen un nivel de significancia menor a 0,05), por lo cual se realizó un análisis estadístico no paramétrico.

Para el análisis de correlaciones a través del coeficiente de Spearman, se realizó para cada grupo de variables. Para el grupo de variables de contratación de acuerdo con la Tabla 103 del Anexo 2 se identificaron 6 correlaciones muy altas, las cuales vienen a ser variables que presentan un coeficiente mayor a 0,8 (Sanz, 2015), estas se muestran a continuación.

Tabla 12. Correlaciones identificadas de variables características de contratación

Variable de referencia	Variable correlacionada	Coefficiente de relación	Interpretación
CC_1 Presupuesto base de licitación	CC_9 Monto contractual inicial	0,997	Relación muy alta positiva
CC_1 Presupuesto base de licitación	CC_10 Plazo de ejecución inicial	0,821	Relación muy alta positiva
CC_5 Actuación	CC_7 Región geográfica	-0,822	Relación muy alta negativa
CC_9 Monto contractual inicial	CC_10 Plazo de ejecución inicial	0,826	Relación muy alta positiva
CC_12 Plazo real de ejecución	CC_13 Retraso total de obra	0,831	Relación muy alta positiva
CC_16 Año de aprobación del proyecto constructivo	CC_17 Año de inicio de obra	0,939	Relación muy alta positiva

Fuente: Elaboración propia

- El Presupuesto base de licitación (CC_1), monto contractual inicial (CC_9) y plazo de ejecución inicial (CC_10), presentan una relación muy alta positiva entre ellas, esto es lógico debido a que dichas variables presentan un comportamiento similar. Por lo cual para análisis posteriores únicamente se tomará en cuenta la variable Monto contractual inicial (CC_9), que perfectamente representa a las otras dos variables.
- La actuación (CC_5) y región geográfica (CC_7) presentan una correlación muy alta negativa entre ellas, esto es también es lógico debido a que es bastante común que la actuación en ámbito rural sea de agua potable y ubs. Por lo cual la variable a tener en cuenta es región geográfica (CC_7)
- El plazo real de ejecución (CC_12) y retraso de obra (CC_13) presentan una correlación muy alta positiva entre ellas, esto es también es lógico debido a que en la práctica ambas variables presentan un comportamiento similar. Por lo cual la variable a tener en cuenta es Retraso de obra (CC_13)
- El año de aprobación del proyecto constructivo (CC_16) y el año de inicio de obra (CC_17), presentan una correlación muy alta, esto es lógico debido a que ambas presentan un comportamiento similar. Por lo cual la variable a tener en cuenta en análisis posteriores es el año de inicio de obra (CC_17)

En base a estos resultados, para los posteriores análisis respecto al grupo de las variables de contratación se eliminan las variables CC_1, CC_5, CC_10, CC_12 y CC_16, debido a que se encuentran altamente representadas en las variables con las que tienen una relación muy alta. Finalmente en función de la correlación realizada se definió el listado definitivo de variables de contratación.

Tabla 13. Listado final de variables de características de contratación

Código	Nombre de variable
CC_2	Coficiente de adjudicación
CC_3	Estrategia de pago
CC_4	Promotor
CC_6	Región geográfica
CC_7	Ámbito de ejecución
CC_8	Naturaleza de intervención
CC_9	Monto contractual inicial
CC_11	Sobrecoste de obra
CC_13	Retraso de obra
CC_14	Tipo de desviación
CC_15	Desfase entre proyecto y obra
CC_17	Año de inicio de obra

Fuente: Elaboración propia

5.3. Principales riesgos de retraso y sobrecoste en la muestra

Luego de la revisión de documentos modificatorios de obra y teniendo como base los riesgos de la literatura, se identificaron los riesgos de retraso y sobrecoste que se encuentran presentes en la realidad peruana específicamente en obras de suministro de agua potable y saneamiento.

En la Tabla 14, se presenta la estructura de desglose de riesgos (EDR) únicamente con los riesgos encontrados en los documentos modificatorios, los cuales únicamente son procedentes siempre y cuando no son de responsabilidad del contratista.

Tabla 14. Estructura de desglose de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento

Categoría	Subcategoría	N°	Riesgo	Referencias
Involucrados	Cliente	R-1	Pago al contratista	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Niazi & Painting, 2017; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
		R-2	Problemas de disponibilidad de terrenos	(Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Jahangoshai Rezaee et al., 2021)
		R-3	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Alsuliman, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Kaliba et al., 2009; Niazi & Painting, 2017; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
		R-4	Aprobación de documentos de modificaciones de obra	(Yap et al., 2021)

	R-5	Absolución de consultas de obra	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios
	R-6	Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios
	R-7	Designación de dirección facultativa	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios
Constructor	-	-	-
	R-8	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	(Amoatey et al., 2015; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Kaliba et al., 2009; Patil & Ashta, 2017)
	R-9	Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	(Al-Hazim & Abusaleem, 2015; Alsuliman, 2019; Frimpong et al., 2003)
	R-10	Estudio de suelos defectuoso	(Doloi et al., 2012)
Consultor/ Diseñador	R-11	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusaleem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bajjou & Chafi, 2020; Faridi & El-Sayegh, 2006; Niazi & Painting, 2017; Patil & Ashta, 2017)
	R-12	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Odeh & Battaineh, 2002; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
	R-13	Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios
	R-14	Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios
Usuarios directos e indirectos del proyecto	R-15	Reclamos por usuarios directos del proyecto	(Durdyev et al., 2017)
Agentes gubernamentales y otras entidades	R-16	Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios
	R-17	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	(Durdyev et al., 2017; Ms. Leena Mali, 2016)
	R-18	Interrupción de obras externas debidos a	(Alaghbari et al., 2007)

			organismos públicos	
		R-19	Permisos gubernamentales	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Faridi & El-Sayegh, 2006; Patil & Ashta, 2017)
		R-20	Cambios normativa en	(Alaghbari et al., 2007; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Doloi et al., 2012; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
Contrato	Relación contractual entre las partes	R-21	Conflictos legales entre las partes	(Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007)
Recursos	Materiales y equipo	R-22	Escasez de materiales y equipos en el mercado	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Jahangoshai Rezaee et al., 2021; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
	Causas naturales	R-23	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	(Abdellatif & Alshibani, 2019; Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Bajjou & Chafi, 2020; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Elinwa & Joshua, 2001; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Kaliba et al., 2009; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
Condiciones imprevistas en ejecución	Huelgas y vandalismo	R-24	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso	(Amoatey et al., 2015; Kaliba et al., 2009)
		R-25	Inaccesibilidad al lugar de obra	(Doloi et al., 2012; Patil & Ashta, 2017)
	Condiciones del lugar de obra	R-26	Condiciones imprevistas del lugar de la obra	(Al-Hazim & Abusalem, 2015; Alaghbari et al., 2007; Amoatey et al., 2015; Bagaya & Song, 2016; Doloi et al., 2012; Durdyev et al., 2017; Faridi & El-Sayegh, 2006; Frimpong et al., 2003; Odeh & Battaineh, 2002; Patil & Ashta, 2017; Sambasivan & Soon, 2007; Yap et al., 2021)
	Covid	R-27	Estado de emergencia Covid	Agregado por encontrarse en documentos modificatorios

Fuente: Elaboración propia

Cabe aclarar que los riesgos pertenecientes a la subcategoría constructor están fuera del alcance de la presente investigación dado que la base de información fueron los documentos modificatorios por los cuales se otorga ampliaciones de plazo o reconocen costes adicionales al contratista, para lo cual de acuerdo con la normativa peruana es requisito indispensable que dicho contratista no tenga responsabilidad alguna en la ocurrencia del riesgo.

En total se identificaron 27 riesgos de retraso y sobrecoste, de los cuales 20 coinciden con la literatura, y 07 fueron agregados por encontrarse como justificantes en los documentos modificatorios de obra, además de ser específicos y recurrentes en este tipo de obras. Todos estos riesgos fueron clasificados en 10 subcategorías, y en un siguiente nivel de agruparon

en 04 categorías. Para estos riesgos también se analizó la multicolinealidad, destacando que no se identificó relaciones muy altas, es decir no se encontró un coeficiente de correlación mayor a 0,80.

5.4. Probabilidad e impacto de riesgos de retraso y sobrecoste identificados

En la Tabla 15, se presenta la frecuencia e impacto, y otros estadísticos importantes de todos los riesgos de retraso y sobrecoste identificados en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.

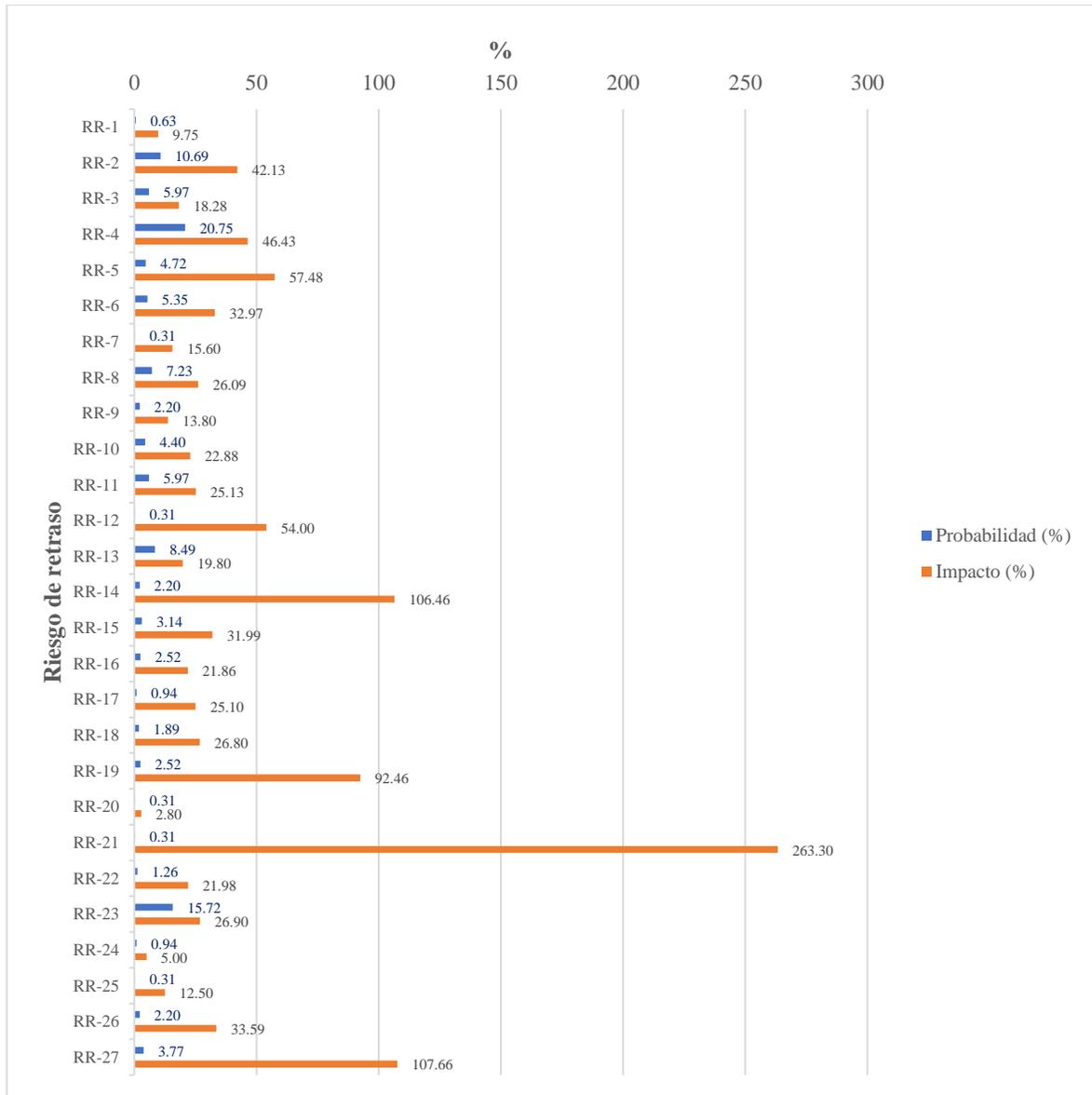
Tabla 15. Datos de probabilidad e impacto de riesgos de retraso y sobrecoste

Categoría	Subcategoría	N°	Riesgos	Probabilidad de retraso y/o sobrecoste		Probabilidad de retraso		Probabilidad de sobrecoste		Probabilidad de retraso y sobrecoste		Magnitud de impacto en el tiempo						Magnitud de impacto en el coste							
				Casos	%	Casos	%	Casos	%	Casos	%	Impacto mínimo		Impacto máximo		Media	Mediana	Desviación estándar	Impacto mínimo		Impacto máximo		Media	Mediana	Desviación estándar
												días	%	días	%				euros	%	euros	%			
Involucrados	Cliente	R-1	Pago al contratista	2,0	0,63	2	0,63	1	0,31	1	0,31	5,0	2,8	30,0	16,7	9,75	9,75	9,83	6.993,11	1,10	6.993,11	1,10	1,10	1,10	0,00
		R-2	Problemas de disponibilidad de terrenos	34,0	10,69	34	10,69	13	4,09	13	4,09	17,0	7,2	325,0	108,3	42,13	32,40	28,78	0,00	0,00	275.999,12	14,75	4,37	3,30	4,37
		R-3	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	26,0	8,18	19	5,97	25	7,86	18	5,66	4,0	2,1	93,0	54,7	18,28	16,70	11,40	0,00	0,00	324.247,06	15,00	4,50	4,00	4,02
		R-4	Aprobación de documentos de modificaciones de obra	66,0	20,75	66	20,75	10	3,14	10	3,14	2,0	1,1	274,0	200,0	46,43	34,15	39,99	1.828,53	0,20	212.213,62	8,97	3,08	2,05	3,08
		R-5	Absolución de consultas de obra	15,0	4,72	15	4,72	5	1,57	5	1,57	9,0	6,7	300,0	250,0	57,48	37,20	64,31	2.178,55	0,61	50.220,12	4,02	1,54	1,20	1,41
		R-6	Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	17,0	5,35	17	5,35	5	1,57	5	1,57	3,0	2,5	144,0	120,0	32,97	21,70	30,21	1.307,13	0,25	72.171,91	18,85	7,56	8,80	7,71
		R-7	Designación de dirección facultativa	1,0	0,31	1	0,31	0	0,00	0	0,00	14,0	15,6	14,0	15,6	15,60	15,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Consultor/Diseñador	R-8	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	29,0	9,12	23	7,23	27	8,49	21	6,60	12,0	6,7	101,0	60,0	26,09	20,00	15,78	0,00	0,00	277.052,07	14,91	5,46	4,40	4,50
		R-9	Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	35,0	11,01	7	2,20	32	10,06	4	1,26	7,0	4,7	55,0	20,0	13,80	15,00	5,80	189,81	0,04	2.995.080,15	16,79	4,42	3,10	4,32
		R-10	Estudio de suelos defectuoso	19,0	5,97	14	4,40	17	5,35	12	3,77	5,0	4,8	120,0	50,0	22,88	19,30	13,56	0,00	0,00	2.329.326,10	14,69	5,15	3,60	4,83
		R-11	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	30,0	9,43	19	5,97	26	8,18	15	4,72	13,0	3,6	110,0	50,0	25,13	22,80	13,36	290,50	0,03	325.185,04	14,97	6,16	4,75	4,95
		R-12	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	1,0	0,31	1	0,31	1	0,31	1	0,31	81,0	54,0	81,0	54,0	54,00	54,00	0,00	22.227,95	2,53	22.227,95	2,53	2,50	2,50	0,00
		R-13	Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	39,0	12,26	27	8,49	36	11,32	24	7,55	4,0	5,3	66,0	55,0	19,80	16,70	12,02	4,86	0,00	661.018,45	16,44	4,08	2,30	4,38
		R-14	Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño	7,0	2,20	7	2,20	0	0,00	0	0,00	19,0	6,1	510,0	566,7	106,46	22,20	205,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Usuarios directos e indirectos del proyecto	R-15	Reclamos por usuarios directos del proyecto	11,0	3,46	10	3,14	4	1,26	3	0,94	10,0	8,3	129,0	86,0	31,99	31,55	22,84	8.921,01	1,65	59.853,58	13,15	6,78	6,15	5,48
	Agentes gubernamentales y otras entidades	R-16	Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios	8,0	2,52	8	2,52	2	0,63	2	0,63	3,0	2,2	90,0	50,0	21,86	15,30	18,15	8.366,34	0,20	52.075,31	1,63	0,90	0,90	0,99
		R-17	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	3,0	0,94	3	0,94	1	0,31	1	0,31	23,0	11,7	87,0	48,3	25,10	15,30	20,17	3.368,18	0,40	3.368,18	0,40	0,40	0,40	0,00
		R-18	Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos	6,0	1,89	6	1,89	2	0,63	2	0,63	8,0	4,4	100,0	55,6	26,80	24,55	16,64	3.996,01	1,99	8.917,09	2,13	2,05	2,05	0,07
		R-19	Permisos gubernamentales	8,0	2,52	8	2,52	3	0,94	3	0,94	15,0	10,0	420,0	466,7	92,46	19,60	159,07	8.701,51	0,70	29.654,29	2,31	1,33	1,00	0,85
		R-20	Cambios en normativa	3,0	0,94	1	0,31	3	0,94	1	0,31	10,0	2,8	10,0	2,8	2,80	2,80	0,00	479,44	0,01	15.952,13	0,36	0,17	0,10	0,21
Contrato	Relación contractual entre las partes	R-21	Conflictos legales entre las partes	1,0	0,31	1	0,31	0	0,00	0	0,00	158,0	263,3	158,0	263,3	263,30	263,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Recursos	Materiales y equipo	R-22	Escasez de materiales y equipos en el mercado	4,0	1,26	4	1,26	0	0,00	0	0,00	13,0	8,8	30,0	50,0	21,98	14,55	18,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Condiciones imprevistas en ejecución	Causas naturales	R-23	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	50,0	15,72	50	15,72	8	2,52	8	2,52	3,0	1,1	297,0	150,6	26,90	14,15	29,92	1.742,84	0,06	25.945,33	4,56	1,50	1,00	1,48
	Huelgas y vandalismo	R-24	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso	3,0	0,94	3	0,94	0	0,00	0	0,00	1,0	0,6	11,0	8,3	5,00	6,10	3,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Condiciones del lugar de obra	R-25	Inaccesibilidad al lugar de obra	1,0	0,31	1	0,31	0	0,00	0	0,00	30,0	12,5	30,0	12,5	12,50	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		R-26	Condiciones imprevistas del lugar de la obra	11,0	3,46	7	2,20	9	2,83	5	1,57	13,0	8,7	208,0	69,3	33,59	25,00	22,54	0,00	0,00	277.370,72	8,31	2,79	1,00	3,09
	Covid	R-27	Estado de emergencia covid	12,0	3,77	12	3,77	12	3,77	12	3,77	81,0	49,7	185,0	193,3	107,66	89,35	48,26	0,00	0,00	157.378,18	6,05	2,58	2,15	2,15

Fuente: Elaboración propia

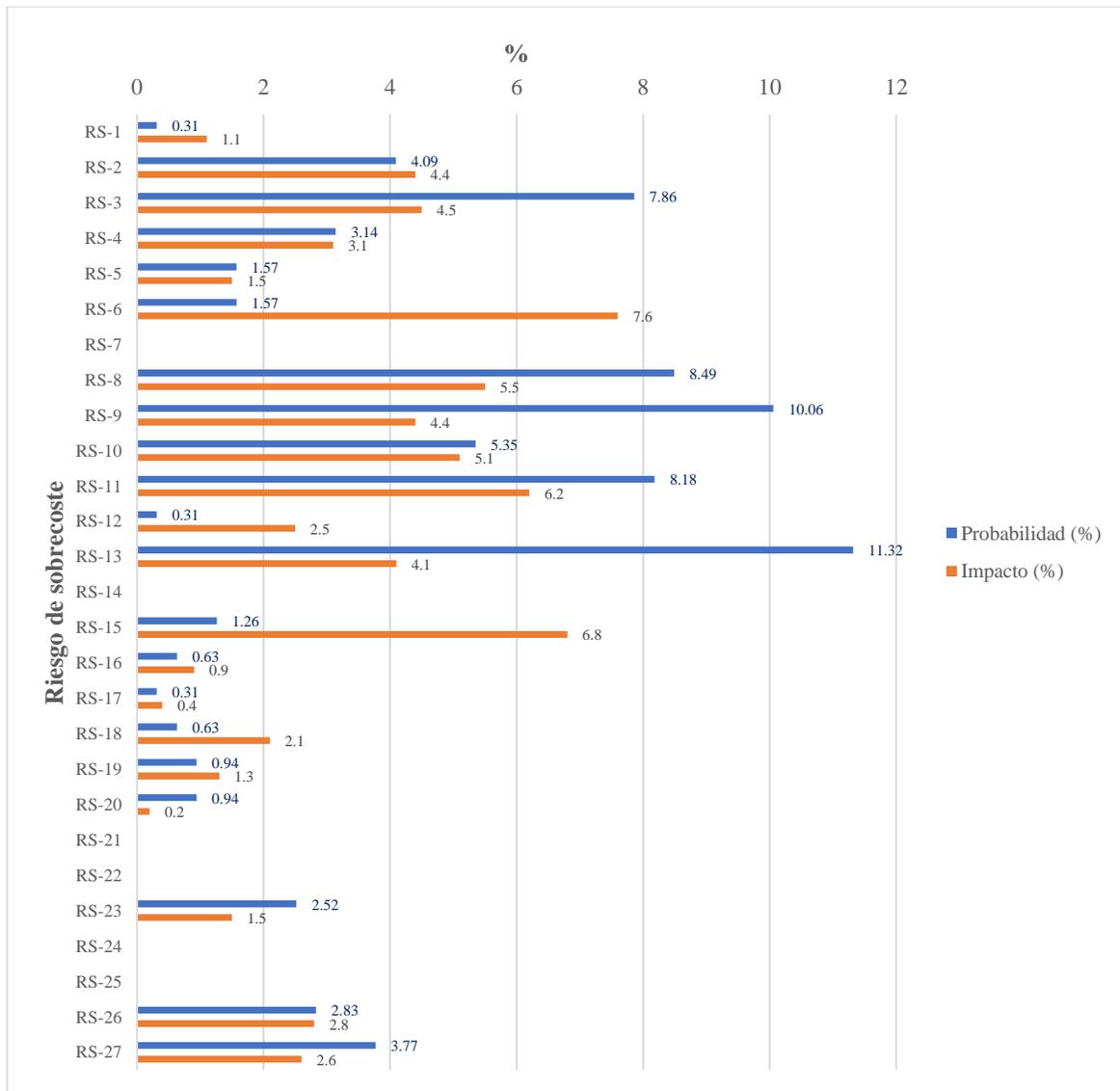
A continuación se muestra en la Figura 27 y Figura 28, la probabilidad e impacto de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste identificados en las obras.

Figura 27. Probabilidad e impacto de riesgos de retraso



Fuente: Elaboración propia

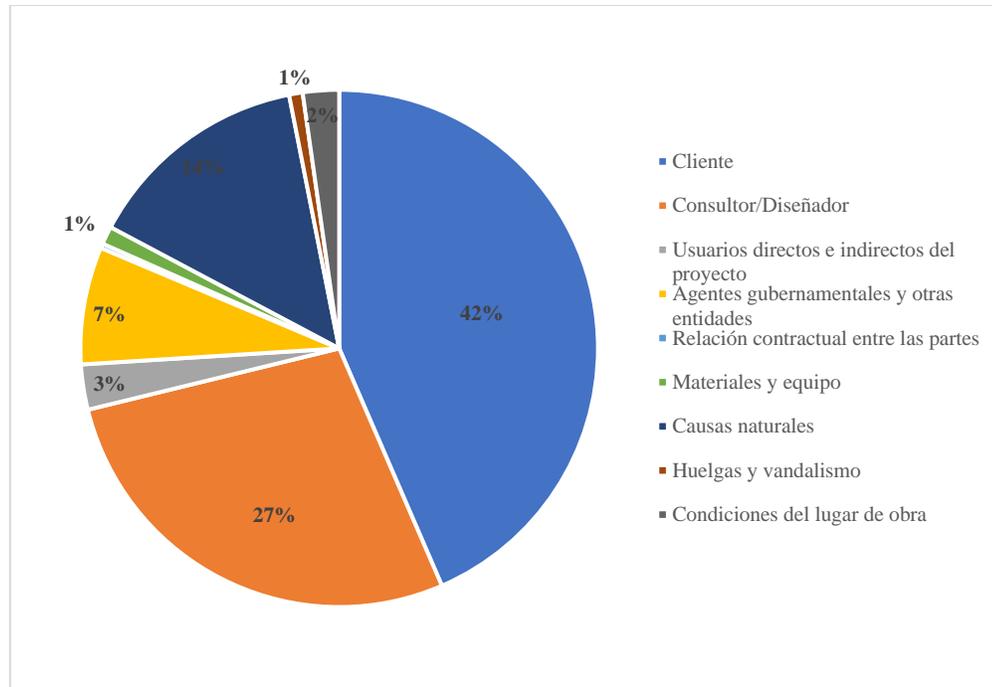
Figura 28. Probabilidad e impacto de riesgos de sobrecoste



Fuente: Elaboración propia

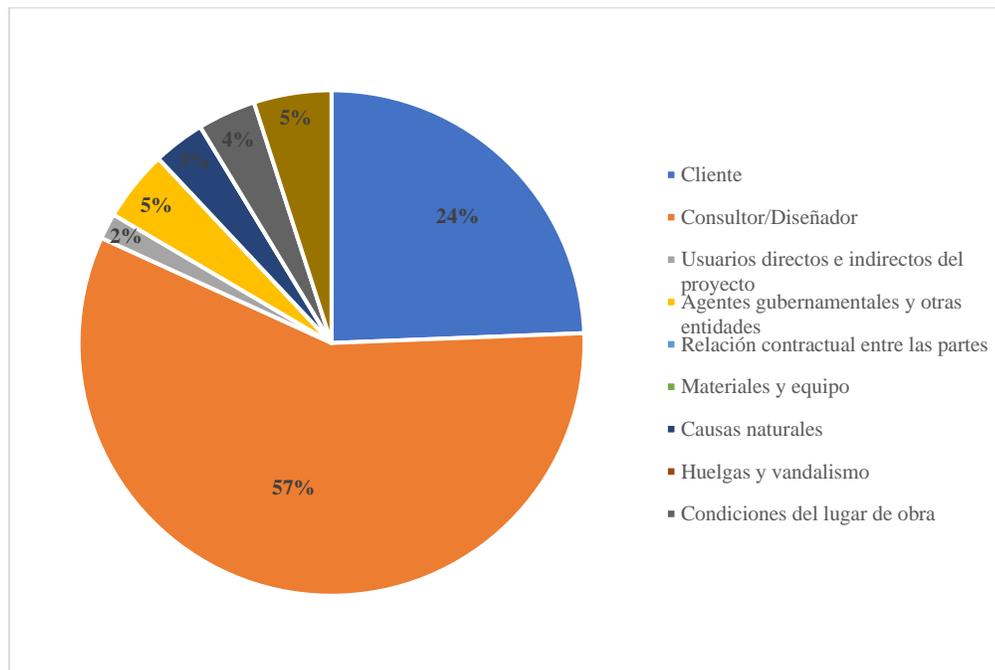
En la Figura 29 y Figura 30, se muestra la contribución relativa de cada subcategoría a la ocurrencia de riesgos de retraso y sobrecoste.

Figura 29. Contribución de subcategorías a ocurrencia de riesgos de retraso



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Contribución de subcategorías a ocurrencia de riesgos de sobrecoste



Fuente: Elaboración propia

De total de 27 riesgos identificados, el 100% de alguna manera presentaron impacto en el tiempo. Sin embargo, solo 21 de estos riesgos presentaron impacto en el coste, también es importante resaltar que es común encontrar impactos igual a cero en el caso de los riesgos de sobrecoste, dado que la ocurrencia de estos riesgos en muchas ocasiones conlleva realizar cambios al proyecto constructivo, es decir deducir algunos costes para incorporar otros, con lo cual estos dos montos en ocasiones pueden llegar a ser iguales provocando un impacto igual a cero.

En el caso de los riesgos de retraso, se encontró que pueden llegar a tener un impacto medio que va de 2,8 a 263,3% del plazo contractual original. Por otro lado, los riesgos de sobrecoste pueden llegar a tener un impacto medio de 0,2 a 7,6%. Como se puede observar existe una gran diferencia entre los máximos impactos en el tiempo y coste, esto es un indicador que el coste es un factor más sensible que el tiempo en este tipo de proyectos. También es interesante, destacar que el máximo impacto de los riesgos de sobrecoste se puede ver influenciado por el marco normativo el cual establece que ante un sobrecoste mayor a 15% debe pasar por revisión y aprobación de la contraloría general de la república.

De los resultados obtenidos también se encontró que el retraso medio que presentaron los contratos fue del 95,4%. Para el caso del sobrecoste se estimó que la ocurrencia de los riesgos en los contratos llegó a provocar un sobrecoste medio de 7,4%.

En la Figura 29 y Figura 30, es interesante observar que el cliente es la subcategoría que más contribuye en la ocurrencia de riesgos de retraso con una contribución relativa del 42%, seguido del consultor/diseñador con 27%. Sin embargo, para la ocurrencia de riesgos de sobrecoste, el consultor/diseñador es el que más contribuye con 57%, seguido del cliente con un 24%.

Estos resultados en cierta forma se alinean con lo encontrado por otros autores. En proyectos de carreteras se estimó que el sobrecoste medio es del 9,92% del importe inicial del contrato (Baccarini, 2004). Otros autores encontraron que el retraso medio en este tipo de proyectos es de 226% (Al-Hazim & Abusalem, 2015). Por otra parte, en Nigeria autores encontraron que el cliente es la parte que más contribuye a los retrasos en los proyectos de construcción (Elinwa & Joshua, 2001).

5.5. Respuesta a preguntas de investigación

5.5.1.P1: ¿Cuáles son los riesgos más importantes que se presentan en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Con esta pregunta se pretende identificar los riesgos de retraso y sobrecoste más importantes en las obras de suministro de agua potable y saneamiento, en función de su probabilidad de ocurrencia e impacto, para lo cual se realizó de dos formas: (1) mediante índices de importancia y (2) matriz de probabilidad e impacto.

En la Tabla 16, se muestra la clasificación según índice de importancia del impacto en el tiempo (I.I.T) e índice de importancia del impacto en el coste (I.I.C), se utilizó las ecuaciones (2) y (3) detallados en el apartado de metodología.

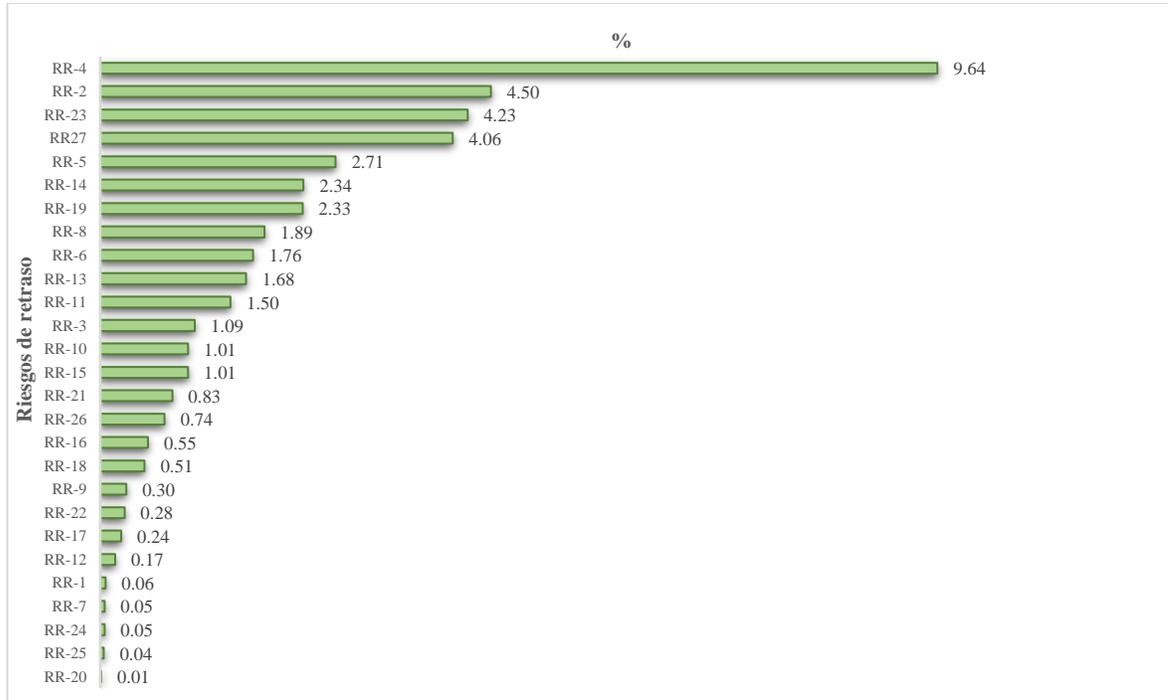
Tabla 16. Tabla de priorización de riesgos

Categoría	Subcategoría	Nº	Riesgos	Importancia del impacto en el tiempo				Importancia del impacto en el coste				
				Probabilidad (%)	Impacto (%)	I.I.I.T (%)	Clasificación	Probabilidad (%)	Impacto (%)	I.I.I.C (%)	Clasificación	
Involucrados	Cliente	R-1	Pago al contratista	0,63	9,75	0,06	22	0,31	1,1	0,00	14	
		R-2	Problemas de disponibilidad de terrenos	10,69	42,13	4,50	2	4,09	4,4	0,18	6	
		R-3	Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	5,97	18,28	1,09	12	7,86	4,5	0,35	4	
		R-4	Aprobación de documentos de modificaciones de obra	20,75	46,43	9,64	1	3,14	3,1	0,10	8	
		R-5	Absolución de consultas de obra	4,72	57,48	2,71	5	1,57	1,5	0,02	12	
		R-6	Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	5,35	32,97	1,76	9	1,57	7,6	0,12	7	
		R-7	Designación de dirección facultativa	0,31	15,60	0,05	23	0,00	0,0	0,00	-	
	Consultor/Diseñador	R-8	Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	7,23	26,09	1,89	8	8,49	5,5	0,46	2	
		R-9	Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	2,20	13,80	0,30	18	10,06	4,4	0,44	3	
		R-10	Estudio de suelos defectuoso	4,40	22,88	1,01	13	5,35	5,1	0,28	5	
		R-11	Errores y discrepancias en los documentos de diseño	5,97	25,13	1,50	11	8,18	6,2	0,50	1	
		R-12	Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra	0,31	54,00	0,17	21	0,31	2,5	0,01	13	
		R-13	Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	8,49	19,80	1,68	10	11,32	4,1	0,46	2	
		R-14	Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño	2,20	106,46	2,34	6	0,00	0,0	0,00	-	
		Usuarios directos e indirectos del proyecto	R-15	Reclamos por usuarios directos del proyecto	3,14	31,99	1,01	13	1,26	6,8	0,09	9
			R-16	Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios	2,52	21,86	0,55	16	0,63	0,9	0,01	13
		Agentes gubernamentales y otras entidades	R-17	Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad)	0,94	25,10	0,24	20	0,31	0,4	0,00	14
	R-18		Interrupción de obras externas debidos a organismos públicos	1,89	26,80	0,51	17	0,63	2,1	0,01	13	
	R-19		Permisos gubernamentales	2,52	92,46	2,33	7	0,94	1,3	0,01	13	
	R-20		Cambios en normativa	0,31	2,80	0,01	25	0,94	0,2	0,00	14	
	Contrato	Relación contractual entre las partes	R-21	Conflictos legales entre las partes	0,31	263,30	0,83	14	0,00	0,0	0,00	-
	Recursos	Materiales y equipo	R-22	Escasez de materiales y equipos en el mercado	1,26	21,98	0,28	19	0,00	0,0	0,00	-
	Condiciones imprevistas en ejecución	Causas naturales	R-23	Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	15,72	26,90	4,23	3	2,52	1,5	0,04	11
		Huelgas y vandalismo	R-24	Manifestaciones/huelgas en vías de acceso	0,94	5,00	0,05	23	0,00	0,0	0,00	-
		Condiciones del lugar de obra	R-25	Inaccesibilidad al lugar de obra	0,31	12,50	0,04	24	0,00	0,0	0,00	-
			R-26	Condiciones imprevistas del lugar de la obra	2,20	33,59	0,74	15	2,83	2,8	0,08	10
		Covid	R-27	Estado de emergencia covid	3,77	107,66	4,06	4	3,77	2,6	0,10	8

Fuente: Elaboración propia

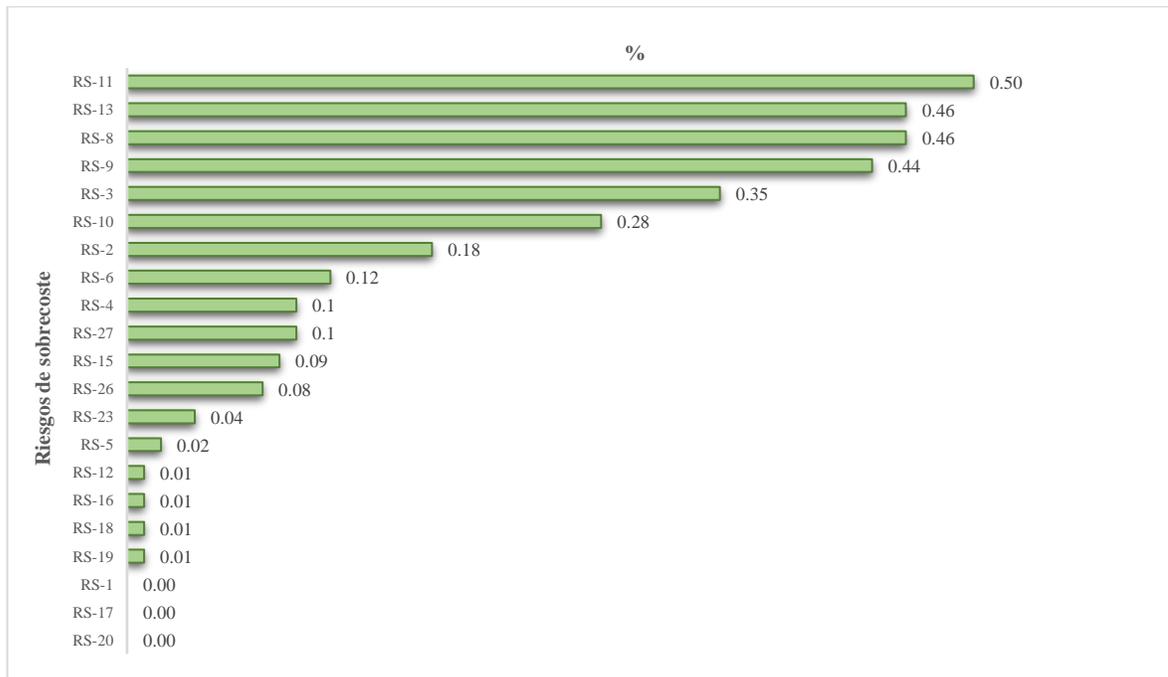
En la Figura 31 y Figura 32, se muestran la priorización de los riesgos de retraso y sobrecoste mediante índices de importancia en el tiempo y coste.

Figura 31. Índice de importancia del impacto en el tiempo



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Índice de importancia del impacto en el coste



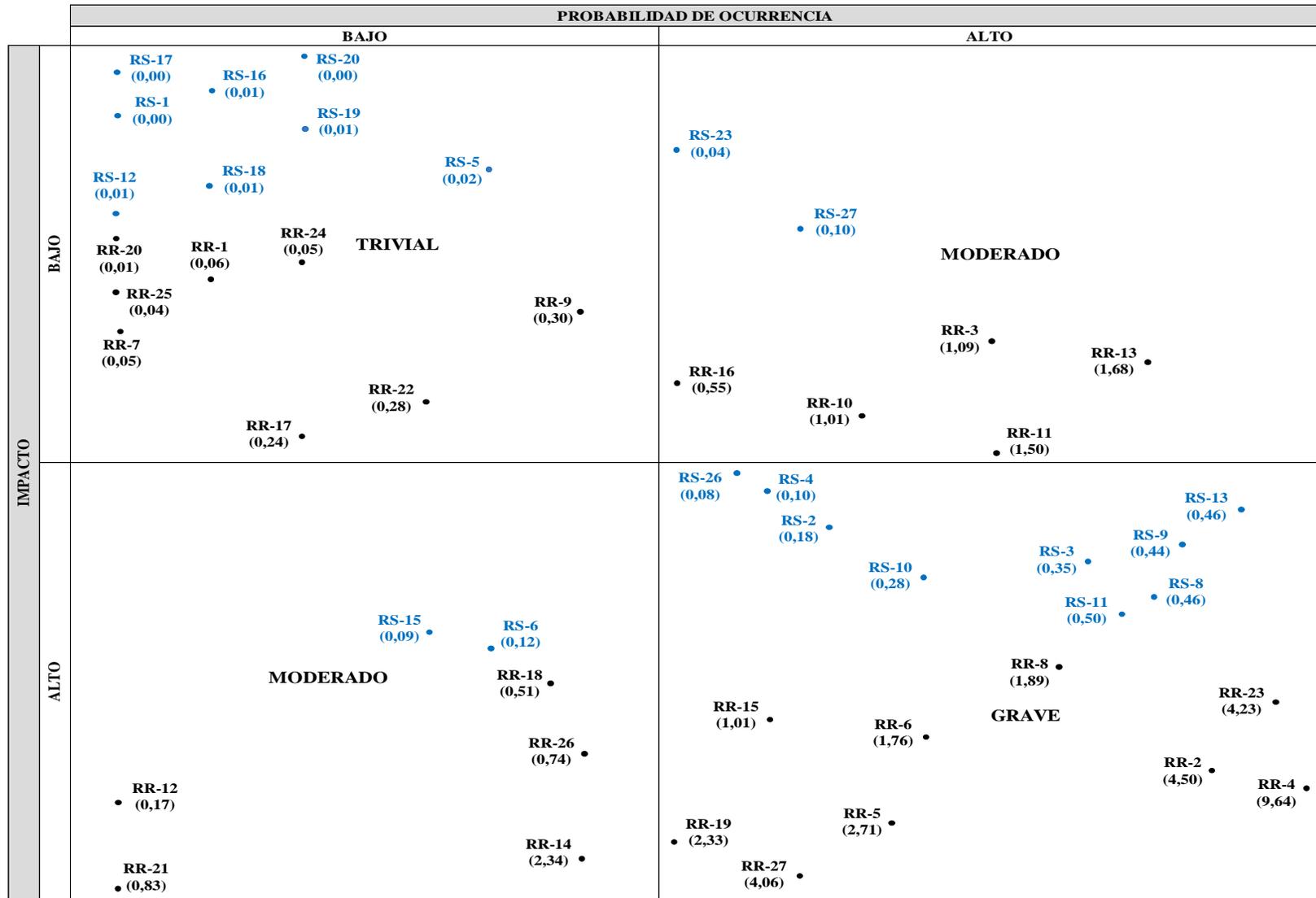
Fuente: Elaboración propia

A través de los índices de importancia se obtuvo una clasificación general de los riesgos. Siendo que de acuerdo con la importancia de impacto en el tiempo se tiene que el riesgo más importante es **Aprobación de documentos de modificaciones de obra** seguido de **Problemas de disponibilidad de terreno** y luego **Malas condiciones meteorológicas**, sin embargo para el coste el riesgo más importante viene a ser **Errores y discrepancias en los documentos de diseño** seguido de **Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original** y después **Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar**.

Así también para identificar los riesgos más importantes, se utilizó una matriz de probabilidad e impacto con cuatro cuadrantes a través del cual se estableció grupos de prioridad. Como valor límite entre bajo y alto de la probabilidad e impacto, se estableció la mediana de los valores medios de probabilidad e impacto de los riesgos encontrados en los contratos.

Para establecer el umbral de riesgo de retraso y sobrecoste, se consideró el valor de la mediana de los valores medios de probabilidad e impacto. En el caso de riesgos de retraso, para la probabilidad de ocurrencia este valor resultó ser 2,52%, lo cual significa que dicho riesgo ocurrió como mínimo en 8 contratos, para el impacto fue de 26,09%. Para riesgos de sobrecoste la mediana de probabilidad también resultó ser 2,52%, y para el impacto el valor fue de 2,79%. En la Figura 33 se muestra la matriz con la ubicación de los riesgos de retraso y sobrecoste en cada cuadrante, y su respectiva descripción de cada riesgo en la Tabla 17. Por otro lado en la Tabla 18 se muestra los riesgos más importantes tanto para el tiempo como el coste.

Figura 33. Matriz de Probabilidad e Impacto de riesgos de retraso y sobrecoste



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Clasificación de riesgos de retraso y sobrecoste

Riesgos	
Trivial	Moderado
<p>Riesgos de retraso</p> <ul style="list-style-type: none"> - RR-1: Pago al contratista - RR-7: Designación de dirección facultativa - RR-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño - RR-17: Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad) - RR-20: Cambios en normativa - RR-22: Escasez de materiales y equipos en el mercado - RR-24: Manifestaciones/huelgas en vías de acceso - RR-25: Inaccesibilidad al lugar de la obra <p>Riesgos de sobrecoste</p> <ul style="list-style-type: none"> - RS-1: Pago al contratista - RS-5: Absolución de consultas de obra - RS-12: Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra - RS-16: Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios - RS-17: Disponibilidad/autorización de servicios públicos en el lugar (agua, electricidad) - RS-18: Interrupción de obras externas debido a organismos públicos - RS-19: Permisos gubernamentales - RS-20: Cambios en normativa 	<p>Riesgos de retraso</p> <ul style="list-style-type: none"> - RR-3: Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales) - RR-10: Estudio de suelos defectuoso - RR-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño - RR-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar - RR-16: Permisos para realizar trabajos en obras existentes por parte de la empresa prestadora de servicios <p>Riesgos de sobrecoste</p> <ul style="list-style-type: none"> - RS-23: Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos) - RS-27: Estado de emergencia covid
Moderado	Grave
<p>Riesgos de retraso</p> <ul style="list-style-type: none"> - RR-12: Propuesta de métodos de control de calidad inadecuado en obra - RR-14: Falta de consultas adecuadas ante la autoridad del agua y/o ministerio de cultura en fase de diseño - RR-18: Interrupción de obras externas debido a organismos públicos - RR-21: Conflictos legales entre las partes - RR-26: Condiciones imprevistas en el lugar de la obra <p>Riesgos de sobrecoste</p> <ul style="list-style-type: none"> - RS-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor - RS-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto 	<p>Riesgos de retraso</p> <ul style="list-style-type: none"> - RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos - RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra - RR-5: Absolución de consultas de obra - RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor - RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original - RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto - RR-19: Permisos gubernamentales - RR-23: Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos) - RR-27: Estado de emergencia covid <p>Riesgos de sobrecoste</p> <ul style="list-style-type: none"> - RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos - RS-3: Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales) - RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra - RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original - RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño - RS-10: Estudio de suelos defectuoso - RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño - RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar - RS-26: Condiciones imprevistas en el lugar de la obra

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Riesgos más importantes en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú

Tipo	Riesgos más importantes (Graves)								
Riesgo de retraso	RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos	RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra	RR-5: Absolución de consultas de obra	RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto	RR-19: Permisos gubernamentales	RR-23: Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	RR-27: Estado de emergencia covid
Riesgo de sobrecoste	RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos	RS-3: Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra	RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	RS-10: Estudio de suelos defectuoso	RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño	RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	RS-26: Condiciones imprevistas en el lugar de la obra

Fuente: Elaboración propia

Tanto para riesgos de retraso y sobrecoste se identificó 9 riesgos graves que son aquellos que tienen alta probabilidad de ocurrencia y alto impacto. Estos riesgos graves no pueden ignorarse, sino que deben ser el centro de atención para el equipo del proyecto (Project Management Institute, 2017). En consecuencia, estos riesgos significativos son el centro de atención en análisis posteriores, y simulación en la que se examina el efecto global de los riesgos en el rendimiento de los plazos y costes de los proyectos de suministro de agua potable y saneamiento.

De la Tabla 18, se puede observar que los riesgos **Problemas de disponibilidad de terreno**, **Aprobación de documentos de modificaciones de obra** y **Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original**, son graves tanto para tiempo como para el coste.

Estos resultados demuestran que los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste identificados en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú son similares con descubrimientos de otros autores alrededor del mundo en distintos tipos de proyectos. En Indonesia se encontró que el riesgo de **Problemas de disponibilidad de terreno**, está dentro de los riesgos más importantes de retraso (Susanti, 2020), de igual manera en proyectos de suministro de agua potable en Irán (Feyzbakhsh et al., 2018)

Por otro lado el riesgo **Permisos gubernamentales** es uno de los principales factores que causa retraso en Marruecos (Bajjou & Chafi, 2020), en los Emiratos Árabes Unidos (Johnson & Babu, 2020), del mismo modo fue calificado como importante en proyectos de viviendas en Turquía (Aydn & Mihlayanlar, 2018), también en proyectos de suministro de agua potable en Irán (Feyzbakhsh et al., 2018) y en construcción de oleoductos en Australia (Orangi et al., 2011).

Por su parte el riesgo **Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original** es uno de los principales riesgos de retraso en proyectos de edificios residenciales en Camboya (Durdyev et al., 2017), y en proyectos de oleoductos en Australia (Orangi et al., 2011). Por otro lado, en el Reino Unido se encontró que es uno de los principales riesgos que causan sobrecoste (Odeyinka et al., 2013). Otras investigaciones, realizaron evaluaciones teniendo en cuenta ambos impactos de tiempo y coste, siendo que en Egipto es uno de los principales factores que contribuyen a retraso y sobrecoste (Al-Janabi et al., 2020), del mismo modo en los Emiratos Árabes Unidos (Johnson & Babu, 2020), y en proyectos de carreteras en Nigeria (Leo-Olagbaye & Odeyinka, 2020).

Otros autores también coinciden en que el riesgo de **Cambios en el alcance del proyecto** es uno de los más importantes de retraso en proyectos de Arabia Saudita (Assaf & Al-Hejji, 2006), de igual forma en los Emiratos Árabes Unidos (Johnson & Babu, 2020). Por otra parte, también es uno de los principales factores que causan sobrecoste en el Reino Unido (Odeyinka et al., 2013), en Israel (Rosenfeld, 2014), en Indonesia (Susanti, 2020), en Afganistán (Niazi & Painting, 2017), y en proyectos de carreteras en Zambia (Kaliba et al., 2009). Otros investigadores también lo identifican como uno de los principales riesgos de

retraso y sobrecoste en proyectos de carreteras en Nigeria (Leo-Olagbaye & Odeyinka, 2020), y Jordania (Al-Hazim & Abusalem, 2015).

Respecto al riesgo **Malas condiciones meteorológicas** es uno de los principales causantes de retraso en proyectos de edificios residenciales en Camboya (Durdyev et al., 2017), y en proyectos de oleoductos en Australia (Orangi et al., 2011). Otros autores descubrieron que es uno de los principales causantes de sobrecoste en proyectos de Reino Unido (Odeyinka et al., 2013). En Jordania es una de las principales causas de retraso y sobrecoste en proyectos de carreteras (Al-Hazim & Abusalem, 2015).

Del mismo modo, se encontró que el **Estudio de suelos defectuoso** es uno de los principales riesgos que causan retraso en proyectos de oleoductos en Australia (Orangi et al., 2011). Además de ser en Nigeria uno de los principales factores que causan retraso y sobrecoste en proyectos de carreteras (Leo-Olagbaye & Odeyinka, 2020). Por otro lado, otros autores destacan que este riesgo tiene mayor importancia en obras de infraestructuras que en edificaciones (Rosenfeld, 2014).

Por último, otros autores encontraron que el riesgo **Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño** es uno de los más importantes que causan sobrecoste en proyectos de los Emiratos Árabes Unidos (Johnson & Babu, 2020).

Resulta interesante como el riesgo de **Aprobación de documentos de modificaciones de obra**, resulta ser uno de los más importantes tanto para retraso como sobrecoste en este tipo de proyectos. Si bien es cierto este es un riesgo más directamente relacionado con el tiempo, sin embargo también tiene impacto en coste producto del reconocimiento de mayores gastos generales al contratista por ampliaciones de plazo. Este riesgo está relacionado con la propia gestión de las modificaciones de obra por las partes involucradas en la ejecución de una obra pública en Perú, es decir el contratista, dirección facultativa y promotor. Además se debe tener en cuenta que el marco normativo peruano exige que ante cualquier modificación al proyecto constructivo la administración debe solicitar opinión al proyectista, de esta manera ingresa un involucrado de mucha relevancia en este proceso de modificaciones de obra.

5.5.2.P2: ¿Existe asociación entre el retraso y sobrecoste para cada riesgo en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Con esta pregunta se pretende identificar si existe asociación entre el retraso y sobrecoste que provoca cada uno los riesgos más importantes en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.

Utilizando la herramienta SPSS se realizó la prueba de Chi-cuadrado de Pearson a los riesgos más importantes identificados en la pregunta 1, con el fin de evaluar si existe o no asociación entre la ocurrencia de retraso y sobrecoste de un mismo riesgo, además de determinar qué grado de asociación tienen. Un valor de significancia menor a 0,05, indica que si existe asociación (Field, 2009). En las Tablas 19 y 20, se presenta el resumen de la prueba de chi-cuadrado para cada uno de los riesgos.

Tabla 19. Asociación entre riesgos de retraso y sobrecoste: R-2, R-3, R-4, R-5, R-6, R-8, R-9 y R-10

Estadístico	Riesgos							
	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-8	R-9	R-10
Chi - cuadrado	113,22	210,55	39,42	102,61	89,94	218,85	17,53	186,94
Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Phi	0,597	0,814	0,520	0,568	0,532	0,830	0,235	0,767

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Asociación entre riesgos de retraso y sobrecoste: R-11, R-13, R-15, R-19, R-23, R-26 y R-27

Estadístico	Riesgos						
	R-11	R-13	R-15	R-19	R-23	R-26	R-27
Chi - cuadrado	134,81	176,84	68,67	117,36	43,99	122,48	318,00
Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Phi	0,651	0,746	0,465	0,607	0,372	0,621	1,000

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21 se presenta el grado de asociación entre la ocurrencia de retraso y sobrecoste para cada uno de los riesgos que presentaron asociación.

Tabla 21. Grado de asociación entre retraso y sobrecoste de los riesgos

Riesgo	Coficiente Phi	Asociación entre retraso y sobrecoste
R-27 Estado de emergencia covid-19	1,000	Perfecta
R-8 Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original	0,830	Muy alta
R-3 Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)	0,814	Muy alta
R-10 Estudio de suelos defectuoso	0,767	Alta
R-13 Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	0,746	Alta
R-11 Errores y discrepancias en los documentos de diseño	0,651	Alta
R-26 Condiciones imprevistas del lugar de la obra	0,621	Alta
R-19 Permisos gubernamentales	0,607	Alta
R-2 Problemas de disponibilidad de terrenos	0,597	Moderada
R-5 Absolución de consultas de obra	0,568	Moderada
R-6 Silencio administrativo ante solicitudes del constructor	0,532	Moderada
R-4 Aprobación de documentos de modificaciones de obra	0,520	Moderada
R-15 Reclamos por usuarios directos del proyecto	0,465	Moderada
R-23 Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)	0,372	Baja
R-9 Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	0,235	Baja

Fuente: Elaboración propia

El grado de asociación para los distintos riesgos, está relacionado con la posibilidad que al ocurrir el riesgo produzca en simultaneo retraso y sobrecoste en los proyectos. Es decir, en el caso del riesgo R-27_Estado de emergencia covid que presenta una asociación perfecta, siempre que ocurra dará lugar a retraso y sobrecoste en simultáneo. Por el contrario, los riesgos de R-23_Malas condiciones meteorológicas y R-9_Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, que presentan una asociación baja, esto quiere decir que ante la ocurrencia de dichos riesgos es poco probable que produzcan retraso y sobrecoste en simultáneo. En el Anexo 3, se presenta tablas de contingencia en la cual se estudia más a detalle la relación bivariada entre la ocurrencia de retraso y sobrecoste para cada riesgo.

A nivel mundial se han realizado muchas investigaciones sobre riesgos de retraso y sobrecoste en la construcción, donde la gran mayoría de autores han estudiado los riesgos de retraso y sobrecoste de manera independiente. Sin embargo, varios autores coinciden que los factores que causan retraso, también producen sobrecoste (Amoatey et al., 2015; Aydın & Mihlayanlar, 2018; Sambasivan & Soon, 2007). Otros investigadores concluyen que en proyectos públicos la relación entre los factores que producen retraso y sobrecoste es moderada (Apolot et al., 2011).

5.5.3.P3: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Con esta pregunta se busca identificar cuáles son las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos. Para lo cual con ayuda del programa SPSS se realizó un análisis de regresión logística binaria.

Primero se estableció como variable dependiente la variable Tipo de desviación (CC_14), la cual tiene cuatro categorías (Ninguno, retraso, sobrecoste, retraso y sobrecoste), entonces fue necesario transformar a dos niveles. Para ello cuando se analiza la variable dependiente retraso los niveles de “ninguno” y “sobrecoste” pasan a ser un solo nivel “no ocurre”, los demás niveles (retraso, retraso y sobrecoste) pasan a ser “ocurre”; y para el caso de sobrecoste los niveles de “ninguno” y “retraso” pasan a ser el nivel “no ocurre”, los demás niveles (sobrecoste, retraso y sobrecoste) pasan a ser “ocurre”, ahora ya con esta transformación las variables dependientes poseen dos posibles resultados (1: ocurre, 0: no ocurre). Como variables independientes se estableció las variables características de contratación (CC_), para las variables de tipo numéricas para un mejor análisis e interpretación de los resultados se transformaron a variables categóricas. En la Tabla 22 se muestra las variables independientes utilizadas para la regresión logística.

Luego se definió como categoría de referencia de la variable independiente a su nivel más bajo (valor cero). Con esto los resultados que proyecte el análisis de regresión se interpretarán como una comparación con dicha categoría de referencia.

Tabla 22. Variables independientes y sus categorías definidas para la regresión logística

Código	Nombre de variable	Categoría
CC_2	Coefficiente de adjudicación	0: 0,90 =< Coeficiente < 1,00 1: 1,00 =< Coeficiente <= 1,10
CC_3	Estrategia de pago	0: Suma alzada 1: Precios unitarios
CC_4	Promotor	0: Administración Nacional 1: Administración Regional 2: Administración Provincial
CC_6	Región geográfica	0: Costa 1: Sierra 2: Selva
CC_7	Ámbito de ejecución	0: Rural 1: Urbano
CC_8	Naturaleza de intervención	0: Obra nueva 1: Mejoramiento y/o ampliación
CC_9	Monto contractual inicial	0: Menor a 250.000 1: Entre 250.000 y 1.000.000 2: Mayor a 1.000.000
CC_15	Desfase entre proyecto y obra	0: Menor a 9 meses 1: Entre 9 y 18 meses 2: mayor a 18 meses
CC_17	Año de inicio de obra	0: Entre 2010 y 2013 1: Entre 2014 y 2017 2: Entre 2018 y 2021

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se generó los modelos de regresión logística binaria tanto para retraso como para sobrecoste. Cabe aclarar que la Tabla 23 y Tabla 24, presentan únicamente las variables que presentaron significancia para el modelo, es decir que sig. < 0,05. Dentro de estas variables, aquellas categorías que no presentaron diferencias significativas fueron agrupadas, quedándonos finalmente con las categorías que presentan diferencias significativas. Para los modelos de regresión logística, de la revisión del ajuste del modelo mediante el R-cuadrado de Nagelkerke con ayuda del programa SPSS, se obtuvo que el modelo para el retraso explica el 25,3% la varianza de la variable dependiente, y para el caso de sobrecoste el 21,8%.

Tabla 23. Regresión logística binaria de las características de contratación y retraso en contratos

Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
Categoría de referencia	Categorías de análisis							
		0,253						
Coefficiente de adjudicación								
0,90 =< C < 1,00	1,00 =< C < 1,10	-	-0,716	0,269	7,103	1	0,008	0,489
Promotor								
Otra administración	Administración regional	-	1,099	0,384	8,17	1	0,004	3,001
Monto contractual inicial					29,637	2	0,000	
Menor a 250,000	250,00 =< y < 1,000,000	-	1,062	0,266	16,005	1	0,000	2,893
	>= 1,000,000	-	3,371	0,759	19,722	1	0,000	29,113

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Regresión logística binaria de las características de contratación y sobrecoste en contratos

Variables independientes		R cuadrado Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
Categoría de referencia	Categorías de análisis							
		0,218						
Promotor								
Otra administración	Administración Regional		1,152	0,342	11,31	1	0,001	3,164
Monto contractual inicial					35,447	2	0,000	
Menor a 250,000	250,00 =< y < 1,000,000		1,194	0,273	19,094	1	0,000	3,299
	>= 1,000,000		2,587	0,48	29,096	1	0,000	13,289

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que mientras mayor sea el valor de Wald mayor será la contribución del predictor al modelo (Field, 2009), se tiene que la variable monto contractual con un Wald de 29,637 es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia de retraso, seguido del promotor con 8,17 y finalmente el coeficiente de adjudicación con 7,103. En el caso del sobrecoste, de igual manera el monto contractual es la variable que más influye con un Wald de 35,447, seguido del promotor con 11,31.

En resumen, se tiene que la variable **monto contractual inicial**, es la variable que más influye significativamente tanto en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos. Respecto al valor del Odds ratios, en ambos casos se observa una tendencia que a mayor monto contractual mayor es la probabilidad que el contrato finalice con retraso y sobrecoste. Siendo destacable esta probabilidad con 29,113 veces mayor para el retraso y 13,289 veces mayor para el sobrecoste, cuando el presupuesto es mayor a 1 millón comparado con un monto menor de 250 mil. Estos resultados guardan cierta coherencia con otras investigaciones donde se descubrió que los proyectos pequeños experimentan un mayor rendimiento en cuanto a costes y plazos (Heravi & Mohammadian, 2017)

En cuanto, a la variable **promotor** también es una variable que influye significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos. Siendo que cuando el promotor es una administración regional mayor es la probabilidad que el contrato finalice con retraso y sobrecoste, es decir dicho contrato tiene 3,001 veces mayor probabilidad que finalice con retraso y 3,164 veces mayor con sobrecoste, todo esto en comparación si el promotor es administración nacional o provincial. Este resultado en cierta forma se alinea con lo encontrado por Lozano (2012), quien advierte que en gobiernos regionales de Perú existe una falta de adecuada planificación en las diversas fases de obra, así como deficiencias en los estudios de ingeniería, incapacidad de gestión, improvisación y precipitación en la toma de decisiones, desorganización y negligencia en la ejecución, que comprometen la eficiente ejecución de las obras públicas afectando así los plazos, costes y la calidad final.

Por otro lado, resulta interesante que la variable **coeficiente de adjudicación** únicamente influye significativamente en la ocurrencia de retraso. Siendo que, cuando el contrato es adjudicado con un coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, existe 0,489 menos probabilidad que presente retraso, en comparación si se adjudica con un coeficiente menor a 1. En esta misma línea otros autores concluyen que adjudicaciones con coeficientes bajos influyen en la ocurrencia de retrasos (Alsuliman, 2019), y sobrecostes en los proyectos (Rosenfeld, 2014). Sin embargo, esta significancia en la ocurrencia de retraso y no en sobrecoste, se puede estar dando debido a que el factor económico es más sensible en proyectos públicos en Perú (el marco normativo estipula límite de sobrecoste, pero no de ampliaciones de plazo), entonces el contratista ante un déficit económico (producto de una adjudicación baja) y no otorgamiento de un adicional de coste, de alguna forma busca compensar con un mayor plazo.

5.5.4.P4: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Con esta pregunta se busca identificar cuáles son las variables de características de contratación que más influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos de retraso y sobrecoste más importantes en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.

De igual forma que en la pregunta anterior, con ayuda del programa SPSS se realizó el análisis de regresión logística binaria. En donde como variable dependiente se estableció las variables de riesgo de retraso (RR_) y sobrecoste (RS_), las cual poseen dos posibles resultados (1: ocurre, 0: no ocurre). Como variables independientes se estableció las mismas variables de características de contratación (CC_) de la Tabla 22 utilizadas en la pregunta anterior, con las mismas categorías de referencia.

Finalmente, se generó los modelos de regresión logística binaria para cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste. Cabe aclarar que a continuación se presentan únicamente los resultados para aquellos riesgos que de alguna forma presentan variables significativas, y con las variables de contratación que presentaron significancia para el modelo. También al igual que en la pregunta anterior aquellas categorías que no presentaron diferencias significativas fueron agrupadas, y se presentan las categorías con diferencias significativas.

Tabla 25. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-2: “Problemas de disponibilidad de terrenos”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,155						
	Promotor								
	Otra administración	Administración Regional		0,907	0,425	4,566	1	0,033	2,477
	Monto contractual inicial					18,15	2	0,000	
	Menor a 250,000	250,00 =< y < 1,000,000		1,208	0,569	4,507	1	0,034	3,347
		>= 1,000,000		2,535	0,623	16,534	1	0,000	12,611
Riesgo de sobrecoste			0,199						
	Promotor								
	Otra administración	Administración Regional		1,799	0,6	8,991	1	0,003	6,045
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,935	0,612	10,004	1	0,002	6,926

Fuente: Elaboración propia

El ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, nos dice que para el riesgo de retraso el modelo explica el 15,5% de la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 19,9%.

La variable **monto contractual inicial** es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Problemas de disponibilidad de terrenos” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 18,15 y 10,004 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se

observa una tendencia que a mayor monto contractual mayor probabilidad que se presente el riesgo. Para el caso del retraso, mayor es la probabilidad con 12,611 veces más cuando el presupuesto es mayor a 1 millón en comparación con un monto menor a 250 mil. Por su parte, para el sobrecoste se observa que cuando el monto es mayor a 1 millón tiene 6,926 veces mayor probabilidad que ocurra el riesgo de sobrecoste, que si el monto contractual es menor a 1 millón.

Por otro lado, se tiene que la variable **promotor** también influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Problemas de disponibilidad de terrenos” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 4,566 y 8,991 respectivamente. Siendo que cuando el promotor es una administración regional existe 2,477 y 6,045 veces mayor probabilidad que ocurran “Problemas de disponibilidad de terrenos” que ocasionen retraso y sobrecoste respectivamente, que si el promotor fuese una administración nacional o provincial.

Tabla 26. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-3: “Cambios en el alcance del proyecto”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso	Monto contractual inicial		0,115			8,573	2	0,014	
	Menor a 250,000	250,00 =< y < 1,000,000		2,199	1,048	4,403	1	0,036	9,02
		>= 1,000,000		3,103	1,099	7,972	1	0,005	22,258
Riesgo de sobrecoste	Monto contractual inicial		0,130			14,725	2	0,001	
	Menor a 250,000	250,00 =< y < 1,000,000		1,665	0,766	4,723	1	0,030	5,285
		>= 1,000,000		2,908	0,810	12,9	1	0,000	18,321

Fuente: Elaboración propia

En este caso el ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, indica que para el riesgo de retraso el modelo explica el 11,5% de la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 13,0%.

La variable **monto contractual inicial** es la única variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Cambios en el alcance del proyecto” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 8,573 y 14,725 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa una tendencia que a mayor monto contractual mayor probabilidad que se presente el riesgo. Siendo mucho mayor con 22,258 y 18,321 veces más la probabilidad que ocurra el riesgo de retraso y sobrecoste respectivamente, cuando el monto es mayor a 1 millón en comparación con un monto menor a 250 mil.

Tabla 27. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-4: “Aprobación de documentos de modificaciones de obra”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,067						
	Promotor								
	Otra administración	Administración Regional		0,791	0,338	5,495	1	0,019	2,206
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,074	0,374	8,245	1	0,004	2,927
Riesgo de sobrecoste			0,070						
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,715	0,671	6,526	1	0,011	5,556

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se tiene que para el riesgo de retraso el modelo explica el 6,7% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 7,0%.

La variable **monto contractual inicial** es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Aprobación de documentos de modificaciones de obra” para retraso y única variable para sobrecoste, con un Wald de 8,245 y 6,526 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando el monto es mayor a 1 millón tiene 2,927 y 5,556 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, comparado con un monto contractual menor a 1 millón.

Por otro lado, el **promotor** es una variable que influye significativamente únicamente en la ocurrencia del riesgo “Aprobación de documentos de modificaciones de obra” para retraso, con un Wald de 5,495. Siendo que cuando se trata de una administración regional tiene 2,206 veces mayor probabilidad que ocurra el riesgo y ocasione retraso, comparado con una administración nacional o provincial.

Para la ocurrencia del riesgo “Silencio administrativo ante solicitudes del consultor” era presumible pensar que podría depender del plazo que tiene la entidad para emitir pronunciamiento, por lo cual se consideró reagrupar la variable independiente CC_19 (año de inicio de obra) de acuerdo con las modificaciones que ha sufrido el reglamento de contrataciones respecto a plazos que tiene la entidad para emitir pronunciamiento sobre solicitudes, tal como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Reagrupación de la variable año de inicio de obra según modificaciones del reglamento

Variable	Variable	Categorías	Plazo según norma
CC_19	Año de inicio de obra	0: 2010 -2012 y 2016-2018 (158) 1: 2013 – 2015 y 2019-2021 (160)	10 días 14 y 15 días

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-6: “Silencio administrativo ante solicitudes del constructor”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,040						
	Estrategia de pago								
	Suma alzada	Precios unitarios		-1,059	0,521	4,129	1	0,042	0,347
Riesgo de sobrecoste	Ninguna variable presenta significancia								

Fuente: Elaboración propia

El ajuste del modelo mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 4,0% la varianza de la variable dependiente.

La variable **estrategia de pago** es la única variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Silencio administrativo ante solicitudes del constructor” para retraso con un Wald de 4,129. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando la estrategia de pago es precios unitarios tiene 0,347 veces menos probabilidad que ocurra el riesgo de retraso, comparado con suma alzada. Para el caso de riesgo de sobrecoste se obtuvo que no se ajusta a un modelo de regresión logística.

Tabla 30. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-8: “Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,052						
	Monto contractual inicial								
	Menor a 250 mil	Mayor a 250 mil		1,421	0,631	5,074	1	0,024	4,139
Riesgo de sobrecoste			0,048						
	Monto contractual inicial								
	Menor a 250 mil	Mayor a 250 mil		1,28	0,555	5,322	1	0,021	3,598

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 5,2% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 4,8%.

La variable **monto contractual inicial** es la única variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 5,074 y 5,322 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando el monto es mayor a 250 mil tiene 4,139 y 3,598 veces mayor probabilidad que ocurra el riesgo de retraso y sobrecoste respectivamente, en comparación con un monto contractual menor a 250 mil.

Tabla 31. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-9: “Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,073						
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,81	0,785	5,315	1	0,021	6,11
Riesgo de sobrecoste			0,0295						
	Naturaleza de intervención								
	Obra nueva	Mejoramiento y/o ampliación		-0,965	0,435	4,911	1	0,027	0,381
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,488	0,462	10,353	1	0,001	4,426

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 7,3% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 3,0%.

La variable **monto contractual inicial** es la única variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño” para retraso y la que más influye para sobrecoste, con un Wald de 5,315 y 10,353 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando el monto es mayor a 1 millón tiene 6,11 y 4,426 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, comparado con un monto contractual menor a 1 millón.

Por otro lado, la variable **naturaleza de intervención** influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño” para sobrecoste con un Wald de 4,911. Siendo que cuando la obra se trata de un Mejoramiento y/o ampliación tiene 0,381 veces menos probabilidad que ocurra el riesgo y ocasione sobrecoste, comparado con una obra nueva.

Tabla 32. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-10: “Estudio de suelos defectuoso”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,139						
	Coefficiente de adjudicación								
	0,90 <= baja < 1,00	1,00 <= baja < 1,10		-1,226	0,614	3,979	1	0,046	0,294
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,746	0,583	8,985	1	0,003	5,734
Riesgo de sobrecoste			0,140						
	Coefficiente de adjudicación								
	0,90 <= baja < 1,00	1,00 <= baja < 1,10		-1,208	0,556	4,72	1	0,030	0,299
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,71	0,539	10,047	1	0,002	5,529

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 13,9% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 14,0%.

La variable **monto contractual inicial** es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Estudio de suelos defectuoso” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 8,985 y 10,047 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando el monto es mayor a 1 millón tiene 5,734 y 5,529 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, comparado con un monto contractual menor a 1 millón.

Por otro lado, se tiene que la variable **coeficiente de adjudicación** también influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Estudio de suelos defectuoso” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 3,979 y 4,72 respectivamente. Siendo que cuando el contrato es adjudicado con un coeficiente mayor o igual a 1 tiene 0,294 y 0,299 veces menos probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, que si se adjudica con un coeficiente menor a 1.

Tabla 33. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-11: “Errores y discrepancias en los documentos de diseño”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,128						
	Promotor								
	Otra administración	Administración Regional		1,329	0,506	6,888	1	0,009	3,776
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,571	0,527	8,897	1	0,003	4,81
Riesgo de sobrecoste			0,145						
	Promotor								
	Otra administración	Administración Regional		1,214	0,455	7,115	1	0,008	3,368
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,757	0,463	14,427	1	0,000	5,794

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 12,8% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 14,5%.

La variable **monto contractual inicial** es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Errores y discrepancias en los documentos de diseño” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 8,897 y 14,427 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando el monto es mayor a 1 millón tiene 4,81 y 5,794 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, comparado con un monto contractual menor a 1 millón.

Por otro lado, se tiene que la variable **promotor** también influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Errores y discrepancias en los documentos de diseño” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 6,888 y 7,115 respectivamente. Siendo que cuando el promotor es una administración regional tiene 3,776 y 3,368 veces mayor probabilidad que ocurra el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, comparado con una administración nacional o provincial.

Tabla 34. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-13: “Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,033						
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		1,114	0,48	5,39	1	0,02	3,045
Riesgo de sobrecoste			0,123						
	Región geográfica								
	Otra región	Sierra		-1,091	0,429	6,467	1	0,011	0,336
	Naturaleza de intervención								
	Obra nueva	Mejoramiento y/o ampliación		1,312	0,627	4,382	1	0,036	3,715
	Monto contractual inicial								
	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón		0,979	0,44	4,959	1	0,026	2,662

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 3,3% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 12,3%.

La variable **monto contractual inicial** es una variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar” tanto para retraso como para sobrecoste, con un Wald de 5,39 y 4,959 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando el monto es mayor a 1 millón tiene 3,045 y 2,662 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, comparado con un monto contractual menor a 1 millón.

Por otro lado, la variable **región geográfica** es la que más influye en la ocurrencia del riesgo “Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar” para sobrecoste, con un Wald de 6,467. Siendo que cuando la obra se ubica en región sierra tiene 0,336 veces menos probabilidad que se presente el riesgo y ocasione sobrecoste, que si se ubica en costa o selva.

Otra variable, como la **naturaleza de intervención** también influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar” para sobrecoste, con un Wald de 4,382. Siendo que cuando la obra se trata de un Mejoramiento y/o ampliación tiene 3,715 veces mayor probabilidad que ocurra el riesgo y ocasione sobrecoste, comparado con una obra nueva.

Tabla 35. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-23: “Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,218						
	Región geográfica								
	Otra región	Selva		2,13	0,352	36,706	1	0,000	8,419
	Monto contractual inicial					6,726	2	0,035	
	Menor a 250,000	250,00 =< y < 1,000,000		0,823	0,402	4,2	1	0,040	2,277
		>= 1,000,000		1,279	0,528	5,861	1	0,015	3,593
Riesgo de sobrecoste			0,123						
	Región geográfica								
	Otra región	Selva		2,067	0,745	7,688	1	0,006	7,901

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 21,8% la varianza de la variable dependiente, y para el modelo de riesgo de sobrecoste explica el 12,3%.

La variable **región geográfica** es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)” para retraso y única variable para sobrecoste, con un Wald de 36,706 y 7,688 respectivamente. Respecto al Odds ratios, se observa que cuando la obra se ubica en región selva se tiene 8,419 y 7,901 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste respectivamente, que si se ubica en Costa o Sierra.

Por otro lado, la variable **monto contractual inicial**, influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)” para retraso, con un Wald de 6,726. Existiendo una tendencia que a mayor monto mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso. Siendo que cuando el monto contractual está entre 250 mil a 1 millón se tiene 2,277 veces más la probabilidad que ocurra el riesgo de retraso y 3,593 veces mayor cuando el monto es mayor a 1 millón, todo esto en comparación con un monto menor a 250 mil.

Tabla 36. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-26: “Condiciones imprevistas en el lugar de la obra”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,150						
	Desfase entre proyecto y obra								
	Menor a 9 meses	Mayor a 9 meses		2,644	1,087	5,913	1	0,015	14,065
Riesgo de sobrecoste	Ninguna variable presenta significancia								

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso el modelo explica el 15% la varianza de la variable dependiente.

La variable **desfase entre proyecto y obra** es la única variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Condiciones imprevistas en el lugar de la obra” para retraso, con un Wald de 5,913. Respecto al odds ratios, se observa que cuando el desfase entre la aprobación del proyecto constructivo e inicio de obra es mayor a 9 meses se tiene 14,065 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso, comparado con un desfase menor a 9 meses. Para el caso de riesgo de sobrecoste se obtuvo que no se ajusta a un modelo de regresión logística.

Tabla 37. Regresión logística binaria de las características de contratación y el riesgo R-27: “Estado de emergencia covid”

Variable dependiente	Variables independientes		R cuadrado de Nagelkerke	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B) Odds ratios
	Categoría de referencia	Categorías de análisis							
Riesgo de retraso			0,403						
	Año de inicio de obra								
	2010-2017	2018-2021		3,871	1,067	13,16	1	0,000	47,986
Riesgo de sobrecoste			0,403						
	Año de inicio de obra								
	2010-2017	2018-2021		3,871	1,067	13,16	1	0,000	47,986

Fuente: Elaboración propia

De la revisión del ajuste de los modelos mediante el R-cuadrado de Nagelkerke, se obtuvo que para el riesgo de retraso y sobrecoste el modelo explica el 40,3% la varianza de la variable dependiente.

La variable **año de inicio de obra** es la única variable que influye significativamente en la ocurrencia del riesgo “Estado de emergencia covid” tanto para retraso como sobrecoste, con un Wald de 13,16 en ambos casos. Respecto al odds ratios, se tiene que cuando el inicio de obra es entre 2018-2021 se tiene 47,986 veces mayor probabilidad que se presente el riesgo y ocasione retraso y sobrecoste, comparado con un inicio entre 2010-2017.

Cabe mencionar, que para los demás riesgos de retraso y sobrecoste también se realizó el análisis de regresión logística binaria, dando como resultado que no se ajustan a un modelo de regresión logística.

En base a todo lo anterior, a continuación se muestra un resumen de las variables de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de los riesgos de retraso y sobrecoste.

Tabla 38. Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-2, R-3 y R-4

Característica de contratación	R-2: Problemas de disponibilidad de terrenos		R-3: Cambios en el alcance del proyecto		R-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra	
	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste
Monto contractual inicial	Wald: 18,15	Wald: 10,004	Wald: 8,573	Wald: 14,725	Wald: 8,245	Wald: 6,526
	250 mil a 1 millón	Mayor a 1 millón	250 mil a 1 millón	250 mil a 1 millón	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón
	(3,347 veces mayor prob.)	(6,926 veces mayor prob.)	(9,02 veces mayor prob.)	(5,285 veces mayor prob.)	(2,927 veces mayor prob.)	(5,556 veces mayor prob.)
	Mayor a 1 millón		Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón		
	(12,611 veces mayor prob.)		(22,258 veces mayor prob.)	(18,321 veces mayor prob.)		
	* Categoría ref.: Menor a 250 mil	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 250 mil	* Categoría ref.: Menor a 250 mil	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón
Promotor	Wald: 4,566	Wald: 8,991			Wald: 5,495	
	Administración regional	Administración regional			Administración regional	
	(2,477 veces mayor prob.)	(6,045 veces mayor prob.)			(2,206 veces mayor prob.)	
	* Categoría ref.: Otra administración	* Categoría ref.: Otra administración			* Categoría ref.: Otra administración	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-6, R-8 y R-9

Característica de contratación	R-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor		R-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original		R-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño	
	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste
Monto contractual inicial			Wald: 5,074	Wald: 5,322	Wald: 5,315	Wald: 10,353
			Mayor a 250 mil	Mayor a 250 mil	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón
			(4,139 veces mayor prob.)	(3,598 veces mayor prob.)	(6,11 veces mayor prob.)	(4,426 veces mayor prob.)
			* Categoría ref.: Menor a 250 mil	* Categoría ref.: Menor a 250 mil	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón
Estrategia de pago	Wald: 4,129					
	Precios unitarios					
	(0,347 veces menos prob.)					
	* Categoría ref.: suma alzada					
Naturaleza de intervención						Wald: 4,911
						Mejoramiento y/o ampliación (0,381 veces menos prob.)
						* Categoría ref.: obra nueva

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-10, R-11 y R-13

Característica de contratación	R-10: Estudio de suelos defectuoso		R-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño		R-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar	
	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste
Monto contractual inicial	Wald: 8,985	Wald: 10,047	Wald: 8,897	Wald: 14,427	Wald: 5,39	Wald: 4,959
	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón	Mayor a 1 millón
	(5,734 veces mayor prob.)	(5,529 veces mayor prob.)	(4,81 veces mayor prob.)	(5,794 veces mayor prob.)	(3,045 veces mayor prob.)	(2,662 veces mayor prob.)
	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón	* Categoría ref.: Menor a 1 millón
Promotor			Wald: 6,888	Wald: 7,115		
			Administración regional	Administración regional		
			(3,776 veces mayor prob.)	(3,368 veces mayor prob.)		
			* Categoría ref.: Otra administración	* Categoría ref.: Otra administración		
Naturaleza de intervención					Wald: 4,382	Mejoramiento y/o ampliación
					(3,715 veces mayor prob.)	
					* Categoría ref.: obra nueva	
Región geográfica					Wald: 6,467	Sierra
					(0,336 veces menos prob.)	
					* Categoría ref.: otra región	
Coeficiente de adjudicación	Wald: 3,979	Wald: 4,72				
	Mayor o igual a 1	Mayor o igual a 1				
	(0,294 veces menos prob.)	(0,299 veces menos prob.)				
	* Categoría ref.: menor a 1	* Categoría ref.: menor a 1				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Resumen de características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos R-23, R-26 y R-27

Característica de contratación	R-23: Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)		R-26: Condiciones imprevistas en el lugar de la obra		R-27: Estado de emergencia covid	
	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste	Retraso	Sobrecoste
Región geográfica	Wald: 36,706		Wald: 7,688			
	Selva		Selva			
	(8,419 veces mayor prob.)		(7,901 veces mayor prob.)			
	* Categoría ref.: otra región		* Categoría ref.: otra región			
Monto contractual inicial	Wald: 6,726					
	250 mil a 1 millón					
	(2,277 veces mayor prob.)					
	Mayor a 1 millón					
Desfase entre proyecto y obra	(3,593 veces mayor prob.)					
	* Categoría ref.: Menor a 250 mil		Wald: 5,913			
			Mayor a 9 meses			
			(14,065 veces mayor prob.)			
Año de inicio de obra			* Categoría ref.: menor a 9 meses		Wald: 13,16	
					Wald: 13,16	
					2018-2021	
					(47,986 veces mayor prob.)	
				* Categoría ref.: 2010-2017		
				* Categoría ref.: 2010-2017		

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de regresión logística, se encontró que la variable **monto contractual inicial** es la variable que influye significativamente en la ocurrencia de la mayor cantidad de riesgos (9 riesgos), siendo siempre que a mayor monto contractual mayor es la probabilidad que ocurran los riesgos. Tal es el caso de los riesgos: problemas de disponibilidad de terrenos, cambios en el alcance del proyecto, aprobación de documentos de modificaciones de obra, rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, estimación del coste de obra en fase de diseño, estudio de suelos defectuoso, y errores y discrepancias en los documentos de diseño, donde el monto contractual es la variable que más influye tanto para retraso como sobrecoste; también sin llegar a ser la variable más importante, en el caso del riesgo de levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, influye significativamente para retraso y sobrecoste; y en el caso de malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos), influye significativamente para retraso. Estos resultados dejan en evidencia que cuanto mayor es el tamaño del proyecto mayores riesgos enfrenta al momento de su ejecución.

Por otra parte, la variable **promotor** también influye significativamente en la ocurrencia de algunos riesgos, siendo siempre que cuando se trata de una administración regional existe mayor probabilidad de ocurrencia de los riesgos como problemas de disponibilidad de terrenos (para retraso y sobrecoste), aprobación de documentos de modificaciones de obra (para retraso), y errores y discrepancias en documentos de diseño (para retraso y sobrecoste). Estos resultados en cierta forma se alinea con lo ya encontrado por Lozano (2012), quien advierte que en gobiernos regionales de Perú existe deficiencias en los estudios de ingeniería, incapacidad de gestión, improvisación y precipitación en la toma de decisiones, desorganización y negligencia en la ejecución, que comprometen la eficiente ejecución de las obras públicas afectando así los plazos, costes y la calidad final.

También se tiene que la variable **estrategia de pago** influye significativamente en la ocurrencia del riesgo silencio administrativo ante solicitudes del constructor (para retraso), siendo que cuando se ejecuta por precios unitarios existe menos probabilidad de ocurrencia del riesgo silencio administrativo ante solicitudes del constructor. Algo con mucho sentido, dado que como el propio marco normativo estipula que en contratos a suma alzada la cantidad y calidad de la obra son claramente conocidos en los documentos del proyecto constructivo, en este sentido es más riguroso en cuanto a modificaciones durante la ejecución, entonces esto conlleva a que ante solicitudes de modificaciones en plazo y coste por parte del contratista, la administración requiera de mayor sustento y tiempo para evaluar la procedencia de dicha solicitud, por el contrario en contratos a precios unitarios la normativa deja abierto la posibilidad de modificaciones al contrato.

De igual manera, se tiene que la variable **naturaleza de intervención** influye significativamente en la ocurrencia de los riesgos estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño (para sobrecoste) y levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar (para sobrecoste), siendo que cuando se trata de una obra de mejoramiento y/o ampliación existe menos probabilidad que ocurra el riesgo de estimación del coste de obra en fase de diseño, sin embargo en este tipo de contratos de mejoramiento y/o ampliación existe mayor probabilidad que ocurra el riesgo de levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar. Ambos resultados resultan lógicos debido a que evidentemente es menos complicado cuantificar el alcance de los trabajos a ejecutar cuando ya se cuenta como base una obra existente, por el contrario en este tipo de obras de mejoramiento y/o ampliación resulta más complicado realizar un levantamiento exacto de la situación actual dado que se cuenta con obras existentes enterradas de las cuales se debe recabar toda la información a fin de ser evaluadas para determinar su estado actual y alcance de la obra.

Por otro lado, se tiene que la variable **coeficiente de adjudicación** influye significativamente en la ocurrencia del riesgo estudio de suelos defectuoso (para retraso y sobrecoste), siendo que cuando se adjudica las obras con un coeficiente mayor o igual a 1, existe menos probabilidad que ocurra el riesgo de estudio de suelos defectuoso. Este resultado es

interesante en la medida que un estudio de suelos defectuoso es producto de la fase de diseño, sin embargo en este tipo de obras donde gran parte del presupuesto es dedicado a excavaciones resulta coherente que ante cualquier mínima deficiencia en el estudio de suelos y ante un déficit económico (debido a adjudicación baja), el contratista realice solicitudes de adicionales de coste invocando a la causal de estudio de suelos defectuoso.

También respecto a la **región geográfica**, se tiene que es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia de los riesgos de levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar (para sobrecoste) y malas condiciones meteorológicas (para retraso y sobrecoste). Siendo que cuando la obra se ubica en la región sierra tiene menos probabilidad que ocurra el riesgo levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, sin embargo cuando se trata de región selva existe mayor probabilidad que ocurra el riesgo de malas condiciones meteorológicas. Ambos resultados tienen coherencia con la realidad peruana, siendo que en la región sierra por las pendientes pronunciadas que existe, en fase de diseño se tiene una mayor holgura para el error al momento de levantar las condiciones actuales de la obra (específicamente alturas), mientras que en región selva y costa por su propia pendiente plana ante un mínimo error, el sistema hidráulico puede no funcionar provocando la necesidad de realizar modificaciones al proyecto; por otro lado es bien conocido que la región con mayores precipitaciones en Perú es la selva.

Otra variable es el **desfase entre proyecto y obra**, la cual influye significativamente en la ocurrencia del riesgo de condiciones imprevistas en el lugar de la obra (para retraso), siendo que cuando el desfase es mayor a 9 meses existe mayor probabilidad que ocurra el riesgo de condiciones imprevistas en el lugar de la obra. Este resultado resulta lógico debido a que cuanto mayor tiempo transcurra desde que se aprobó el proyecto constructivo, existe mayor probabilidad que las condiciones del lugar que motivaron el diseño sufran cambios por la propia naturaleza o por acción del hombre. Este resultado es interesante en la medida que se alinea con lo exigido por la normativa peruana la cual indica que el presupuesto de obra a nivel de proyecto constructivo antes de iniciar con la licitación, debe tener una antigüedad menor a 9 meses (Decreto Supremo N° 344-2018-EF, 2018).

Por último, la variable **año de inicio de obra** influye significativamente en la ocurrencia del riesgo estado de emergencia covid, siendo que las obras ejecutadas del 2018 hacia adelante presentan mayor probabilidad de ocurrencia del riesgo estado de emergencia covid. Este resultado es bastante lógico debido a que pandemia tuvo lugar en marzo del 2020.

5.5.5.P5: ¿Qué variables de las características de contratación influyen significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento?

Con esta pregunta se pretende identificar las características de contratación que influyen significativamente en la magnitud del retraso y sobrecoste en los contratos. Por lo cual con ayuda del programa SPSS se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para el retraso y otra para el sobrecoste. Como variable dependiente en el análisis de la magnitud de retraso se consideró la variable CC-13 (Retraso de obra), la cual es el porcentaje de retraso con el que finalizó el contrato. Para el caso del sobrecoste se consideró la variable CC-11 (Sobrecoste de obra), cabe aclarar que se encontró casos que aun cuando ocurren los riesgos y provocan un impacto en el coste, dicho contrato finaliza con un monto menor al contratado inicialmente, todo esto debido a diversas circunstancias durante la ejecución como reducción de metas y/o penalidades incurridas por el contratista, por lo cual se optó por considerar el sobrecoste total que provocaron los riesgos en cada uno de los contratos. Como variables independientes se consideró las características de contratación (CC_), estas variables en este tipo de análisis pueden ser numéricas o categóricas (Field, 2009), por lo cual no fue necesario transformar las variables numéricas a categóricas. En la Tabla 42 se muestra las variables independientes utilizadas para la regresión lineal múltiple. Para una mejor interpretación de los resultados, se expresó la variable monto contractual a por cada 100 mil euros.

Tabla 42. Variables independientes para análisis de regresión lineal múltiple

Código	Nombre de variable	Unidad/valores
CC_2	Coficiente de adjudicación	0,90 a 1,10
CC_3	Estrategia de pago	0: Suma alzada 1: Precios unitarios
CC_4	Promotor	0: Administración Nacional 1: Administración Regional 2: Administración Provincial
CC_6	Región geográfica	0: Costa 1: Sierra 2: Selva
CC_7	Ámbito de ejecución	0: Rural 1: Urbano
CC_8	Naturaleza de intervención	0: Obra nueva 1: Mejoramiento y/o ampliación
CC_9	Monto contractual inicial	100 mil euros
CC_15	Desfase entre proyecto y obra	Meses
CC_17	Año de inicio de obra	2010 - 2021

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se generó los modelos de regresión lineal múltiple tanto para retraso como para sobrecoste. Cabe aclarar que la Tabla 43 y Tabla 44, presentan únicamente las variables que presentaron significancia para el modelo.

El ajuste del modelo R cuadrado nos dice que el modelo de retraso explica el 10,4% y el de sobrecoste el 12,5% de la variación de la variable dependiente, el estadístico F con su nivel de significancia menor de 0,05 en ambos casos nos dice que existe una relación lineal significativa entre las variables independientes con la variable dependiente. Por otro lado, el VIF medio de los modelos de retraso y sobrecoste tienen un valor de 1,001 y 1,012 respectivamente, lo cual está muy cerca de 1 y esto indica que la colinealidad no es un problema para estos modelos.

Tabla 43. Regresión lineal múltiple de las características de contratación y magnitud de retraso

Variable independiente	R cuadrado	F	B	t	sig
	0,104	18,224			0,000
Constante			0,337	5,067	0,028
MCI			0,006	2,434	0,016
PAR			0,864	5,579	0,000

PAR: Promotor Administración regional

MCI: Monto contractual inicial

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Regresión lineal múltiple de las características de contratación y magnitud de sobrecoste

Variable independiente	R cuadrado	F	B	t	sig
	0,125	14,944			0,021
Constante			0,150	3,146	0,002
MCI			0,001	4,188	0,000
PAR			0,035	4,521	0,000
EPPU			0,014	2,316	0,021

PAR: Promotor Administración regional

MCI: Monto contractual inicial

EPPU: Estrategia de pago precios unitarios

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que mientras mayor sea el valor del estadístico t mayor será la contribución del predictor al modelo (Field, 2009), se tiene que la variable promotor administración regional con un valor del t igual a 5,579 es la variable que más influye significativamente en la magnitud de retraso, seguido de monto contractual con 2,434. En el caso de la magnitud de sobrecoste, de igual manera el promotor administración regional es la variable que más influye con un t de 4,524, seguido del monto contractual con un valor de 4,188 y finalmente la estrategia de pago por precios unitarios con 2,316.

En resumen, se tiene que el **promotor** es la variable que más influye en la magnitud de retraso y sobrecoste, siendo que cuando se trata de una administración regional la magnitud de retraso aumenta en 86,4% y sobrecoste aumenta en 3,5%, todo esto siempre y cuando se mantienen constantes las demás variables predictoras. Este resultado tiene coherencia con otras investigaciones, donde se encontró que en proyectos del tipo diseño-licitación-construcción el promotor desempeña un papel importante en el rendimiento de los costes (Lu et al., 2017), además en otra investigación mediante un análisis de regresión lineal se

identificó que la lentitud en la toma de decisiones por parte del cliente influye significativamente en el retraso global del proyecto (Doloi et al., 2012). Adicionalmente se tiene que en los gobiernos regionales de Perú existe una deficiencia en planificación y gestión que comprometen la eficiente ejecución de las obras públicas afectando así los plazos y costes (Lozano, 2012).

Por otro lado, para la variable **monto contractual inicial** se tiene que cuanto mayor es el monto contractual mayor será la magnitud de retraso y sobrecoste. Es decir, al aumentar el monto contractual en una unidad, el retraso aumenta en 0,006 y sobrecoste en 0,001 unidades. Entonces dado que la unidad del monto contractual se definió en 100 mil euros, el retraso y sobrecoste en porcentaje, esto quiere decir que por un aumento de 100 mil en el monto contractual el porcentaje de retraso aumenta en 0,6% y sobrecoste aumenta en 0,1%. Todo esto siempre y cuando se mantiene constante las demás variables predictoras. Este resultado guarda cierta coherencia con otras investigaciones donde se descubrió que los proyectos pequeños experimentan un mayor rendimiento en cuanto a costes y plazos (Heravi & Mohammadian, 2017)

Estos resultados obtenidos en esta pregunta guardan relación con lo encontrado en la pregunta 3, donde resultó que las variables monto contractual y promotor también influyen significativamente en la ocurrencia del retraso y sobrecoste en los contratos (siendo el monto contractual la variable más influyente). Sin embargo, para la magnitud de retraso y sobrecoste, la variable más influyente viene a ser el promotor.

Por otra parte, también resultó que la variable **estrategia de pago** influye significativamente en la magnitud de sobrecoste, siendo que cuando se ejecutan por precios unitarios existe mayor porcentaje de sobrecoste. Es decir, al ejecutarse por precios unitarios el sobrecoste aumenta en 1,4%, todo esto siempre y cuando se mantienen constantes las demás variables predictoras. Este resultado guarda coherencia con la realidad peruana, debido a que el marco normativo en contratos ejecutados a precios unitarios deja abierto la posibilidad que durante la ejecución de obra se incremente el alcance del proyecto a través de mayores metrados y todo esto genera un impacto directo en el coste, lo cual no está permitido en contratos a suma alzada.

5.6. Simulación: análisis de riesgos en base a escenarios de contratación

En este último paso, en función de los resultados obtenidos en la pregunta de investigación 1 en la cual se determina los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste (riesgos graves), y pregunta 4 donde se identifica las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de estos riesgos graves, y sus categorías que presentan diferencias significativas, se plantea el análisis de riesgos mediante una simulación Monte Carlo para distintos escenarios según las características de contratación de los proyectos de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.

Para el caso de la simulación del retraso, en función de los riesgos más importantes se utilizó la siguiente ecuación:

$$R (\%) = PRR2 * IRRP2 + PRR4 * IRRP4 + PRR5 * IRRP5 + PRR6 * IRRP6 + PRR8 * IRRP8 + PRR15 * IRRP15 + PRR19 * IRRP19 + PRR23 * IRRP23 + PRR27 * IRRP27 \quad (6)$$

Donde:

R (%): retraso estimado del contrato respecto al plazo inicial

PRR: probabilidad de ocurrencia del riesgo de retraso RR

IRRP: impacto del riesgo de retraso en porcentaje

A partir de la respuesta a la pregunta 4, se identificó que variables de contratación influyen significativamente en la ocurrencia de los riesgos significativos (graves), de igual forma las categorías de dichas variables que presentan diferencias significativas; con lo cual la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo que interviene en la ecuación 6 se toma en función de dichas categorías. A continuación se presenta la probabilidad de los distintos riesgos de retraso graves en función de las categorías que presentaron diferencias significativas.

Tabla 45. Probabilidad de RR_2: Problemas de disponibilidad de terreno

Característica de contratación	Menor a 250 mil	250 mil a 1 millón	Mayor a 1 millón
Administración regional	6,3%	21,4%	44,4%
Otra administración	3,0%	8,8%	28,6%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Probabilidad de RR_4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra

Característica de contratación	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón
Administración regional	31,8%	44,4%
Otra administración	15,6%	39,3%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Probabilidad de RR_6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor

Característica de contratación	Probabilidad
Suma alzada	5,8%
Precios unitarios	4,7%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Probabilidad de RR_8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original

Característica de contratación	Probabilidad
Menor a 250 mil	2,6%
Mayor a 250 mil	9,9%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Probabilidad de RR_23: Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)

Característica de contratación	Menor a 250 mil	250 mil a 1 millón	Mayor a 1 millón
Selva	29,2%	46,2%	77,8%
Otra región	5,4%	11,5%	10,7%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Probabilidad de RR_27: Estado de emergencia covid

Característica de contratación	Probabilidad
Inicio de obra 2010-2017	0,40%
Inicio de obra 2018-2021	17,50%

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los riesgos RR_5 Absolución de consultas de obra, RR_15 Reclamos por usuarios directos del proyecto y RR_19 Permisos gubernamentales, dado que no se encontró características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia, se toma la probabilidad del riesgo determinada en toda la muestra es decir para RR_5 es 4,7%, RR_15 viene a ser 3,1% y RR_19 le corresponde 2,5%.

Ahora bien para la simulación Monte Carlo, es necesario establecer funciones de distribución para la probabilidad de ocurrencia e impacto de cada uno de los riesgos que intervienen en la ecuación 6. Para la probabilidad se consideró una distribución discreta de Bernoulli.

En el caso del impacto se consideró una única función general para cada riesgo (todos impactos obtenidos en la muestra), dado que esta única función considera un mayor rango de resultados posibles de impacto para cada riesgo, con lo cual tendríamos una mayor seguridad en nuestra simulación. Para definir la función de distribución del impacto, se tuvo en cuenta los histogramas de impactos, por lo cual se optó por considerar una distribución del tipo triangular, que es una de las más comúnmente utilizadas para este tipo de análisis de riesgos en proyectos de construcción (Ashley et al., 2006; Gupta & Thakkar, 2018), además que es de aplicabilidad cuando el posible resultado está entre dos extremos y la tendencia es hacia un valor específico (Gupta & Thakkar, 2018). Por lo tanto en la Tabla 51, se muestra el valor mínimo, más probable y máximo, lo cual sirvió para construir la distribución triangular de impacto de cada uno de los riesgos de retraso.

Tabla 51. Función de distribución de impacto de riesgos de retraso

Impacto de Riesgos de retraso								
RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Triang (0,07;0,21;1,08)	Triang (0,01;0,13;2)	Triang (0,07;0,11;2,5)	Triang (0,03;0,4;1,2)	Triang (0,07;0,2;0,6)	Triang (0,08;0,08;0,86)	Triang (0,1;0,15;4,67)	Triang (0,01;0,12;1,51)	Triang (0,5;0,9;1,93)

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, para la simulación del sobrecoste, en función de los riesgos más importantes se formuló la siguiente ecuación:

$$S (\%) = PRS2 * IRSP2 + PRS3 * IRSP3 + PRS4 * IRSP4 + PRS8 * IRSP8 + PRS9 * IRSP9 + PRS10 * IRSP10 + PRS11 * IRSP11 + PRS13 * IRSP13 + PRS26 * IRSP26 \quad (7)$$

Donde:

S (%): sobrecoste estimado del contrato respecto al monto contractual

PRS: probabilidad de ocurrencia del riesgo de sobrecoste RS

IRSP: impacto del riesgo de sobrecoste en porcentaje

A continuación se presenta la probabilidad de los distintos riesgos de sobrecoste graves en función de las categorías que presentaron diferencias significativas.

Tabla 52. Probabilidad de RS_2: Problemas de disponibilidad de terreno

Característica de contratación	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón
Administración regional	11,4%	22,2%
Otra administración	0,8%	14,3%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Probabilidad de RS_3: Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)

Característica de contratación	Probabilidad
Menor a 250 mil	1,7%
250 mil a 1 millón	8,5%
Mayor a 1 millón	24,3%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Probabilidad de RS_4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra

Característica de contratación	Probabilidad
Menor a 1 millón	2,1%
Mayor a 1 millón	10,8%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Probabilidad de RS_8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original

Característica de contratación	Probabilidad
Menor a 250 mil	3,4%
Mayor a 250 mil	11,4%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Probabilidad de RS_9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño

Característica de contratación	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón
Obra nueva	13,2%	60,0%
Mejoramiento y/o ampliación	5,6%	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Probabilidad de RS_10: Estudio de suelos defectuoso

Característica de contratación	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón
Coefficiente de adjud. mayor o igual a 1	1,7%	11,8%
Coefficiente de adjud. menor a 1	6,5%	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Probabilidad de RS_11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño

Característica de contratación	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón
Administración regional	11,4%	55,6%
Otra administración	4,6%	17,9%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Probabilidad de RS_13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar

Característica de contratación	Menor a 1 millón	Mayor a 1 millón	
Obra nueva	0,0%	0,0%	Sierra
	4,9%	25,0%	Otra región
Mejoramiento y/o ampliación	7,5%	0,0%	Sierra
	15,1%	36,0%	Otra región

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los riesgos que no se encontró características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia, se toma la probabilidad de la muestra, es decir para RS_26 Condiciones imprevistas del lugar de la obra le corresponde 2,8%.

Para el impacto de riesgos de sobrecoste también se consideró una función del tipo triangular. En la Tabla 60, se muestra el valor mínimo, más probable y máximo, lo cual sirvió para construir la distribución triangular de impacto de cada uno de los riesgos de sobrecoste.

Tabla 60. Función de distribución de impacto de riesgos de sobrecoste

Impacto de Riesgos de sobrecoste								
RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Triang (0;0;0,15)	Triang (0;0,01;0,15)	Triang (0;0;0,09)	Triang (0;0,04;0,15)	Triang (0;0,03;0,17)	Triang (0;0;0,15)	Triang (0;0,02;0,15)	Triang (0;0,01;0,16)	Triang (0;0;0,08)

Fuente: Elaboración propia

El percentil utilizado para establecer la contingencia en plazo y coste está directamente relacionado con el nivel de aversión al riesgo del responsable de la decisión; cuanto más adverso sea al riesgo, mayor será el percentil. El valor más típico utilizado en proyectos de

construcción es el 80%, esto implica que una de cada cinco veces un proyecto superaría este valor del 80%, cuatro de cada cinco veces el coste o plazo final estaría por debajo de esta cifra. (Alarcón et al., 2011).

Finalmente, a manera de comprobar si los modelos de simulación propuestos representan a los contratos de la muestra, con ayuda del complemento @risk para excel, se realizó simulaciones para distintos escenarios según características de contratación.

Para la simulación del retraso, se tomó contratos agrupados de acuerdo con las categorías que presentaron diferencias significativas en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso. A continuación se detalla la simulación realizada para los distintos escenarios.

• **Escenario 1R:** Contratos que tienen como promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual mayor a 1 millón.

En este escenario se tiene 3 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 61. Contratos con características de contratación según escenario 1R

Nº	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-34)	Precios unitarios	Selva	Regional	2011	4.595.607,00	65%
2 (C-38)	Precios unitarios	Selva	Regional	2012	1.387.234,00	36%
3 (C-227)	Precios unitarios	Selva	Regional	2015	1.011.088,10	27%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

La probabilidad de ocurrencia de los riesgos de retraso utilizados para la simulación de este escenario, se presentan en la tabla siguiente.

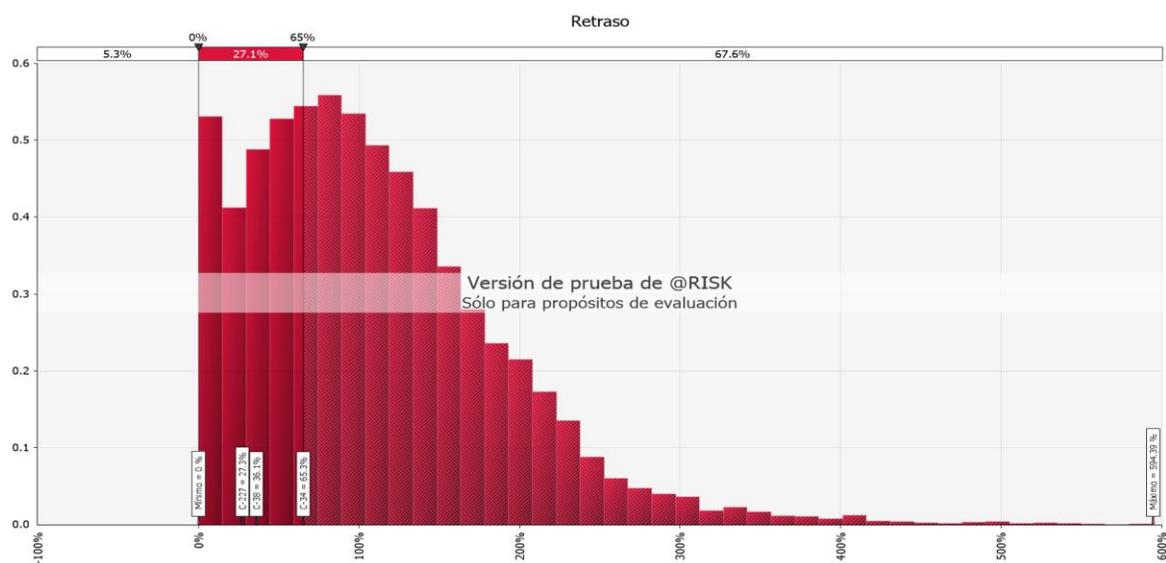
Tabla 62. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 1R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	44,4	44,4	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	77,8	0,4

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 1R. En la Figura 34, se muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 34. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 1R



Fuente: Elaboración propia

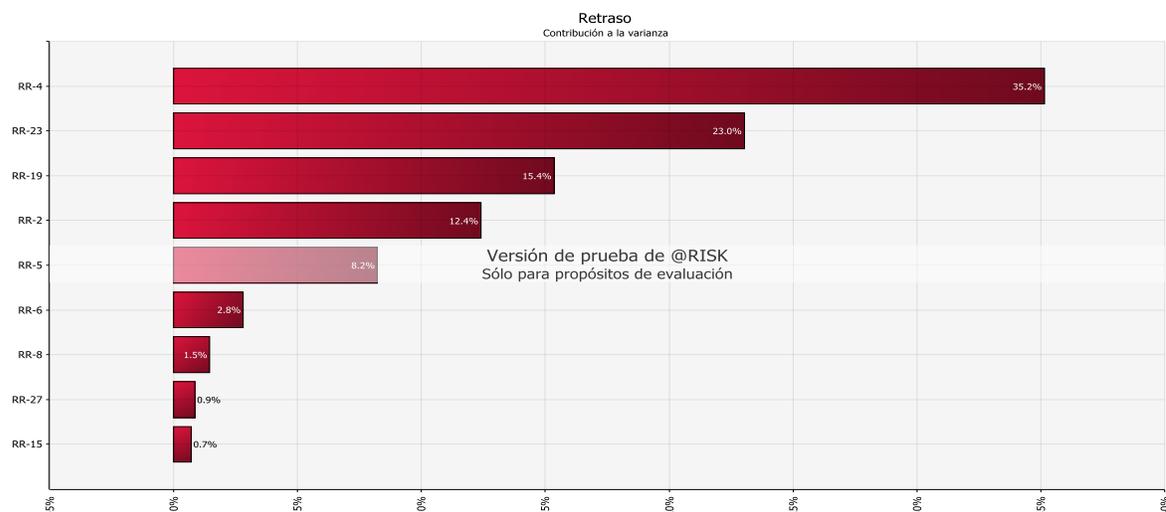
Tabla 63. Estadísticos más importantes del escenario 1R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	594,4%	109,4%	0,0%	97,4%	77,8%	42,4%	78,8%	117,5%	167,7%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 35, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 35. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 1R



Nota: RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-23: Malas condiciones meteorológicas, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-5: Absolución de consultas de obra, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-27: Estado de emergencia covid, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 5,3% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia (Alarcón et al., 2011), se debe tener una previsión de 167,7% en el plazo. También se puede observar en la Figura 34 que el retraso presentado por los 3 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 109,4% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 42,9%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra con un 35,2%, seguido de RR-23_Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos) con 23% y RR-19_Permisos gubernamentales con 15,4%.

• **Escenario 2R:** Contratos que tienen como promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o sierra, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual mayor a 1 millón.

En este escenario se tiene 6 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 64. Contratos con características de contratación según escenario 2R

N°	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-65)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2015	1.441.023,80	139%
2 (C-67)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2014	2.062.689,50	24%
3 (C-96)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2013	2.811.825,70	115%
4 (C-242)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2014	26.559.576,60	25%
5 (C-301)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	1.895.691,40	37%
6 (C-302)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	1.015.401,80	37%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

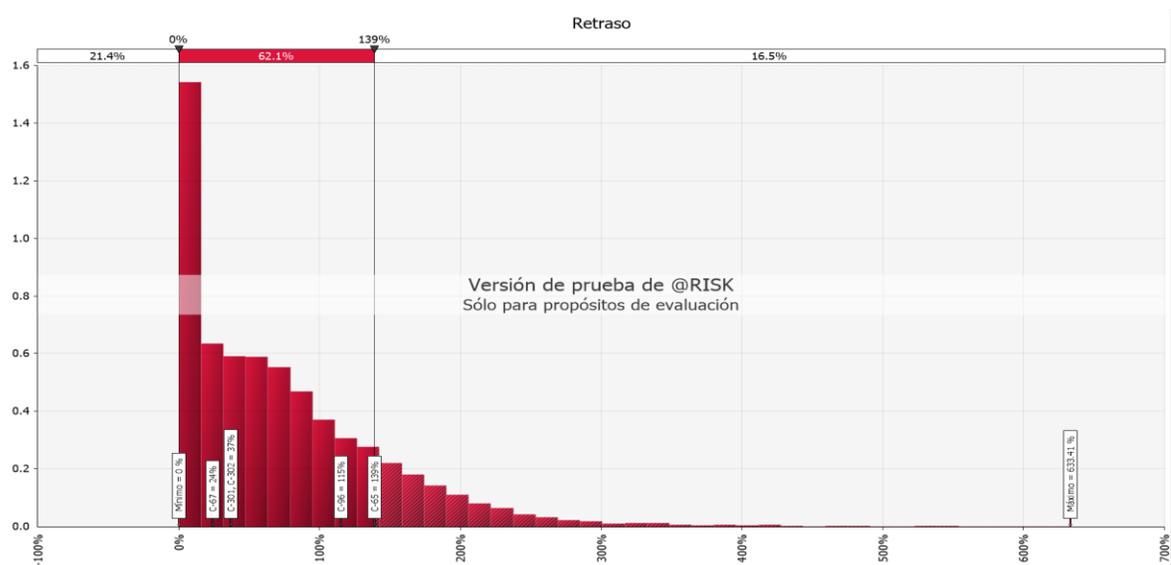
Tabla 65. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 2R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	28,6	39,3	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	10,7	0,4

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 2R. En la Figura 36, se muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 36. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 2R



Fuente: Elaboración propia

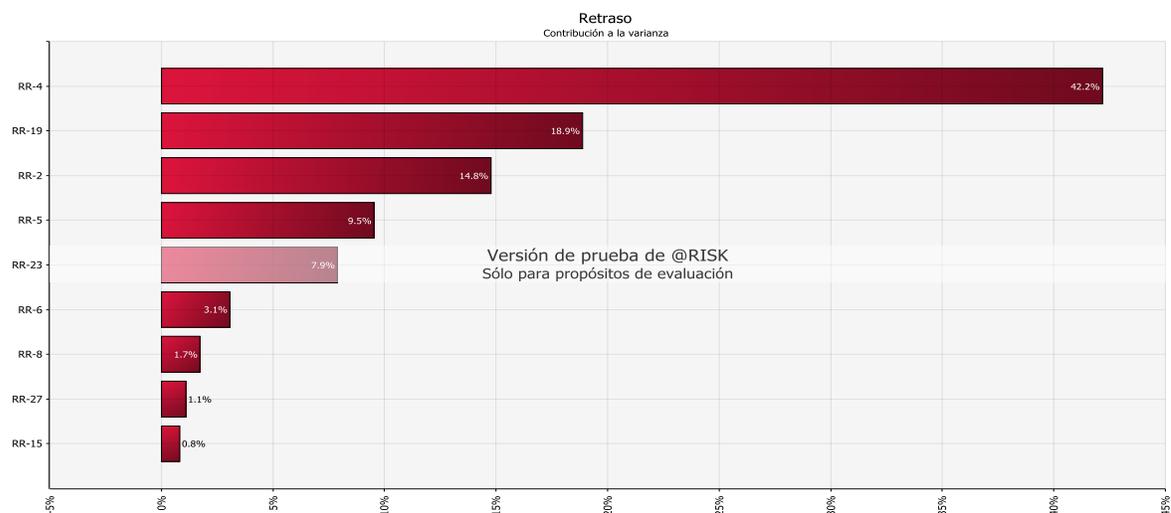
Tabla 66. Estadísticos más importantes del escenario 2R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	633,4%	73,6%	0,0%	57,7%	72,3%	0,0%	41,1%	75,5%	126,5%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 37, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 37. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 2R



Nota: RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-5: Absolución de consultas de obra, RR-23: Malas condiciones metereológicas, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-27: Estado de emergencia covid, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 21,4% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 126,5% en el plazo. También se puede observar en la Figura 36 que el retraso presentado por los 6 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 73,6% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 63%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra con un 42,2%, seguido de RR-19_Permisos gubernamentales con 18,9% y RR-2_Problemas de disponibilidad de terrenos con 14,8%.

• **Escenario 3R:** Contratos que tienen como promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región sierra, inicio de obra 2018-2021 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.

En este escenario se tiene 4 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 67. Contratos con características de contratación según escenario 3R

Nº	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-35)	Precios unitarios	Sierra	Regional	2019	386.656,60	71%
2 (C-36)	Precios unitarios	Sierra	Regional	2018	365.928,20	205%
3 (C-71)	Precios unitarios	Sierra	Regional	2019	690.528,20	162%
4 (C-150)	Precios unitarios	Sierra	Regional	2018	555.239,80	0%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

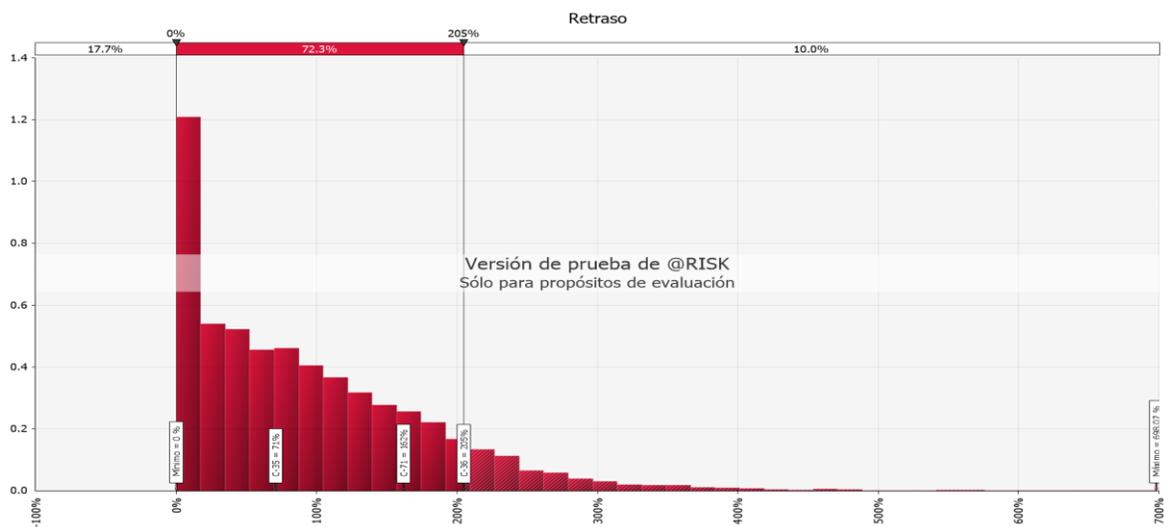
Tabla 68. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 3R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	21,4	31,8	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	11,5	17,5

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 3R. En la Figura 38 se muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 38. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 3R



Fuente: Elaboración propia

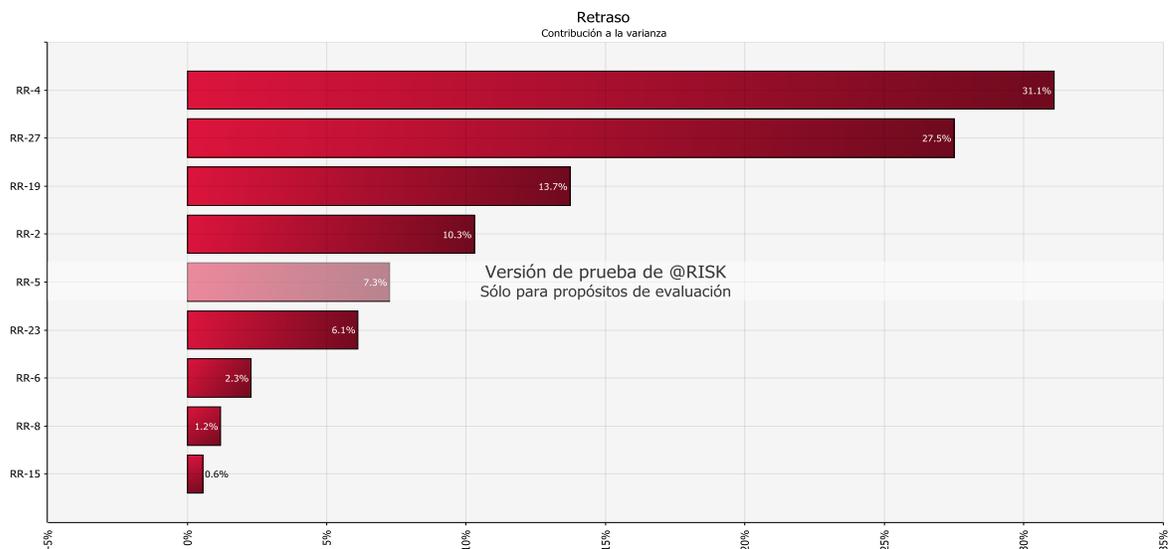
Tabla 69. Estadísticos más importantes del escenario 3R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	698,1%	92,1%	0,0%	75,2%	83,9%	15,1%	53,3%	97,0%	159,4%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 39, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 39. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 3R



Nota: RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-27: Estado de emergencia covid, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-5: Absolución de consultas de obra, RR-23: Malas condiciones meteorológicas, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 17,7% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 159,4% en el plazo. También se puede observar en la Figura 38 que el retraso presentado por los 4 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 92,1% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 110%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra con un 31,1%, seguido de RR-27_Estado de emergencia covid con 27,5% y RR-19_ Permisos gubernamentales con 13,7%.

• **Escenario 4R:** Contratos que tienen como promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, inicio de obra 2018-2021 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.

En este escenario se tiene 6 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 70. Contratos con características de contratación según escenario 4R

Nº	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-86)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2019	958.280,20	64%
2 (C-89)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2019	474.853,10	50%
3 (C-90)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2018	764.656,40	39%
4 (C-92)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2021	317.740,60	34%
5 (C-214)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2018	421.702,10	0%
6 (C-299)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2018	708.165,60	0%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

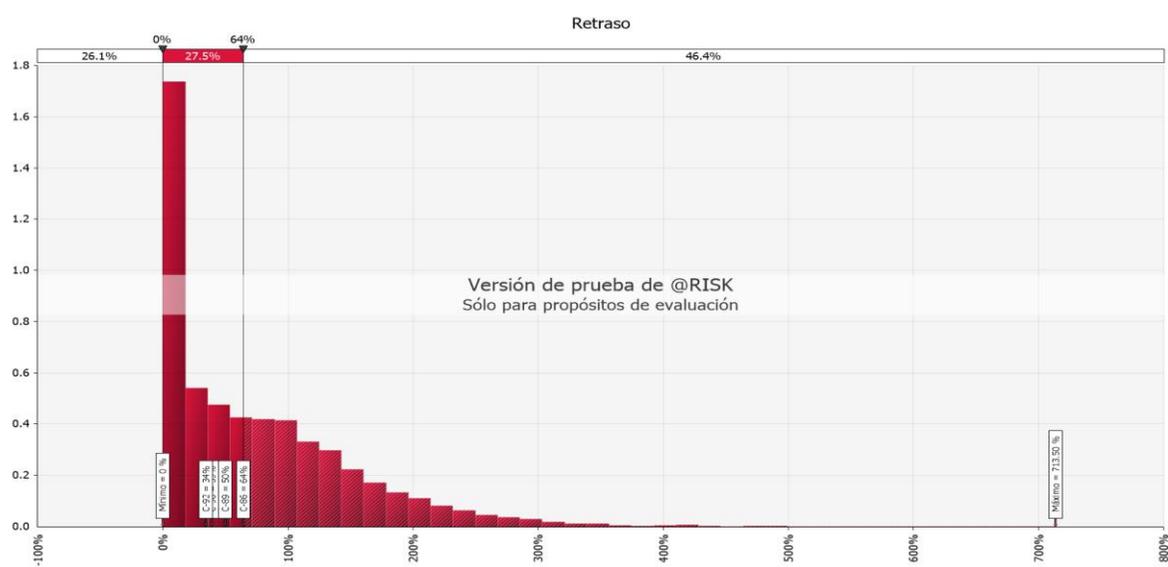
Tabla 71. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 4R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	21,4	31,8	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	46,2	17,5

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 4R. En la Figura 40 se muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 40. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 4R



Fuente: Elaboración propia

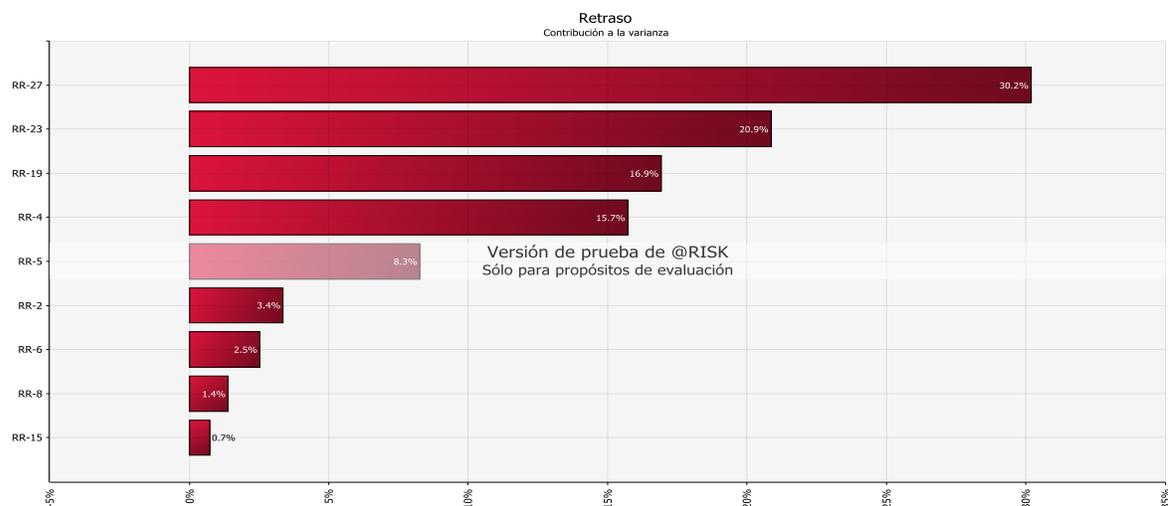
Tabla 72. Estadísticos más importantes del escenario 4R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	713,5%	75,0%	0,0%	55,5%	79,1%	0,0%	34,4%	79,0%	133,0%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 41. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 4R



Nota: RR-27: Estado de emergencia covid, RR-23: Malas condiciones metereológicas, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-5: Absolucion de consultas de obra, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 26,1% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 133,0% en el plazo. También se puede observar en la Figura 40 que el retraso presentado por los 6 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 75,0% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 31%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-27_Estado de emergencia covid con un 30,2%, seguido de RR-23_Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos) con 20,9% y RR-19_Permisos gubernamentales con 16,9%.

• **Escenario 5R:** Contratos que tienen como promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o sierra, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.

En este escenario se tiene 44 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 73. Contratos con características de contratación según escenario 5R

N°	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-62)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2013	890.635,80	81%
2 (C-63)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2015	282.017,00	143%
3 (C-69)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	733.393,90	12%
4 (C-78)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	313.286,00	17%
5 (C-93)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2013	879.963,90	187%
6 (C-94)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2013	825.582,70	128%
7 (C-95)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2013	638.090,20	52%
8 (C-98)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	285.179,20	57%
9 (C-102)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	292.090,00	0%
10 (C-119)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	573.292,50	36%
11 (C-120)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	854.376,40	0%
12 (C-124)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	344.578,50	38%
13 (C-125)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	581.638,30	107%
14 (C-126)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	442.206,70	46%
15 (C-127)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	986.074,50	19%
16 (C-129)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	576.229,00	0%
17 (C-131)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	376.318,90	20%
18 (C-132)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	845.968,70	48%
19 (C-158)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	365.024,00	0%
20 (C-162)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	989.538,80	0%
21 (C-164)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	704.473,70	0%
22 (C-171)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2012	304.745,60	0%
23 (C-172)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2011	294.827,00	0%
24 (C-186)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	304.938,00	0%
25 (C-200)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	518.237,70	0%
26 (C-201)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	806.840,10	0%
27 (C-202)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	452.561,70	0%
28 (C-203)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	549.301,70	0%
29 (C-204)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	399.574,30	0%

30 (C-205)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	510.649,70	0%
31 (C-206)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	932.041,40	0%
32 (C-208)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	363.492,60	0%
33 (C-209)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	250.607,90	0%
34 (C-217)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2017	311.441,50	0%
35 (C-231)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	253.345,90	0%
36 (C-238)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	611.504,20	0%
37 (C-243)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2014	496.933,70	0%
38 (C-274)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	475.619,00	73%
39 (C-284)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2016	271.617,00	36%
40 (C-288)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2014	263.334,60	133%
41 (C-289)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2014	397.454,00	10%
42 (C-290)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2013	456.440,10	130%
43 (C-291)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	716.360,40	24%
44 (C-306)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2017	913.640,30	27%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

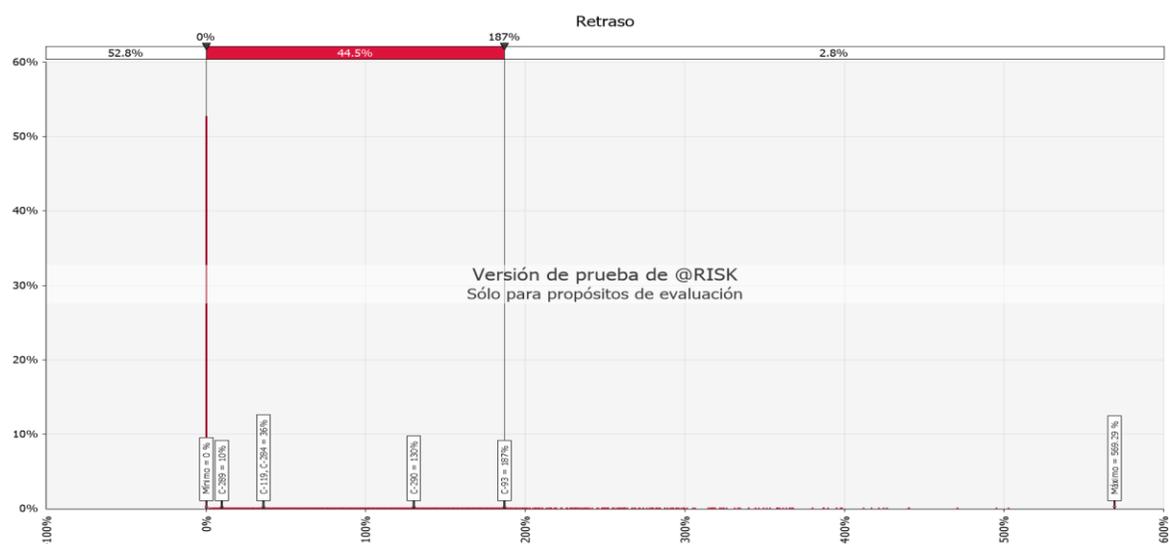
Tabla 74. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 5R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	8,8	15,6	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	11,5	0,4

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 5R. En la Figura 42 muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 42. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 5R



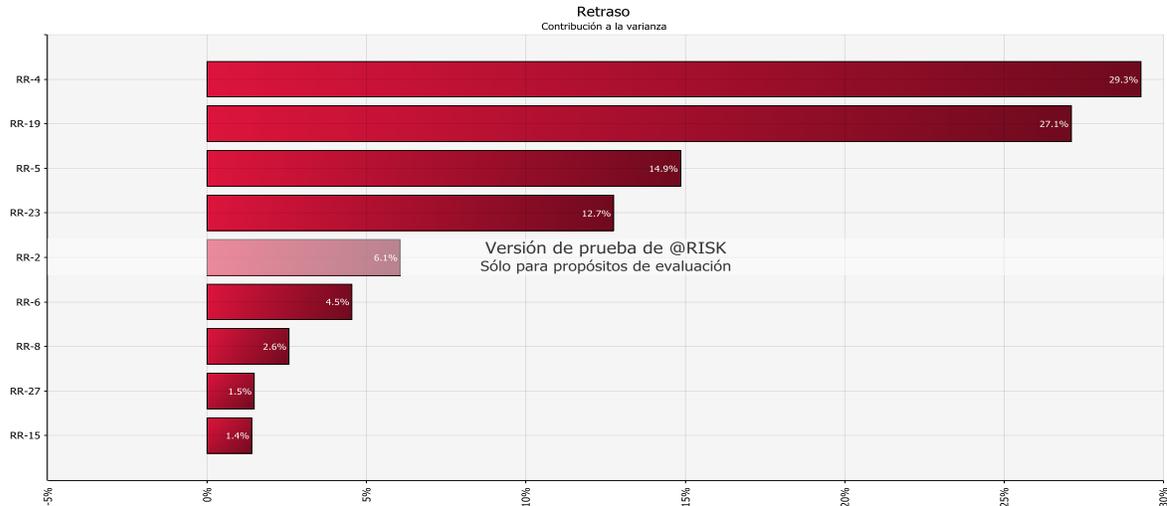
Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Estadísticos más importantes del escenario 5R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	569,3%	36,9%	0,0%	0,0%	58,6%	0,0%	0,0%	23,6%	71,9%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 43, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 43. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 5R


Nota: RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-5: Absolución de consultas de obra, RR-23: Malas condiciones meteorológicas, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-27: Estado de emergencia covid, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 52,8% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 71,9% en el plazo. También se puede observar en la Figura 42 que el retraso presentado por los 44 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 36,9% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 32%, siendo que 22 (50%) de los contratos culminaron sin retraso. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra con un 29,3%, seguido de RR-19_Permisos gubernamentales con 27,1% y RR-5_Absolución de consultas de obra con 14,9%.

• **Escenario 6R:** Contratos que tienen como promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o sierra, inicio de obra 2018-2021 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.

En este escenario se tiene 8 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 76. Contratos con características de contratación según escenario 6R

Nº	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-103)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2020	322.571,20	202%
2 (C-113)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2018	361.927,30	26%
3 (C-165)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2019	656.481,70	0%
4 (C-175)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2018	318.946,30	0%
5 (C-245)	Precios unitarios	Costa	Provincial	2019	254.871,70	0%
6 (C-259)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2020	410.666,20	59%
7 (C-298)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2018	497.995,10	147%
8 (C-310)	Precios unitarios	Sierra	Provincial	2018	323.777,10	23%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

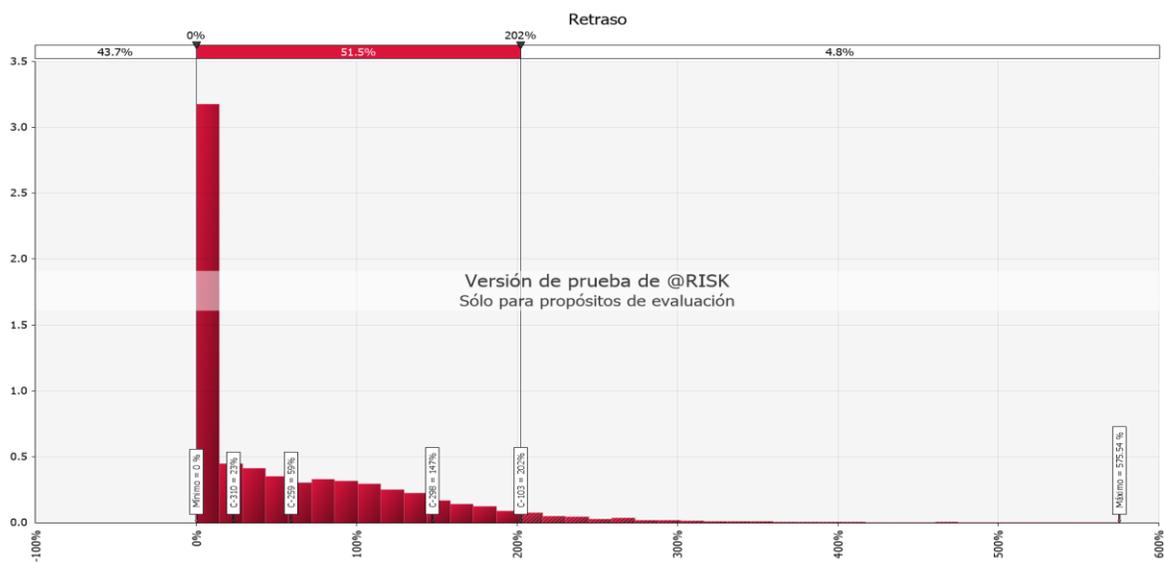
Tabla 77. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 6R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	8,8	15,6	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	11,5	17,5

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 6R. En la Figura 44 se muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 44. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 6R



Fuente: Elaboración propia

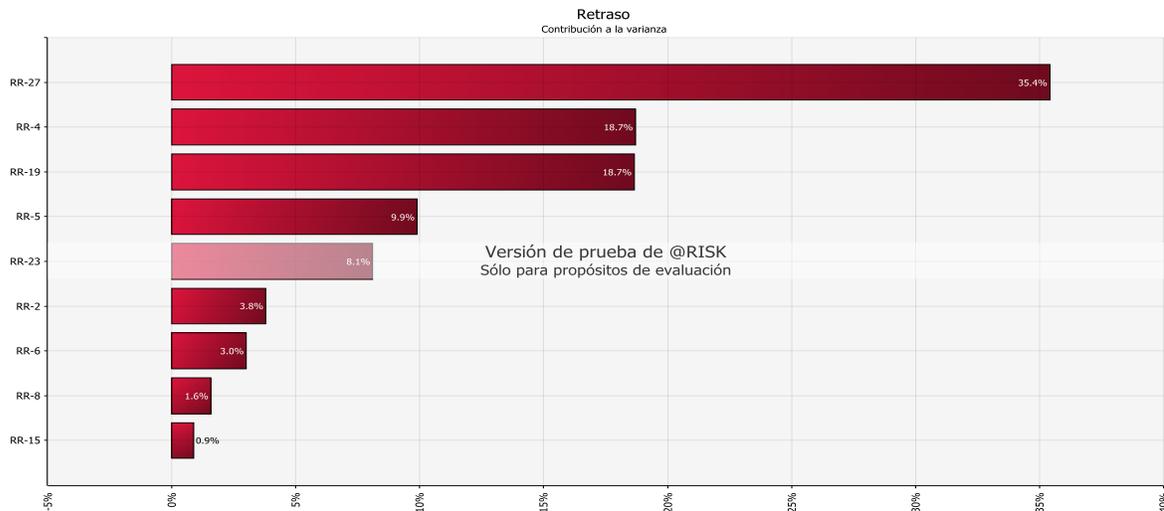
Tabla 78. Estadísticos más importantes del escenario 6R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	575,5%	55,8%	0,0%	24,4%	73,5%	0,0%	0,0%	48,0%	111,9%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 45, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 45. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 6R



Nota: RR-27: Estado de emergencia covid, RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-5: Absolucion de consultas de obra, RR-23: Malas condiciones metereológicas, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 43,7% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 111,9% en el plazo. También se puede observar en la Figura 44 que el retraso presentado por los 8 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 55,8% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 57%, siendo que 3 (37,5%) de los contratos culminaron sin retraso. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-27_Estado de emergencia covid con un 35,4%, seguido de RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra con 18,7% y RR-19_Permisos gubernamentales con 18,7%.

• **Escenario 7R:** Contratos que tienen como promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual mayor a 1 millón.

En este escenario se tiene 4 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 79. Contratos con características de contratación según escenario 7R

N°	Características de contratación					Retraso (%)
	Estrategia de pago	Región	Promotor	Inicio de obra	Monto (€)	
1 (C-22)	Precios unitarios	Selva	Nacional	2017	1.205.913,40	360%
2 (C-31)	Precios unitarios	Selva	Nacional	2017	1.353.213,90	80%
3 (C-87)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2011	4.231.985,10	87%
4 (C-314)	Precios unitarios	Selva	Provincial	2013	1.511.344,00	149%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

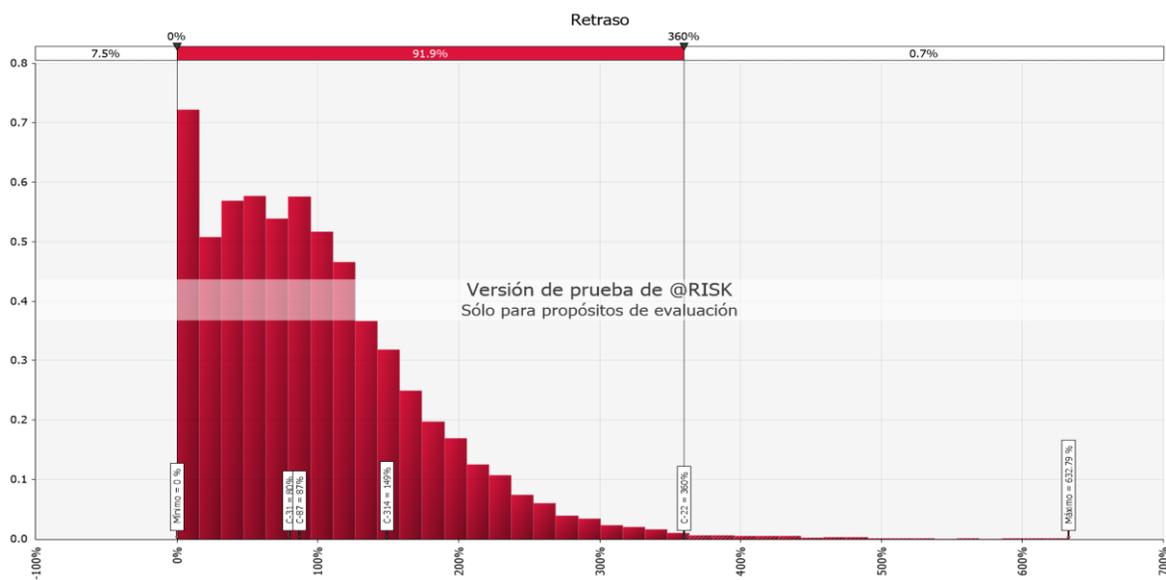
Tabla 80. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de retraso según escenario 7R

	RR-2	RR-4	RR-5	RR-6	RR-8	RR-15	RR-19	RR-23	RR-27
Probabilidad de ocurrencia (%)	28,6	39,3	4,7	4,7	9,9	3,1	2,5	77,8	0,4

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 7R. En la Figura 46 se muestra la distribución de probabilidad de los retrasos posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes retrasos que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 46. Distribución de probabilidad de retraso de contratos según escenario 7R



Fuente: Elaboración propia

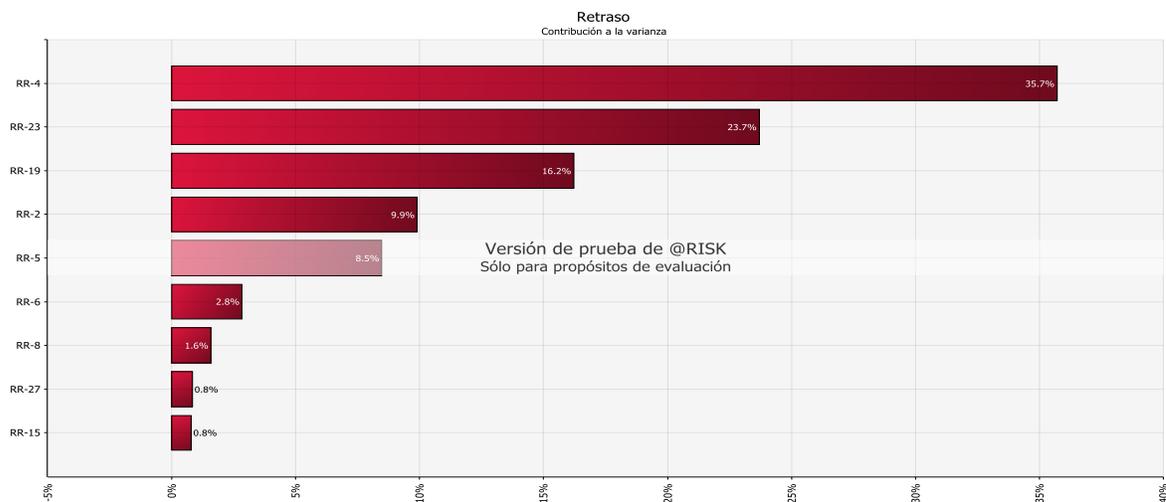
Tabla 81. Estadísticos más importantes del escenario 7R

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	632,8%	98,1%	0,0%	85,7%	75,9%	32,5%	68,1%	104,1%	152,9%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 47, se muestra la contribución a la varianza del retraso de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 47. Contribución de riesgos a la varianza de retraso para escenario 7R



Nota: RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-23: Malas condiciones meteorológicas, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-5: Absolución de consultas de obra, RR-6: Silencio administrativo ante solicitudes del constructor, RR-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RR-27: Estado de emergencia covid, RR-15: Reclamos por usuarios directos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 7,5% que se culminen sin retraso, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 152,9% en el plazo. También se puede observar en la Figura 46 que el retraso presentado por los 4 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el retraso medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 98,1% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 169%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de retraso es RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra con un 35,7%, seguido de RR-23_Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos) con 23,7% y RR-19_Permisos gubernamentales con 16,2%.

De igual forma para la simulación del sobrecoste, se tomó contratos agrupados de acuerdo con las categorías que presentaron diferencias significativas en cada uno de los riesgos de sobrecoste. A continuación se detalla la simulación realizada para los distintos escenarios.

• **Escenario 1S:** Contratos que tienen como promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, coeficiente de adjudicación menor a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual mayor a 1 millón.

En este escenario se tiene 4 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 82. Contratos con características de contratación según escenario 1S

N°	Características de contratación						Sobrecoste (%)
	Coef. adj.	Estrategia de pago	Región geográfica	Promotor	Naturaleza de intervención	Monto (€)	
1 (C-34)	0,9999	Precios unitarios	Selva	Regional	Mejor. y/o ampl.	4.595.607,00	16,00%
2 (C-38)	0,9296	Precios unitarios	Selva	Regional	Mejor. y/o ampl.	1.387.234,00	12,20%
3 (C-46)	0,9996	Precios unitarios	Selva	Regional	Mejor. y/o ampl.	1.001.702,10	7,30%
4 (C-227)	0,9068	Precios unitarios	Selva	Regional	Mejor. y/o ampl.	1.011.088,10	16,00%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

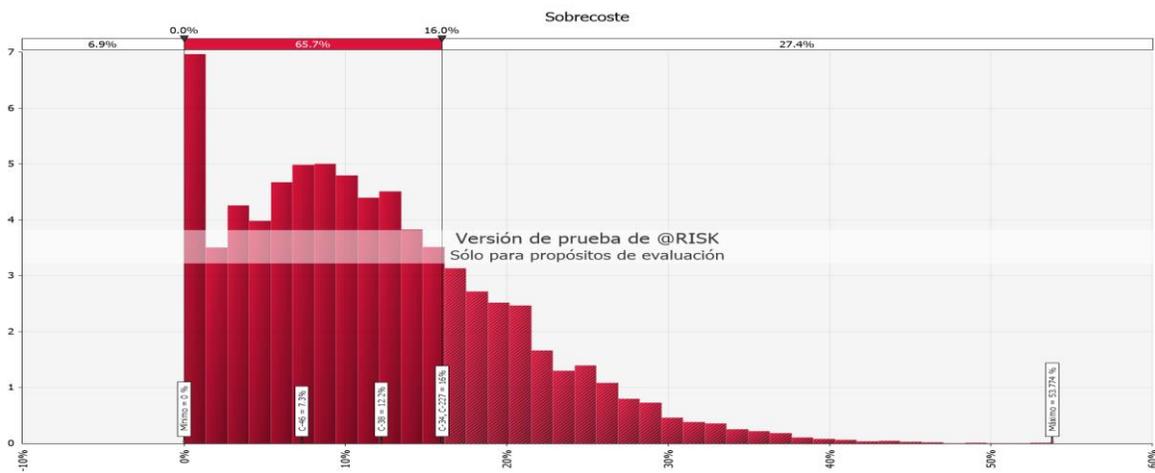
Tabla 83. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobrecoste según escenario 1S

	RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Probabilidad de ocurrencia (%)	22,2	24,3	10,8	11,4	25,0	25,0	55,6	36,0	2,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 1S. En la Figura 48 se muestra la distribución de probabilidad de los sobrecostes posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes sobrecostes que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 48. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 1S



Fuente: Elaboración propia

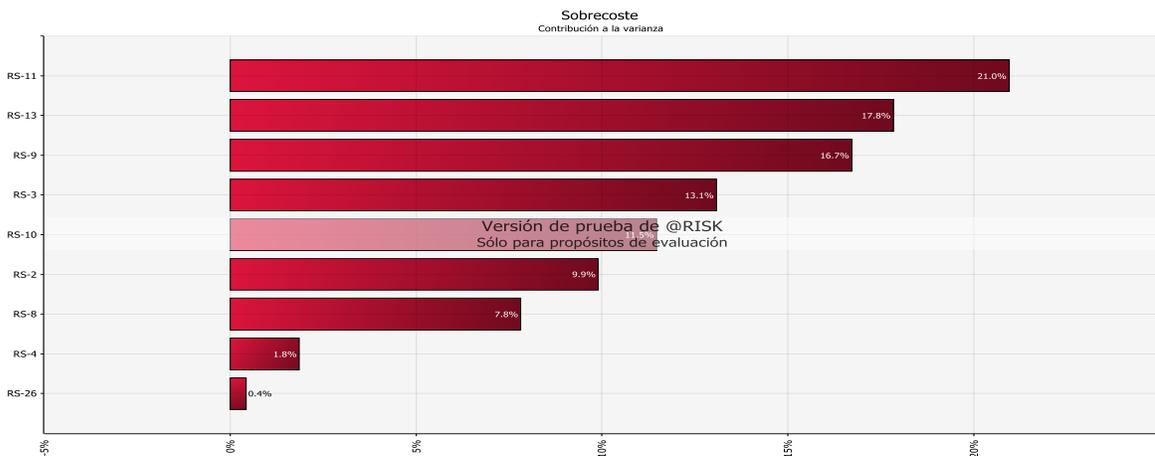
Tabla 84. Estadísticos más importantes del escenario 1S

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	53,8%	11,6%	0,0%	10,5%	8,3%	4,1%	8,5%	12,7%	18,5%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 49, se muestra la contribución a la varianza del sobrecoste de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 49. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 1S



Nota: RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RS-26: Condiciones imprevistas del lugar dela obra

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 6,9% que se culminen sin sobrecoste, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 18,5% en el coste. También se puede observar en la Figura 48 que el sobrecoste presentado por los 4 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el sobrecoste medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 11,6% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 12,9%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de sobrecoste es RS-11_Errores y discrepancias en los documentos de diseño con un 21,0%, seguido de RS-13_Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar con 17,8% y RS-9_Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño con 16,7%.

• **Escenario 2S:** Contratos que tienen como promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa, coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual mayor a 1 millón.

En este escenario se tiene 3 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 85. Contratos con características de contratación según escenario 2S

Nº	Características de contratación					Monto (€)	Sobrecoste (%)
	Coef. adj.	Estrategia de pago	Región geográfica	Promotor	Naturaleza de intervención		
1 (C-61)	1,0000	Precios unitarios	Costa	Regional	Mejor. y/o ampl.	1.523.598,90	2,20%
2 (C-311)	1,0000	Precios unitarios	Costa	Regional	Mejor. y/o ampl.	1.248.299,00	24,40%
3 (C-313)	1,0000	Precios unitarios	Costa	Regional	Mejor. y/o ampl.	2.973.914,00	10,80%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

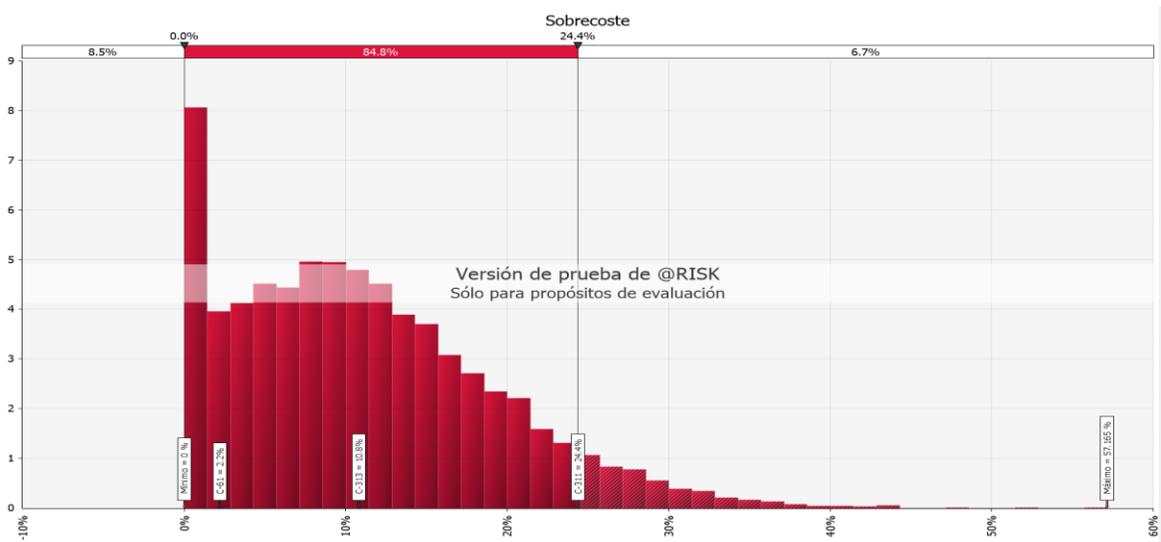
Tabla 86. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobrecoste según escenario 2S

	RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Probabilidad de ocurrencia (%)	22,2	24,3	10,8	11,4	25,0	11,8	55,6	36,0	2,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 2S. En la Figura 50 se muestra la distribución de probabilidad de los sobrecostes posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes sobrecostes que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 50. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 2S



Fuente: Elaboración propia

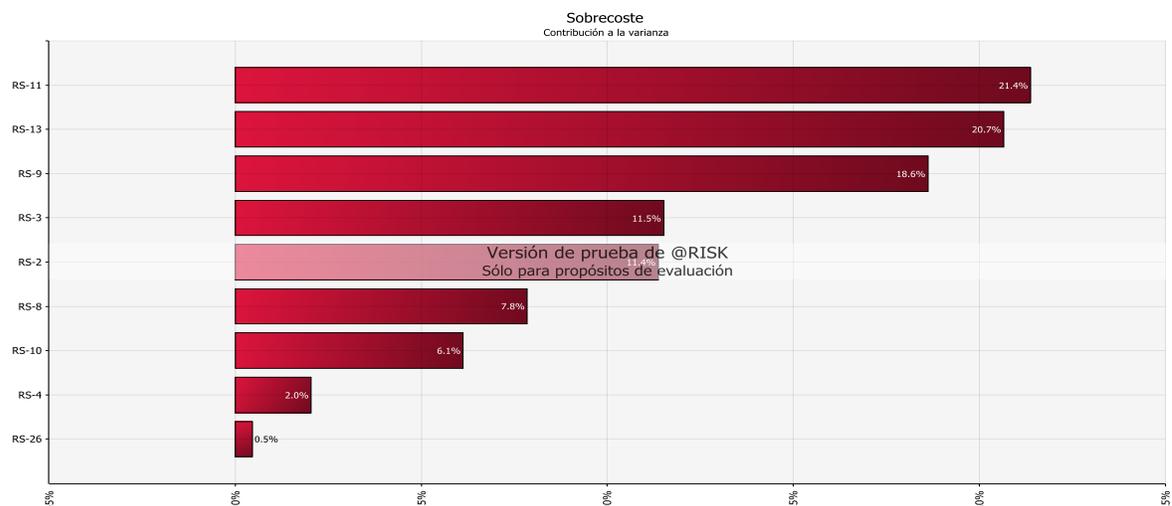
Tabla 87. Estadísticos más importantes del escenario 2S

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	57,2%	11,0%	0,0%	10,0%	8,1%	3,6%	8,0%	12,1%	17,7%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 51, se muestra la contribución a la varianza del sobrecoste de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 51. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 2S



Nota: RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RS-26: Condiciones imprevistas del lugar de la obra

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 8,5% que se culminen sin sobrecoste, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 17,7% en el coste. También se puede observar en la Figura 50 que el sobrecoste presentado por los 3 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el sobrecoste medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 11,0% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 12,5%. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de sobrecoste es RS-11_Errores y discrepancias en los documentos de diseño con un 21,4%, seguido de RS-13_levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar con 20,7% y RS-9_Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño con 18,6%.

• **Escenario 3S:** Contratos que tienen como promotor administración provincial, estrategia de pago por suma alzada, ubicados en región sierra, coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, naturaleza de intervención es obra nueva, y monto contractual menor a 250 mil.

En este escenario se tiene 10 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 88. Contratos con características de contratación según escenario 3S

Nº	Características de contratación						Sobrecoste (%)
	Coef. adj.	Estrategia de pago	Región geográfica	Promotor	Naturaleza de intervención	Monto (€)	
1 (C-77)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	218.131,10	0,00%
2 (C-121)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	192.578,60	2,50%
3 (C-157)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	183.679,00	0,00%
4 (C-178)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	145.589,00	0,00%
5 (C-194)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	213.254,50	0,00%
6 (C-236)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	175.714,30	0,00%
7 (C-239)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	120.202,90	0,00%
8 (C-266)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	147.722,60	0,00%
9 (C-269)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	163.009,10	0,00%
10 (C-270)	1,0000	Suma alzada	Sierra	Provincial	Obra nueva	182.309,00	0,00%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobrecoste según escenario 3S

	RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Probabilidad de ocurrencia (%)	0,8	1,7	2,1	3,4	13,2	1,7	4,6	0,0	2,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 3S. En la Figura 52 se muestra la distribución de probabilidad de los sobrecostes posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes sobrecostes que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 52. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 3S



Fuente: Elaboración propia

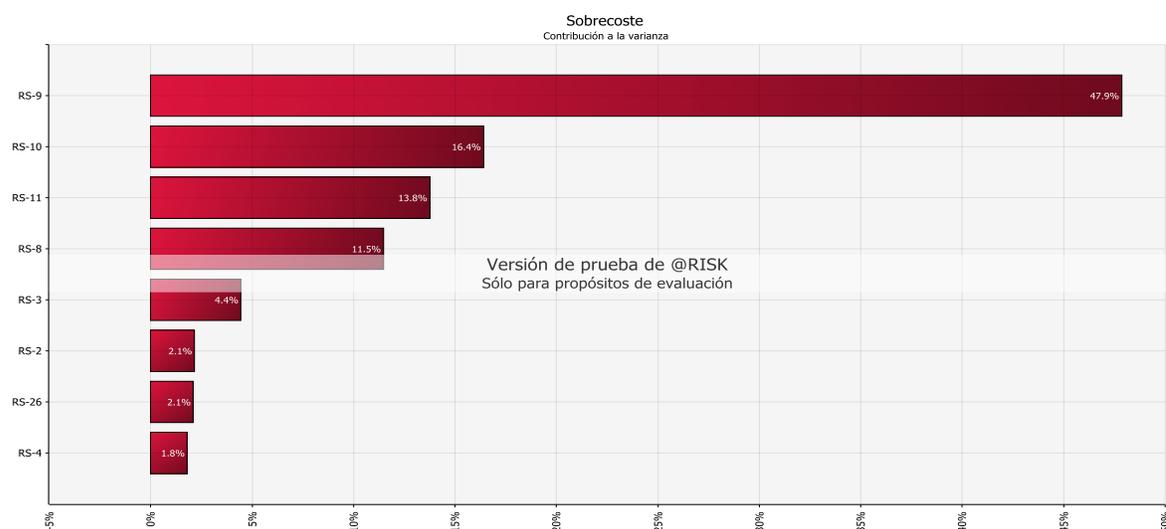
Tabla 90. Estadísticos más importantes del escenario 3S

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	43,3%	2,0%	0,0%	0,0%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	3,9%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 53, se muestra la contribución a la varianza del sobrecoste de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 53. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 3S



Nota: RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RS-26: Condiciones imprevistas del lugar de la obra, RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra.

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 69,3% que se culminen sin sobrecoste, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 3,9% en el coste. También se puede observar en la Figura 52 que el sobrecoste presentado por los 10 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el sobrecoste medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 2,0% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 0,3%, siendo que 9 (90%) de los contratos culminaron sin sobrecoste. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de sobrecoste es el riesgo de RS-9_Estimación del costo de obra en fase de diseño con un 47,9%, seguido por RS-10_Estudio de suelos defectuoso con 16,4% y RS-11_Errores y discrepancias en los documentos de diseño con 13,8%.

• **Escenario 4S:** Contratos que tienen como promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región sierra, coeficiente de adjudicación menor a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.

En este escenario se tiene 10 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 91. Contratos con características de contratación según escenario 4S

Nº	Características de contratación					Monto (€)	Sobrecoste (%)
	Coef. adj.	Estrategia de pago	Región geográfica	Promotor	Naturaleza de intervención		
1 (C-9)	0,9000	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	780.745,50	13,60%
2 (C-28)	0,9000	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	583.482,60	0,00%
3 (C-29)	0,9000	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	581.785,10	0,00%
4 (C-30)	0,9000	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	613.405,50	0,70%
5 (C-32)	0,9810	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	528.828,20	2,60%
6 (C-33)	0,9810	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	460.776,90	1,50%
7 (C-125)	0,9000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	581.638,30	3,30%
8 (C-129)	0,9700	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	576.229,00	2,80%
9 (C-186)	0,9996	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	304.938,00	0,00%
10 (C-259)	0,9999	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	410.666,20	3,10%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobrecoste según escenario 4S

	RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Probabilidad de ocurrencia (%)	0,8	8,5	2,1	11,4	13,2	6,5	4,6	7,5	2,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 4S. En la Figura 54 se muestra la distribución de probabilidad de los sobrecostes posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes sobrecostes que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 54. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 4S



Fuente: Elaboración propia

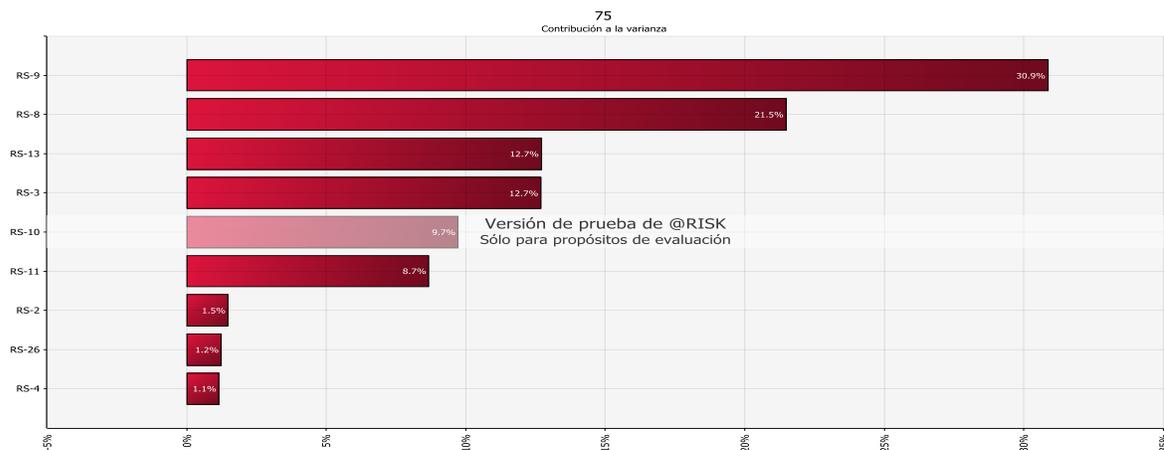
Tabla 93. Estadísticos más importantes del escenario 4S

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	32,9%	3,3%	0,0%	0,0%	4,9%	0,0%	0,0%	1,9%	7,1%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 55, se muestra la contribución a la varianza del sobrecoste de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 55. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 4S



Nota: RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RS-26: Condiciones imprevistas del lugar de la obra, RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra.

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 54,8% que se culminen sin sobrecoste, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 7,1% en el coste. También se puede observar en la Figura 54 que el sobrecoste presentado por los 10 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el sobrecoste medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 3,3% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 2,8%, siendo que 3 (30%) de los contratos culminaron sin sobrecoste. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de sobrecoste es RS-9_Estimación del costo de obra en fase de diseño con un 30,9%, seguido de RS-8_Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original con 21,5% y RS-13_Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar con 12,7%.

• **Escenario 5S:** Contratos que tienen como promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región sierra, coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.

En este escenario se tiene 25 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 94. Contratos con características de contratación según escenario 5S

Nº	Características de contratación					Monto (€)	Sobrecoste (%)
	Coef. adj.	Estrategia de pago	Región geográfica	Promotor	Naturaleza de intervención		
1 (C-8)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Nacional	Mejor. y/o ampl.	557.247,80	6,70%
2 (C-102)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	292.090,00	14,90%
3 (C-119)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	573.292,50	1,00%
4 (C-120)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	854.376,40	4,10%
5 (C126)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	442.206,70	2,80%
6 (C127)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	986.074,50	0,00%
7 (C-131)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	376.318,90	0,00%
8 (C-132)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	845.968,70	0,00%
9 (C-158)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	365.024,00	0,00%
10 (C-162)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	989.538,80	0,00%
11 (C-164)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	704.473,70	0,00%
12 (C-200)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	518.237,70	0,00%
13 (C-201)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	806.840,10	0,00%
14 (C-202)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	452.561,70	0,00%
15 (C-203)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	549.301,70	0,00%
16 (C-204)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	399.574,30	0,00%
17 (C-205)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	510.649,70	0,00%
18 (C-206)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	932.041,40	0,00%
19 (C-217)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	311.441,50	0,00%
20 (C-231)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	253.345,90	0,00%
21 (C-238)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	611.504,20	0,00%
22 (C-274)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	475.619,00	15,00%
23 (C-284)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	271.617,00	0,00%
24 (C-298)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	497.995,10	0,00%
25 (C-310)	1,0000	Precios unitarios	Sierra	Provincial	Mejor. y/o ampl.	323.777,10	5,40%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

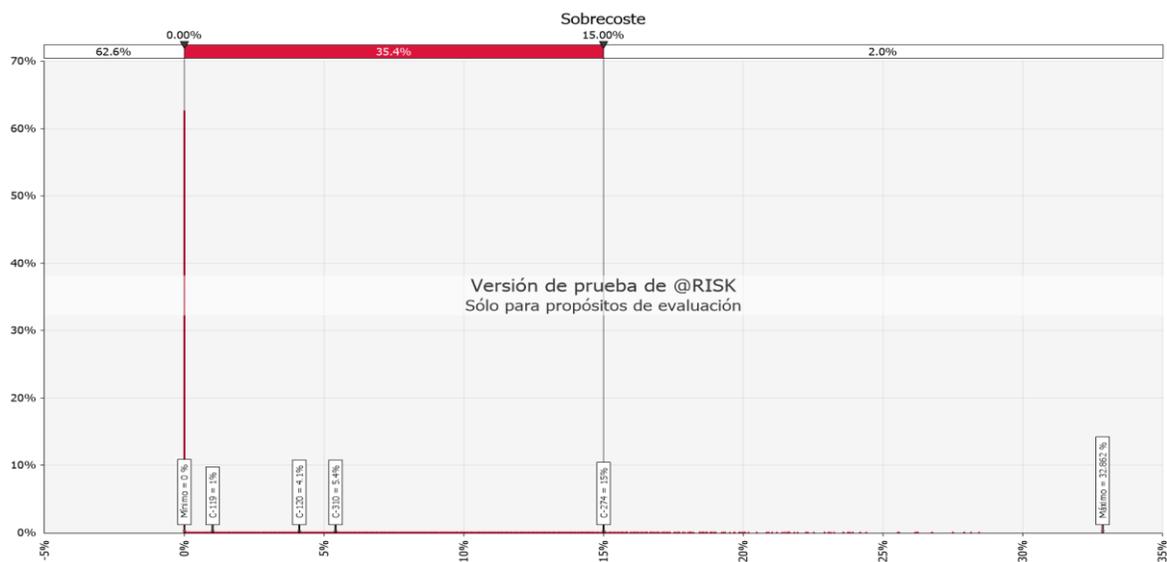
Fuente: Elaboración propia

Tabla 95. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobrecoste según escenario 5S

	RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Probabilidad de ocurrencia (%)	0,8	8,5	2,1	11,4	5,6	1,7	4,6	7,5	2,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 4S. En la Figura 56 se muestra la distribución de probabilidad de los sobrecostes posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes sobrecostes que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 56. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 5S


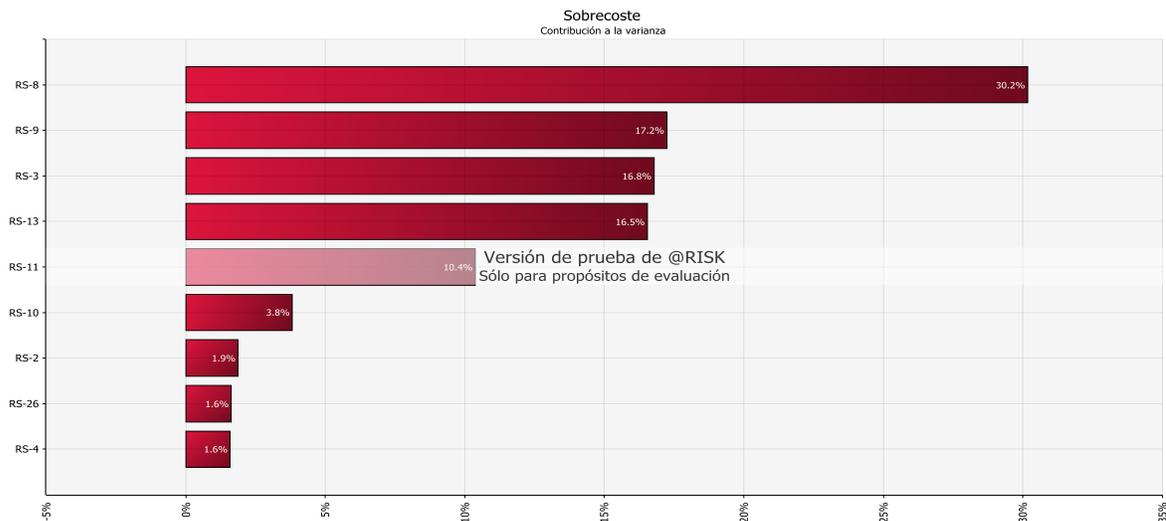
Fuente: Elaboración propia

Tabla 96. Estadísticos más importantes del escenario 5S

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	32,9%	2,5%	0,0%	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	5,5%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 57, se muestra la contribución a la varianza del sobrecoste de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 57. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 5S


Nota: RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RS-26: Condiciones imprevistas del lugar de la obra, RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra.

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 62,6% que se culminen sin sobrecoste, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 5,5% en el coste. También se puede observar en la Figura 56 que el sobrecoste presentado por los 25 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el sobrecoste medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 2,5% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 2,0%, siendo que 18 (72%) de los contratos culminaron sin sobrecoste. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de sobrecoste es RS-8_Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original con un 30,2%, seguido por RS-9_Estimación del costo de obra en fase de diseño con 17,2% y RS-3_Cambios en el alcance del proyecto con 16,8%

- **Escenario 6S:** Contratos que tienen como promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o selva, coeficiente de adjudicación menor a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual mayor a 1 millón.

En este escenario se tiene 11 contratos que cumplen con dichas características de contratación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 97. Contratos con características de contratación según escenario 6S

Nº	Características de contratación						Sobrecoste (%)
	Coef. adj.	Estrategia de pago	Región geográfica	Promotor	Naturaleza de intervención	Monto (€)	
1 (C-2)	0,9000	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	17.840.733,90	17,30%
2 (C-3)	0,9513	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	6.498.584,20	0,10%
3 (C-7)	0,9798	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	1.468.615,10	4,40%
4 (C-14)	0,9275	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	1.617.794,40	0,00%
5 (C-16)	0,9000	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	15.858.459,20	20,10%
6 (C-19)	0,9325	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	18.883.352,80	7,20%
7 (C-22)	0,9000	Precios unitarios	Selva	Nacional	Mejor. y/o ampl.	1.205.913,40	14,90%
8 (C-23)	0,9924	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	1.575.610,90	0,00%
9 (C-31)	0,9761	Precios unitarios	Selva	Nacional	Mejor. y/o ampl.	1.353.213,90	10,40%
10 (C-143)	0,9000	Precios unitarios	Costa	Nacional	Mejor. y/o ampl.	1.298.245,10	0,00%
11 (C-314)	0,9251	Precios unitarios	Selva	Provincial	Mejor. y/o ampl.	1.511.344,00	12,10%

Nota: (C-...) identificador de contrato dentro de la muestra

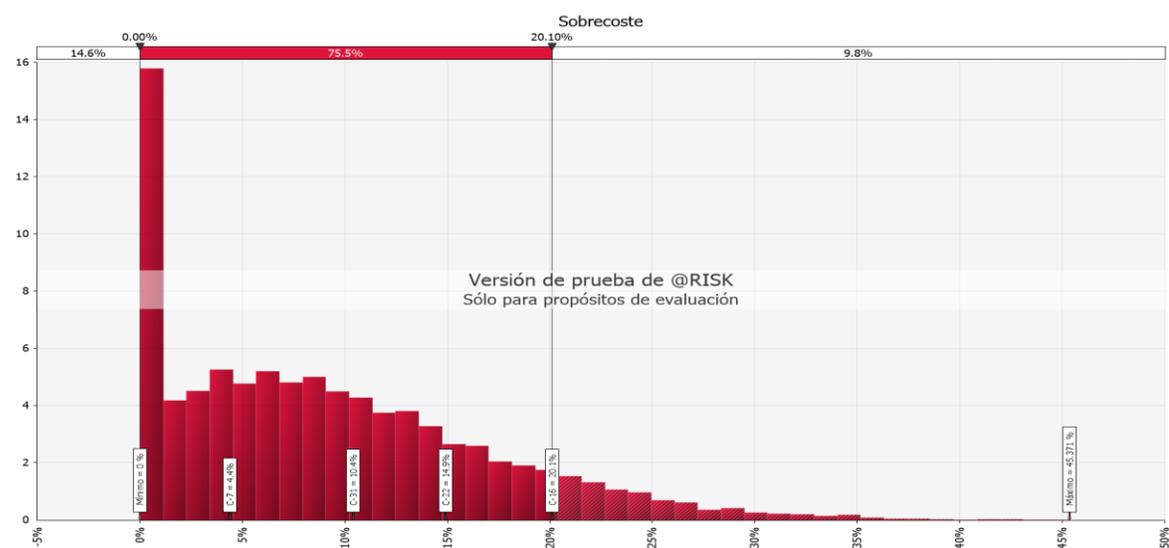
Fuente: Elaboración propia

Tabla 98. Probabilidad de ocurrencia de riesgos de sobrecoste según escenario 6S

	RS-2	RS-3	RS-4	RS-8	RS-9	RS-10	RS-11	RS-13	RS-26
Probabilidad de ocurrencia (%)	14,3	24,3	10,8	11,4	25,0	25,0	17,9	36,0	2,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los resultados de la simulación realizado para el escenario 4S. En la Figura 58 se muestra la distribución de probabilidad de los sobrecostes posibles para este escenario y sus estadísticos más importantes, también en la misma gráfica se ubicó con etiquetas de color blanco los correspondientes sobrecostes que presentaron los contratos de la muestra que pertenecen a este escenario.

Figura 58. Distribución de probabilidad de sobrecoste de contratos según escenario 6S


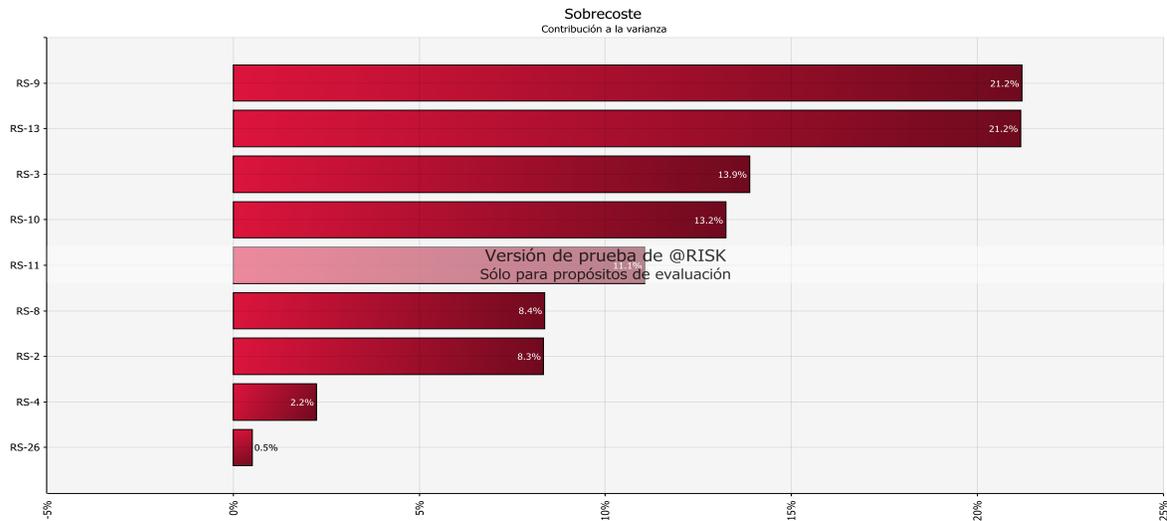
Fuente: Elaboración propia

Tabla 99. Estadísticos más importantes del escenario 6S

Mínimo	Máximo	Media	Moda	Mediana	Desv. Est.	Percentiles			
						20%	40%	60%	80%
0%	45,4%	9,1%	0,0%	7,8%	7,7%	1,6%	5,9%	9,9%	15,3%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 59, se muestra la contribución a la varianza del sobrecoste de cada uno de los riesgos que intervienen en la simulación.

Figura 59. Contribución de riesgos a la varianza de sobrecoste para escenario 6S


Nota: RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RS-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RS-26: Condiciones imprevistas del lugar de la obra.

Fuente: Elaboración propia

En este escenario, los contratos tienen una probabilidad de 14,6% que se culminen sin sobrecoste, además si consideramos el percentil del 80% para establecer la contingencia, se debe tener una previsión de 15,3% en el coste. También se puede observar en la Figura 58 que el sobrecoste presentado por los 11 contratos que pertenecen a este escenario se ajustan a la distribución de probabilidad. Así mismo, se tiene que el sobrecoste medio para este tipo de contratos según la simulación resulta un valor de 9,1% del plazo, y lo presentado por los contratos fue de 7,9%, siendo que 3 (21%) de los contratos culminaron sin sobrecoste. Por otro lado, el riesgo que más contribuye a la varianza de sobrecoste es RS-9_Estimación del costo de obra en fase de diseño con un 21,2%, seguido de RS-13_Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar con 21,2% y RS-3_Cambios en el alcance del proyecto con 13,9%.

A continuación se presenta un resumen de lo más resaltante de la simulación para los distintos escenarios tanto de retraso y sobrecoste.

Tabla 100. Resumen de simulación del retraso para distintos escenarios

Escenario	Prob. de no presentar retraso	Contingencia (80% de probabilidad)	Riesgos más influyentes
1R: promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual mayor a 1 millón.	5,3%	167,7%	RR-4, RR-23, RR-19
2R: promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o sierra, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual mayor a 1 millón	21,4%	126,5%	RR-4, RR-19, RR-2
3R: promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región sierra, inicio de obra 2018-2021 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.	17,7%	159,4%	RR-4, RR-27, RR-19
4R: promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, inicio de obra 2018-2021 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.	26,1%	133,0%	RR-27, RR-23, RR-19
5R: promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o sierra, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.	52,8%	71,9%	RR-4, RR-19, RR-5
6R: promotor administración provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o sierra, inicio de obra 2018-2021 y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.	43,7%	111,9%	RR-27, RR-4, RR-19
7R: promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, inicio de obra 2010-2017 y monto contractual mayor a 1 millón.	7,5%	152,9%	RR-4, RR-23, RR-19

Nota: RR-2: Problemas de disponibilidad de terrenos, RR-4: Aprobación de documentos de modificaciones de obra, RR-5: Absolución de consultas de obra, RR-19: Permisos gubernamentales, RR-23: Malas condiciones meteorológicas, RR-27: Estado de emergencia covid

Fuente: Elaboración propia

De los 7 escenarios analizados, se tiene que el escenario 1R es el que tiene menos probabilidad de no presentar retraso con 5,3%, por el contrario el escenario 5R es el que tiene mayor probabilidad de culminar sin retraso con 52,8%. Por otra parte, considerando el percentil del 80% para estimar la contingencia, se tiene que el escenario 1R es el que requiere una mayor previsión en plazo con 167,7%, mientras que el escenario 5R es el que menos previsión requiere con 71,9%. Siendo que los riesgos más influyentes en la varianza del escenario 1R son RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra (mayor probabilidad de ocurrencia cuando es promotor regional y monto mayor a 1 millón), RR-23_Malas condiciones meteorológicas (mayor probabilidad de ocurrencia en región selva y monto mayor a 1 millón) y RR-19_Permisos gubernamentales (en cualquier escenario tiene igual probabilidad); para el escenario 5R los riesgos más influyentes vienen a ser el RR-4, RR-19 y RR-5_Absolución de consultas de obra (en cualquier escenario tiene igual probabilidad). Entonces, se tiene que el escenario 1R es más crítico al tener como promotor a una administración regional el cual contribuye a una mayor probabilidad de ocurrencia del RR-4, además de encontrarse en selva que significa una mayor probabilidad del RR-23 y al

tener un monto contractual mayor a 1 millón que aporta una mayor probabilidad de ocurrencia de ambos riesgos RR-4 y RR-23.

Tabla 101. Resumen de simulación del sobrecoste para distintos escenarios

Escenario	Prob. de no presentar sobrecoste	Contingencia (80% de probabilidad)	Riesgos más influyentes
1S: promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región selva, coeficiente de adjudicación menor a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual mayor a 1 millón.	6,9%	18,5%	RS-11, RS-13, RS-9
2S: promotor administración regional, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa, coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual mayor a 1 millón.	8,5%	17,7%	RS-11, RS-13, RS-9
3S: Contratos que tienen como promotor administración provincial, estrategia de pago por sumaalzada, ubicados en región sierra, coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, naturaleza de intervención es obra nueva, y monto contractual menor a 250 mil.	69,3%	3,9%	RS-9, RS-10, RS-11
4S: Contratos que tienen como promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región sierra, coeficiente de adjudicación menor a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.	54,8%	7,1%	RS-9, RS-8, RS-13
5S: promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región sierra, coeficiente de adjudicación mayor o igual a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual entre 250 mil a 1 millón.	62,6%	5,5%	RS-8, RS-9 RS-3
6S: promotor administración nacional o provincial, estrategia de pago por precios unitarios, ubicados en región costa o selva, coeficiente de adjudicación menor a 1, naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y monto contractual mayor a 1 millón.	14,6%	15,3%	RS-9, RS-13, RS-3

Nota: RS-3: Cambios en el alcance del proyecto, RS-8: Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, RS-9: Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, RS-10: Estudio de suelos defectuoso, RS-11: Errores y discrepancias en los documentos de diseño, RS-13: Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar.

Fuente: Elaboración propia

De los 6 escenarios analizados, se tiene que el escenario 1S es el que tiene menos probabilidad de no presentar retraso con 6,9%, por el contrario el escenario 3S es el que tiene mayor probabilidad de culminar sin retraso con 69,3%. Por otra parte, considerando el percentil del 80% para estimar la contingencia, se tiene que el escenario 1S es el que requiere mayor previsión en coste con 18,5%, mientras que el escenario 3S es el que menos previsión requiere con 3,9%. Siendo que los riesgos más influyentes en la varianza del escenario 1S son RS-11_Errores y discrepancias en los documentos de diseño (mayor probabilidad de ocurrencia cuando es promotor regional y monto mayor a 1 millón), RS-13_Levantamiento

de información inexacta de la situación actual de obra/lugar (mayor probabilidad de ocurrencia cuando es región selva), y RS-9_Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño (mayor probabilidad de ocurrencia cuando se trata de obra nueva y monto mayor a 1 millón); para el escenario 3S los riesgos más influyentes son RS-9, RS-10_Estudio de suelos defectuoso (mayor probabilidad de ocurrencia cuando se adjudica con un coeficiente menor a 1 y monto mayor a 1 millón) y RS-11. Entonces, se tiene que el escenario 1S es más crítico al tener como promotor a una administración regional el cual contribuye a una mayor probabilidad de ocurrencia del RS-11, además de encontrarse en selva que significa una mayor probabilidad del RS-13 y al tener un monto contractual mayor a 1 millón que aporta una mayor probabilidad de ocurrencia de los riesgos RS-11 y RS-9.

En suma, de la comprobación realizada para 75 contratos en el caso del retraso y 63 para sobrecoste, se obtuvo que los modelos de simulación propuestos en función de los riesgos más importantes representan en gran medida al comportamiento de los contratos de la muestra en cuanto a retraso y sobrecoste.

Todo este análisis de riesgos mediante simulación por escenarios de contratación puede significar una herramienta muy útil para las administraciones públicas en Perú respecto a la toma de decisiones en la gestión de los riesgos, y de esta manera lograr un mayor rendimiento en tiempo y coste en la ejecución de las obras de suministro de agua potable y saneamiento. Además teniendo en cuenta que a la fecha, el marco normativo peruano, en obras públicas exige únicamente realizar un análisis cualitativo de los riesgos durante la ejecución (Directiva N° 012-2017-OSCE/CD, 2017).

6. Conclusiones

En este capítulo, a partir del desarrollo y respuestas encontradas a las preguntas de investigación se presenta el cumplimiento de los objetivos, principales contribuciones de la investigación, recomendaciones prácticas para las administraciones públicas en Perú, limitaciones de la investigación y finalmente se sugieren futuras líneas de investigación.

6.1. Cumplimiento de los objetivos

Las principales conclusiones de cada uno de los objetivos logrados se exponen a continuación:

➤ Identificar riesgos de retraso y sobrecoste en la ejecución de obras a partir de la revisión de la literatura.

1. A partir de la revisión de investigaciones de otros autores alrededor del mundo en distintos tipos de obras, se identificó un total de 74 riesgos de retraso y sobrecoste presentes en la construcción.
2. En la literatura existente de hoy en día, múltiples autores llegan a identificar los principales riesgos de retraso y sobrecoste en la construcción, sin tener en cuenta una de las características principales que es el impacto que ocasionan en el proyecto.
3. La literatura aún es limitada en investigaciones sobre riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento.
4. El nivel de importancia de los riesgos de retraso y sobrecoste alrededor del mundo, dependen en gran medida del contexto social, tipo de obra, promotor público o privado y tamaño del proyecto.

➤ Analizar riesgos que provocan retraso y sobrecoste y su impacto, durante la fase de ejecución en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.

1. Teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia e impacto, se identificó 09 riesgos de retraso y sobrecoste más importantes en las obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú son:

Riesgos de retraso: problemas de disponibilidad de terrenos, aprobación de documentos de modificaciones de obra, absolución de consultas de obra, silencio administrativo ante solicitudes del constructor, rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, reclamos por usuarios directos del proyecto, permisos gubernamentales, malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos) y estado de emergencia covid.

Riesgos de sobrecoste: problemas de disponibilidad de terrenos, cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales), aprobación de documentos de

modificaciones de obra, rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, estudio de suelos defectuoso, errores y discrepancias en los documentos de diseño, levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar y condiciones imprevistas en el lugar de la obra.

2. Los riesgos de problemas de disponibilidad de terrenos, aprobación de documentos de modificaciones de obra y rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, son riesgos importantes tanto para el tiempo como para el coste.
 3. La asociación entre retraso y sobrecoste que pueden llegar a provocar los riesgos más importantes en este tipo de obras, son mayoritariamente moderada y alta.
 4. El cliente (promotor), es la subcategoría que más contribuye a la ocurrencia de riesgos de retraso con una contribución relativa del 42%, seguido del consultor/diseñador con 27%. Sin embargo, para la ocurrencia de riesgos de sobrecoste, el consultor/diseñador es el que más contribuye con 57%, seguido del cliente con un 24%.
 5. Solo en el 14,1% de los contratos analizados el contratista contribuyó de alguna forma en el retraso de la obra, evidenciando que en la mayor parte de las obras culminan con retrasos no atribuibles al contratista.
- Identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento.

Las características de contratación que influyen en la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento se exponen a continuación:

1. El monto contractual inicial es la característica de contratación más influyente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste en los contratos, siendo que a mayor monto contractual mayor es la probabilidad que el contrato finalice con retraso y sobrecoste. De igual forma influye significativamente en la magnitud de retraso y sobrecoste, es decir que cuanto mayor es el monto mayor será la magnitud de retraso y sobrecoste.
2. El promotor influye significativamente en la ocurrencia de retraso y sobrecoste, siendo que cuando el promotor es una administración regional mayor es la probabilidad que el contrato presente retraso y sobrecoste. Para el caso de la magnitud de retraso y sobrecoste viene a ser la variable más influyente, es decir que cuando se trata de una administración regional la magnitud de retraso y sobrecoste es mayor.
3. El coeficiente de adjudicación influye significativamente en la ocurrencia de retraso, siendo que cuando se adjudica con un coeficiente mayor o igual a 1, existe menos probabilidad que se presente retraso en el contrato.

4. La estrategia de pago influye significativamente en la magnitud de sobrecoste, siendo que cuando se ejecutan a precios unitarios mayor será el porcentaje de sobrecoste del contrato.
- Identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste en las obras de suministro de agua potable y saneamiento.

Las características de contratación que influyen en la ocurrencia de cada uno de los riesgos de retraso y sobrecoste de obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú se exponen a continuación:

1. El monto contractual inicial es la característica de contratación que influye significativamente en la ocurrencia de la mayor cantidad de riesgos (09 riesgos), siendo siempre que a mayor monto contractual mayor es la probabilidad que ocurran los riesgos. Tal es el caso de los riesgos: problemas de disponibilidad de terrenos, cambios en el alcance del proyecto, aprobación de documentos de modificaciones de obra, rediseño debido a cambios en el diseño técnico original, estimación del coste de obra en fase de diseño, estudio de suelos defectuoso, y errores y discrepancias en los documentos de diseño, donde el monto contractual es la variable que más influye tanto para retraso como sobrecoste; también sin llegar a ser la variable más importante, en el caso del riesgo de levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, influye significativamente para retraso y sobrecoste; y para el riesgo de malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos), influye significativamente para retraso.
2. El promotor también influye significativamente en la ocurrencia de riesgos, siendo siempre que cuando se trata de una administración regional existe mayor probabilidad de ocurrencia de los riesgos como problemas de disponibilidad de terrenos (para retraso y sobrecoste), aprobación de documentos de modificaciones de obra (para retraso), y errores y discrepancias en documentos de diseño (para retraso y sobrecoste).
3. La estrategia de pago influye significativamente en la ocurrencia del riesgo silencio administrativo ante solicitudes del constructor (para retraso), siendo que cuando se ejecuta por precios unitarios existe menos probabilidad que ocurra dicho riesgo.
4. La naturaleza de intervención influye significativamente en la ocurrencia de riesgos, siendo que cuando se trata de una obra de mejoramiento y/o ampliación existe menos probabilidad que ocurra el riesgo de estimación del coste de obra en fase de diseño, sin embargo en este tipo de contratos de mejoramiento y/o ampliación existe mayor probabilidad que ocurra el riesgo de levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar.

5. El coeficiente de adjudicación influye significativamente en la ocurrencia del riesgo estudio de suelos defectuoso (para retraso y sobrecoste), siendo que cuando se adjudica las obras con un coeficiente mayor o igual a 1, existe menos probabilidad que ocurra dicho riesgo.
 6. La región geográfica, se tiene que es la variable que más influye significativamente en la ocurrencia de los riesgos de levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar (para sobrecoste) y malas condiciones meteorológicas (para retraso y sobrecoste). Siendo que cuando la obra se ubica en la región sierra tiene menos probabilidad que ocurra el riesgo levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar, sin embargo cuando se trata de región selva existe mayor probabilidad que ocurra el riesgo de malas condiciones meteorológicas
 7. El tiempo de desfase entre proyecto y obra, influye significativamente en la ocurrencia del riesgo de condiciones imprevistas en el lugar de la obra (para retraso), siendo que cuando el desfase es mayor a 9 meses existe mayor probabilidad que ocurra dicho riesgo.
 8. El año de inicio de obra influye significativamente en la ocurrencia del riesgo estado de emergencia covid (para retraso y sobrecoste), siendo que las obras ejecutadas del 2018 hacia adelante presentan mayor probabilidad de ocurrencia del riesgo.
- Proponer directrices para la simulación de retrasos y sobrecostes en base a escenarios de contratación a partir de los riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú.
1. La propuesta de simulación del retraso y sobrecoste por escenarios de contratación a partir de los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste supone una herramienta útil que puede ayudar a mitigar los retrasos y sobrecostes en los contratos. Adicionalmente, esta propuesta de simulación permite:
 - Determinar la distribución de probabilidad de retraso y sobrecoste en los contratos.
 - Prever el nivel de contingencia en plazo y coste.
 - Identificar los riesgos más influyentes en el retraso y sobrecoste.
 2. De las simulaciones de retraso y sobrecoste realizadas para distintos escenarios de contratación, se obtuvo lo siguiente:
 - El escenario que más contingencia en plazo requiere es cuando el promotor es una administración regional, la estrategia de pago es por precios unitarios, la ubicación es en región selva, el inicio de obra entre 2010-2017 y con un monto contractual mayor a 1 millón, esto se debe a que dicho escenario tiene como promotor a una administración regional el cual contribuye a una mayor probabilidad de ocurrencia del riesgo de RR-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra, además

de encontrarse en selva que significa una mayor probabilidad del riesgo RR-23_Malas condiciones metereológicas y al tener un monto contractual mayor a 1 millón que contribuye a una mayor probabilidad de ocurrencia de ambos riesgos RR-4 y RR-23, siendo estos riesgos entre los más influyentes en ocurrencia de retraso en los proyectos.

- El escenario que más contingencia en coste requiere es cuando el promotor es una administración regional, la estrategia de pago es por precios unitarios, la ubicación es en región selva, con un coeficiente de adjudicación menor a 1, cuya naturaleza de intervención es mejoramiento y/o ampliación, y con un monto contractual mayor a 1 millón, esto se debe a que una administración regional contribuye a una mayor probabilidad de ocurrencia del RS-11_ Errores y discrepancias en los documentos de diseño, además de encontrarse en selva que significa una mayor probabilidad del RS-13_ Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar y al tener un monto contractual mayor a 1 millón que contribuye una mayor probabilidad de ocurrencia de los riesgos RS-11 y RS-9_ Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño, siendo estos riesgos entre los más influyentes en la ocurrencia de sobrecoste de los proyectos.

6.2. Contribuciones de la investigación

En la actualidad estudios sobre riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento alrededor del mundo y sobre todo en Perú son muy escasos. Por lo cual, el presente trabajo fin de máster representa un pequeño avance en este tema, aportando con la identificación de los riesgos de retraso y sobrecoste, determinando los riesgos más importantes, además de identificar las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia de dichos riesgos más importantes. Del mismo modo, se determinó las características de contratación que influyen significativamente en la ocurrencia y magnitud de retraso y sobrecoste en los contratos.

Adicionalmente, la investigación da un pequeño salto sobre el enfoque investigativo de estudios anteriores. Analizando de manera conjunta las dos características principales de los riesgos como son la probabilidad de ocurrencia e impacto, teniendo como fuente de información documentos empíricos generados durante la ejecución, como son los documentos modificatorios de obra.

También se presenta directrices para la simulación del retraso y sobrecoste de las obras según distintos escenarios de contratación, lo cual representa una herramienta muy útil para las administraciones públicas en Perú respecto a la toma de decisiones en la gestión de los riesgos, y de esta manera lograr un mayor rendimiento en tiempo y coste en la ejecución de las obras de suministro de agua potable y saneamiento. Más aún cuando actualmente el marco normativo peruano en obras públicas se limita únicamente a un análisis cualitativo de riesgos durante la ejecución.

Finalmente la contribución principal de la investigación es ser un punto de partida para otras investigaciones futuras donde se analicen a mayor profundidad cada uno de los descubrimientos encontrados.

6.3. Recomendaciones

El presente trabajo fin de máster proporcionó como resultado varios descubrimientos que pueden ayudar a mejorar la eficiencia en la ejecución de obras públicas en el Perú, específicamente en obras de suministro de agua potable y saneamiento. A continuación se exponen algunas recomendaciones prácticas para las administraciones públicas:

Primero: contar con un plan de gestión de riesgos, dando mayor atención a los riesgos más graves identificados en la presente investigación, que vienen a ser los que tienen mayor probabilidad de ocurrencia y alto impacto en este tipo de obras.

Segundo: es recomendable implementar un proceso para la gestión de modificaciones de obra, a fin de minimizar la probabilidad de ocurrencia del riesgo de aprobación de documentos de modificaciones de obra, el cual se ha evidenciado que un riesgo importante tanto para el tiempo y coste en este tipo de obras.

Tercero: otro de los riesgos más importantes tanto para el plazo como coste es la disponibilidad de terrenos, por lo cual se recomienda antes de iniciar la obra verificar que los terrenos donde se construirán las infraestructuras cuenten con la documentación que acredite su libre disponibilidad, además de su respectiva verificación en campo.

Cuarto: si bien el marco normativo peruano no lo contempla, en la etapa de planificación de obra se recomienda realizar la simulación de retrasos y sobrecostes a partir de los riesgos más importantes y según escenarios de contratación, lo cual permitirá determinar la contingencia en plazo y coste, además de identificar los riesgos más influyentes. Todo esto con la finalidad de implementar estrategias que permitan mitigar la probabilidad de ocurrencia e impacto de los riesgos de retraso y sobrecoste durante la ejecución.

6.4. Limitaciones

Como limitante principal de la investigación se tuvo que los riesgos de retraso y sobrecoste identificados únicamente corresponden a los que no son de responsabilidad del contratista, dado que la investigación se basó en documentos modificatorios de obra (justificantes de ampliación de plazo y adicional en coste), las cuales son procedentes siempre y cuando el contratista no tenga responsabilidad alguna. Otra limitación está asociado al tipo de promotor, debido a que la investigación se centró en administración nacional, regional y provincial.

Por otro lado, otra limitación es la justificación de la relación identificada entre las características de contratación y la ocurrencia de los riesgos. Dado que el alcance de la investigación permitió identificar la influencia de características de contratación en la

ocurrencia de los riesgos, limitándose solo a interpretar los resultados obtenidos y no a justificar fehacientemente el porqué de dicha influencia.

6.5. Futuras líneas de investigación

Del desarrollo de la presente investigación se han descubierto futuras líneas de investigación a través de las cuales que se puede profundizar y ampliar el alcance de la investigación, dichas líneas se exponen a continuación:

- Ampliar la investigación a otro tipo de obras públicas vitales para el desarrollo del país, como pueden ser carreteras, colegios, hospitales, etc.
- Analizar la percepción de las partes involucradas en proyectos públicos respecto de los riesgos de retraso y sobrecostes identificados en la presente investigación.
- Ampliar el alcance de la investigación incorporando otras variables como características del proceso de selección, características de los contratistas, entre otras, que pueden ser influyentes en la ocurrencia de los riesgos de retraso y sobrecoste.
- Profundizar de manera focalizada en cada una de las características de contratación identificadas que influyen significativamente en la ocurrencia de riesgos de retraso y sobrecoste.
- Realizar un estudio del caso de acuerdo con las directrices propuestas para la simulación de retrasos y sobrecostes de las obras en base a escenarios de contratación.
- Determinar en qué medida nuevas metodologías como el Building Information Modeling (BIM) contribuyen a mitigar los riesgos de retraso y sobrecostes en proyectos de suministro de agua potable y saneamiento.
- Analizar las categorías de las características de contratación que presentan diferencias significativas en el impacto de retraso y sobrecoste de los riesgos.

7. Referencias bibliográficas

- Abdellatif, H., & Alshibani, A. (2019). Major factors causing delay in the delivery of manufacturing and building projects in Saudi Arabia. *Buildings*, 9(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/buildings9040093>
- Adam, A., Josephson, P. E. B., & Lindahl, G. (2017). Aggregation of factors causing cost overruns and time delays in large public construction projects: Trends and implications. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(3), 393–406. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2015-0135>
- Al-Hazim, N., & Abusalem, Z. (2015). Delay and cost overrun in road construction projects in Jordan. *International Journal of Engineering & Technology*, 4(2), 288. <https://doi.org/10.14419/ijet.v4i2.4409>
- Al-Janabi, A. M., Abdel-Monem, M. S., & El-Dash, K. M. (2020). Factors causing rework and their impact on projects' performance in Egypt. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(7), 666–689. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12916>
- Alaghbari, W., Kadir, M. R. A., Salim, A., & Ernawati. (2007). The significant factors causing delay of building construction projects in Malaysia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 14(2), 192–206. <https://doi.org/10.1108/09699980710731308>
- Alarcón, L. F., Ashley, D. B., de Hanily, A. S., Molenaar, K. R., & Ungo, R. (2011). Risk Planning and Management for the Panama Canal Expansion Program. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), 762–771. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000317](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000317)
- Alsuliman, J. A. (2019). Causes of delay in Saudi public construction projects. *Alexandria Engineering Journal*, 58(2), 801–808. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.07.002>
- Amoatey, C. T., Ameyaw, Y. A., Adaku, E., & Famiyeh, S. (2015). Analysing delay causes and effects in Ghanaian state housing construction projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 8(1), 198–214. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-04-2014-0035>
- Apolot, R. E., Alinaitwe, H., & Tindiwensi, D. (2011). Investigation of the causes of delay and cost overrun in construction projects in Uganda's public sector. *Second International Conference on Advances in Engineering and Technology*, 305–311.
- Arantes, A., Da Silva, P. F., & Ferreira, L. M. D. F. (2016). Delays in construction projects - Causes and impacts. *Proceedings of 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IEEE IESM 2015, October*, 1105–1110. <https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380293>
- Ashley, D., Diekmann, J., & Molenaar, K. (2006). *Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management*. American Trade Initiatives, Inc.

- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 24(4), 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010>
- Aydın, D., & Mihlayanlar, E. (2018). *Causes and Effects of Construction Project Delays: A Local Case Study in Edirne City Centre: “Indoor Environment Quality (IEQ) Analysis of Education Buildings”* View project thermal comfort and air quality View project. February 2019. <https://www.researchgate.net/publication/329415192>
- Baccarini, D. (2004). Accuracy in estimating project cost construction contingency - a statistical analysis. *RICS International Construction Conference, Responding to Change*, 14.
- Bagaya, O., & Song, J. (2016). Empirical Study of Factors Influencing Schedule Delays of Public Construction Projects in Burkina Faso. *Journal of Management in Engineering*, 32(5), 05016014. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000443](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000443)
- Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2020). Empirical study of schedule delay in Moroccan construction projects. *International Journal of Construction Management*, 20(7), 783–800. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484859>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021a). *Producto bruto interno por sectores productivos*. Gerencia Central de Estudios Económicos. <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados/PM04979AA-PM04983AA/html/2000/2021/>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021b). *Reporte de inflación: Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2021-2022*. <https://www.bcrp.gob.pe/>
- CAPECO. (2020). *Informe Económico de la construcción. La construcción en el Perú: de la emergencia a la postpandemia*.
- Chamíe Carrillo, S. A. (2021). *Análisis de las causas de retraso y sobrecoste en la construcción de vías terciarias en Colombia*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Chapman, R. J. (2001). The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management. In *International Journal of Project Management* (Vol. 19, Issue 3, pp. 147–160). [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00070-8)
- Decreto Legislativo N° 1280, Ley marco de la gestión y prestación de los servicios de saneamiento, (2016). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-marco-de-la-gestion-y-decreto-legislativo-n-1280-1468461-1/>
- Decreto Supremo N° 344-2018-EF, Reglamento de la ley N°30225, Ley de contrataciones del estado, (2018). <https://www.gob.pe/institucion/mef/normas-legales/235964-344-2018-ef>
- Derakhshanfar, H., Ochoa, J. J., Kirytopoulos, K., Mayer, W., & Tam, V. W. Y. (2019).

- Construction delay risk taxonomy, associations and regional contexts: A systematic review and meta-analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(10), 2364–2388. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2018-0307>
- Directiva N° 012-2017-OSCE/CD, Gestión de riesgos en la planificación de la ejecución de obras, (2017). <https://www.gob.pe/institucion/osce/normas-legales/288583-012-2017-osce-cd>
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K. C., & Rentala, S. (2012). Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, 30(4), 479–489. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.10.004>
- Durdyev, S., Omarov, M., & Ismail, S. (2017). Causes of delay in residential construction projects in Cambodia. *Cogent Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1291117>
- Elinwa, A. U., & Joshua, M. (2001). Time-Overrun Factors in Nigerian Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(5), 419–425. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2001\)127:5\(419\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2001)127:5(419))
- Faridi, A. S., & El-Sayegh, S. M. (2006). Significant factors causing delay in the UAE construction industry. *Construction Management and Economics*, 24(11), 1167–1176. <https://doi.org/10.1080/01446190600827033>
- Feyzbakhsh, S., Telvari, A., & Lork, A. R. (2018). Investigating the Causes of Delay in Construction of Urban Water Supply and Wastewater Project in Water and WasteWater Project in Tehran. *Civil Engineering Journal*, 3(12), 1288. <https://doi.org/10.28991/cej-030958>
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS* (SAGE Publications (ed.); 3th ed).
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. K., & Buhl, S. L. (2004). What causes cost overrun in transport infrastructure projects? *Transport Reviews*, 24(1), 3–18. <https://doi.org/10.1080/0144164032000080494a>
- Frimpong, Y., Oluwoye, J., & Crawford, L. (2003). Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study. *International Journal of Project Management*, 21(5), 321–326. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00055-8)
- Gupta, V. K., & Thakkar, J. J. (2018). A quantitative risk assessment methodology for construction project. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 43(7), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0846-6>
- Habibi, M., Kermanshachi, S., & Safapour, E. (2018). *Engineering, Procurement, and Construction Cost and Schedule Performance Leading Indicators: State-of-the-Art Review. 1*, 378–388. <https://doi.org/10.1061/9780784481271.037>

- Hamzaoui, F., Taillandier, F., Mehdizadeh, R., Breyse, D., & Allal, A. (2015). Evolutive Risk Breakdown Structure for managing construction project risks: Application to a railway project in Algeria. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(2), 238–262. <https://doi.org/10.1080/19648189.2014.939416>
- Hatmoko, J. U. D., & Khasani, R. R. (2019). Mapping Delay Risks of EPC Projects: A Case Study of A Platform and Subsea Pipeline of An Oil and Gas Project. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 598(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012095>
- Heravi, G., & Mohammadian, M. (2017). Cost Overruns and Delay in Municipal Construction Projects in Developing Countries. *AUT Journal of Civil Engineering*, 1(1), 31–38. <https://doi.org/10.22060/ceej.2017.12189.5163>
- INEI. (2021). *Perú: Estado de la población en el año del bicentenario 2021*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1803/libro.pdf
- Isamil, I. B. (2014). Risk Assessment of Time and Cost Overrun Factors. *Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Master's Thesis, October*.
- Ismail, I., Rahman, I. A., & Memon, A. H. (2013). Study of Factors Causing Time and Cost Overrun throughout Life Cycle of Construction Project. *Proceeding of Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology (MUCET), December, 3–4*.
- Jahangoshai Rezaee, M., Yousefi, S., & Chakraborty, R. K. (2021). Analysing causal relationships between delay factors in construction projects: A case study of Iran. *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(2), 412–444. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-01-2019-0020>
- Johnson, R. M., & Babu, R. I. I. (2020). Time and cost overruns in the UAE construction industry: a critical analysis. *International Journal of Construction Management*, 20(5), 402–411. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484864>
- Kaliba, C., Muya, M., & Mumba, K. (2009). Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia. *International Journal of Project Management*, 27(5), 522–531. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.07.003>
- La Contraloría General de la Republica del Perú. (2015). *Inversión y gestión de los servicios de saneamiento a nivel nacional*.
- La Contraloría General de la Republica del Perú. (2019a). *Obras públicas*. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/informes-publicaciones/1630517-obras-publicas>
- La Contraloría General de la Republica del Perú. (2019b). *Reporte de obras paralizadas 2019*. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/informes-publicaciones/1635195-reportes-de->

obras-paralizadas

- La Contraloría General de la Republica del Perú. (2019c). *Sistema de información de obras públicas - Infobras*. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/informes-publicaciones/1630590-sistema-de-informacion-de-obras-publicas-infobras>
- Leo-Olagbaye, F., & Odeyinka, H. A. (2020). An assessment of risk impact on road projects in Osun State, Nigeria. *Built Environment Project and Asset Management*, 10(5), 673–691. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-04-2019-0040>
- Ley 30225, Ley de contrataciones del Estado, (2014). <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/118484-30225>
- Lozano, E. (2012). La eficiencia en la ejecución de obras públicas: tarea pendiente en el camino hacia la competitividad regional - un enfoque desde el control gubernamental. *Revista TCEMG*, Jul-Ago-Se, 112–129. <http://revista.tce.mg.gov.br/Content/Upload/Materia/1608.pdf>
- Lu, W., Hua, Y. Y., & Zhang, S. J. (2017). Logistic regression analysis for factors influencing cost performance of design-bid-build and design-build projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(1), 118–132. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2015-0119>
- Manzano Alvarado, M. (2019). *Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras de Ecuador*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). *Perfil ambiental del Perú*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/60-sector-agrario/introduccion/343-perfil-ambiental-del-peru>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). *El ciclo de inversión*. https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=100282&lang=es-ES&view=article&id=5520
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Plan Nacional de Infraestructura para la competitividad*. https://www.mef.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=6082&Itemid=100674&lang=es&language=es-ES
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Consulta Amigable de ejecución del gasto*. Ministerio de Economía y Finanzas. <https://apps5.mineco.gob.pe/transparencia/mensual/default.aspx?y=2016&ap=Proyecto>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2017a). *Plan Nacional de Saneamiento 2017 - 2021*. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-plan-nacional-de-saneamiento-decreto-supremo-n-018-2017-vivienda-1537154-9/>

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2017b). *Política Nacional de Saneamiento 2017-2021*. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/normas-legales/986954-decreto-supremo-n-007-2017-vivienda>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2021a). *Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2586305-plan-nacional-de-saneamiento-2022-2026>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2021b). *Política Nacional de Saneamiento. 2021*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/1948740-politica-nacional-de-saneamiento>
- Ms. Leena Mali, M. A. A. W. (2016). Causes of delay in the construction industry in pune region of india. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5(5), 177–187. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0015159159&partnerID=40&md5=d91013cdcea0076126b04618f71af4a6>
- Niazi, G. A., & Painting, N. (2017). Significant Factors Causing Cost Overruns in the Construction Industry in Afghanistan. *Procedia Engineering*, 182, 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.145>
- Odeh, A. M., & Battaineh, H. T. (2002). Causes of construction delay: Traditional contracts. *International Journal of Project Management*, 20(1), 67–73. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00037-5)
- Odeyinka, H. A., Lowe, J., & Kaka, A. P. (2013). Artificial neural network cost flow risk assessment model. *Construction Management and Economics*, 31(5), 423–439. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.802363>
- Orangi, A., Palaneeswaran, E., & Wilson, J. (2011). Exploring delays in Victoria-based Astralian pipeline projects. *Procedia Engineering*, 14, 874–881. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.111>
- Patil, V., & Ashta, T. (2017). Analysis of Causes of Delay in Any Construction Project. *International Journal of Modern Trends in Engineering & Research*, 4(2), 128–134. <https://doi.org/10.21884/ijmter.2017.4063.xcnky>
- Perrenoud, A. J., Smithwick, J. B., Hurtado, K. C., & Sullivan, K. T. (2016). Project Risk Distribution during the Construction Phase of Small Building Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(3), 04015050. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000417](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000417)
- Project Management Institute-Perú. (2020). *Informe Situacional del Sector Construcción en el Perú Post Covid-2019*. <https://pmi.org.pe/informe-situacional-del-sector-construccion-en-el-peru-post-covid-2019/>

- Project Management Institute. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos* (Sixth Edit).
- Renuka, S. M., & Umarani, C. (2019). Effect of critical risk factors causing cost deviation in medium sized construction projects. *Journal of Construction in Developing Countries*, 23(2), 63–85. <https://doi.org/10.21315/jcdc2018.23.2.5>
- Rosenfeld, Y. (2014). Root-Cause Analysis of Construction-Cost Overruns. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1), 04013039. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000789](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000789)
- Sambasivan, M., & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*, 25(5), 517–526. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.007>
- Sanz, A. (2015). *Influencia del comportamiento colaborativo en la construcción de edificios residenciales de promoción privada en España. Comparativa con la experiencia Norteamericana*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Susanti, R. (2020). Cost overrun and time delay of construction project in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012050>
- Vivanco, M. (2005). *Muestreo estadístico diseño y aplicaciones* (Editorial Univeristaria (ed.); 1era ed).
- Yap, J. B. H., Goay, P. L., Woon, Y. B., & Skitmore, M. (2021). Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1717–1729. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>

Anexo 1. Test de normalidad de variables de estudio
Tabla 102. Test de normalidad Kolmogorov - Smirnov

Variable	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
CC_1	0,368	318	0,000
CC_2	0,304	318	0,000
CC_3	0,391	318	0,000
CC_4	0,389	318	0,000
CC_5	0,311	318	0,000
CC_6	0,239	318	0,000
CC_7	0,404	318	0,000
CC_8	0,478	318	0,000
CC_9	0,367	318	0,000
CC_10	0,180	318	0,000
CC_11	0,420	318	0,000
CC_12	0,192	318	0,000
CC_13	0,308	318	0,000
CC_14	0,275	318	0,000
CC_15	0,188	318	0,000
CC_16	0,106	318	0,000
CC_17	0,115	318	0,000
IRRP_1	0,519	318	0,000
IRRP_2	0,504	318	0,000
IRRP_3	0,525	318	0,000
IRRP_4	0,436	318	0,000
IRRP_5	0,512	318	0,000
IRRP_6	0,516	318	0,000
IRRP_7	0,519	318	0,000
IRRP_8	0,522	318	0,000
IRRP_9	0,534	318	0,000
IRRP_10	0,529	318	0,000
IRRP_11	0,528	318	0,000
IRRP_12	0,519	318	0,000
IRRP_13	0,515	318	0,000
IRRP_14	0,507	318	0,000
IRRP_15	0,528	318	0,000
IRRP_16	0,525	318	0,000
IRRP_17	0,523	318	0,000
IRRP_18	0,529	318	0,000
IRRP_19	0,519	318	0,000
IRRP_20	0,523	318	0,000
IRRP_21	0,508	318	0,000
IRRP_22	0,519	318	0,000
IRRP_23	0,452	318	0,000
IRRP_24	0,523	318	0,000
IRRP_25	0,519	318	0,000
IRRP_26	0,528	318	0,000
IRRP_27	0,534	318	0,000
IRSP_1	0,519	318	0,000
IRSP_2	0,521	318	0,000

IRSP_3	0,510	318	0,000
IRSP_4	0,520	318	0,000
IRSP_5	0,523	318	0,000
IRSP_6	0,521	318	0,000
IRSP_8	0,513	318	0,000
IRSP_9	0,493	318	0,000
IRSP_10	0,522	318	0,000
IRSP_11	0,512	318	0,000
IRSP_12	0,519	318	0,000
IRSP_13	0,485	318	0,000
IRSP_15	0,524	318	0,000
IRSP_16	0,519	318	0,000
IRSP_17	0,519	318	0,000
IRSP_18	0,525	318	0,000
IRSP_21	0,525	318	0,000
IRSP_22	0,521	318	0,000
IRSP_23	0,521	318	0,000
IRSP_26	0,525	318	0,000
IRSP_27	0,529	318	0,000
IRICP_1	0,478	318	0,000

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Matriz de correlaciones
Tabla 103. Matriz de correlación de Spearman de variables de contratación

	CC_1	CC_2	CC_3	CC_4	CC_5	CC_6	CC_7	CC_8	CC_9	CC_10	CC_11	CC_12	CC_13	CC_14	CC_15	CC_16	CC_17
CC_1	1,000																
CC_2	0,083	1,000															
CC_3	,131*	-,161**	1,000														
CC_4	-,253**	,513**	-,238**	1,000													
CC_5	0,021	0,081	-0,100	,208**	1,000												
CC_6	-0,026	,170**	-0,065	,213**	,309**	1,000											
CC_7	0,107	-0,040	,142*	-,193**	-,822**	-,292**	1,000										
CC_8	,180**	,185**	-0,036	0,063	-,149**	0,023	,146**	1,000									
CC_9	,997**	,121*	,122*	-,235**	0,027	-0,040	0,100	,189**	1,000								
CC_10	,821**	0,108	-0,030	-,175**	,113*	0,089	-0,012	,177**	,826**	1,000							
CC_11	,386**	-0,053	,194**	-,191**	-0,063	0,011	,117*	0,031	,378**	,322**	1,000						
CC_12	,741**	-0,007	0,102	-,303**	-0,014	0,002	0,055	0,075	,738**	,734**	,578**	1,000					
CC_13	,401**	-,115*	,170**	-,297**	-,136*	-0,064	0,104	0,006	,393**	,236**	,613**	,779**	1,000				
CC_14	,437**	-0,079	,155**	-,240**	-0,087	-0,006	0,091	0,045	,422**	,331**	,828**	,701**	,818**	1,000			
CC_15	,334**	-,189**	,181**	-,289**	,177**	-0,023	-,122*	-0,078	,328**	,314**	,209**	,335**	,214**	,232**	1,000		
CC_16	0,019	-0,068	,536**	-0,061	0,014	,122*	-0,069	0,055	0,009	-0,109	0,039	-0,060	0,022	0,036	-0,088	1,000	
CC_17	0,073	-,139*	,554**	-,119*	0,044	,119*	-0,081	0,046	0,061	-0,058	0,089	0,008	0,069	0,086	,131*	,939**	1,000

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Anexo 3. Tablas de contingencia de riesgos
Tabla 104. Tabla de contingencia del riesgo R-2_Problemas de disponibilidad de terrenos

		RR_2		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_2	No ocurre	Recuento	284	21	305
		Recuento esperado	272,4	32,6	305
		% dentro de RR_2	100,0%	61,8%	95,9%
		% del total	89,3%	6,6%	95,9%
Ocurre	Recuento	0	13	13	
	Recuento esperado	11,6	1,4	13	
	% dentro de RR_2	0,0%	38,2%	4,1%	
	% del total	0,0%	4,1%	4,1%	
Total	Recuento	284	34	318	
	% dentro de RR_2	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	89,3%	10,7%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo “**Problemas con disponibilidad de terreno**” es más frecuente que se produzca solo retraso, que retraso y sobrecoste en simultáneo. Sin embargo, en ningún caso provocará únicamente sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que únicamente se requiera de ampliación de plazo hasta que se llegue a un acuerdo con el propietario del terreno; o que cuando se necesite reubicar las estructuras por cambio de terreno, el balance de sumas y restas por la modificación tendera siempre a requerir de mayor plazo y recursos económicos en simultaneo.

Tabla 105. Tabla de contingencia del riesgo R-3_Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)

		RR_3		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_3	No ocurre	Recuento	292	1	293
		Recuento esperado	275,5	17,5	293
		% dentro de RR_3	97,7%	5,3%	92,1%
		% del total	91,8%	0,3%	92,1%
Ocurre	Recuento	7	18	25	
	Recuento esperado	23,5	1,5	25	
	% dentro de RR_3	2,3%	94,7%	7,9%	
	% del total	2,2%	5,7%	7,9%	
Total	Recuento	299	19	318	
	% dentro de RR_3	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	94,0%	6,0%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo “**Cambios en el alcance del proyecto (modificaciones contractuales)**” es más frecuente que produzca retraso y sobrecoste en simultáneo. Sin embargo, es muy poco frecuente que cuando aparezca solo produzca retraso o sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que el balance de sumas y restas por la modificación tendera con mayor frecuencia a requerir de recursos económicos y plazo. En los pocos casos se llegue a requerir únicamente plazo querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará

de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 106. Tabla de contingencia del riesgo R-4_Aprobación de documentos de modificaciones de obra

		RR_4		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_4	No ocurre	Recuento	252	56	308
		Recuento esperado	244,1	63,9	308
		% dentro de RR_4	100,0%	84,8%	96,9%
		% del total	79,2%	17,6%	96,9%
Ocurre	Ocurre	Recuento	0	10	10
		Recuento esperado	7,9	2,1	10
		% dentro de RR_4	0,0%	15,2%	3,1%
		% del total	0,0%	3,1%	3,1%
Total	Recuento	252	66	318	
	% dentro de RR_4	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	79,2%	20,8%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Aprobación de documentos de modificaciones de obra**” es más frecuente que se produzca retraso, que provoque retraso y sobrecoste en simultáneo. Sin embargo, cuando aparece este riesgo en ningún caso produce solo sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que únicamente se requiera de ampliación de plazo hasta que se apruebe dicha modificación, siendo que en algunas ocasiones producto de la ampliación de plazo otorgado se necesite reconocer mayores gastos generales al contratista, produciendo de esta manera retraso y sobrecoste de forma simultánea.

Tabla 107. Tabla de contingencia del riesgo R-5_Absolución de consultas de obra

		RR_5		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_5	No ocurre	Recuento	303	10	313
		Recuento esperado	298,2	14,8	313
		% dentro de RR_5	100,0%	66,7%	98,4%
		% del total	95,3%	3,1%	98,4%
Ocurre	Ocurre	Recuento	0	5	5
		Recuento esperado	4,8	0,2	5
		% dentro de RR_5	0,0%	33,3%	1,6%
		% del total	0,0%	1,6%	1,6%
Total	Recuento	303	15	318	
	% dentro de RR_5	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	95,3%	4,7%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Absolución de consultas de obra**” es más frecuente que se produzca retraso, que retraso y sobrecoste en simultáneo. Sin embargo, cuando aparece este riesgo en ningún caso produce solo sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que únicamente se requiera de ampliación de plazo hasta que absuelva la consulta de obra, siendo que en algunas ocasiones producto de la ampliación de

plazo otorgado se necesite reconocer mayores gastos generales al contratista, produciendo de esta manera retraso y sobrecoste de forma simultánea.

Tabla 108. Tabla de contingencia del riesgo R-6_Silencio administrativo ante solicitudes del constructor

		RR_6		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_6	No ocurre	Recuento	301	12	313
		Recuento esperado	296,3	16,7	313
		% dentro de RR_6	100,0%	70,6%	98,4%
		% del total	94,7%	3,8%	98,4%
Ocurre	Ocurre	Recuento	0	5	5
		Recuento esperado	4,7	0,3	5
		% dentro de RR_6	0,0%	29,4%	1,6%
		% del total	0,0%	1,6%	1,6%
Total	Recuento	301	17	318	
	% dentro de RR_6	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	94,7%	5,3%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Silencio administrativo ante solicitudes del constructor**” es más frecuente que se produzca retraso, que retraso y sobrecoste en simultáneo. Sin embargo, cuando aparece este riesgo en ningún caso produce solo sobrecoste. Esto quiere decir que dicho riesgo aparece únicamente ante solicitudes de ampliación de plazo, siendo que en algunas ocasiones producto de la ampliación de plazo otorgado se necesite reconocer mayores gastos generales al contratista, produciendo de esta manera retraso y sobrecoste de forma simultánea. Además deja en evidencia que cuando se trata de solicitudes de coste adicional, las administraciones realizan las gestiones más diligentemente.

Tabla 109. Tabla de contingencia del riesgo R-8_Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original

		RR_8		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_8	No ocurre	Recuento	289	2	291
		Recuento esperado	270	21	291
		% dentro de RR_8	98,0%	8,7%	91,5%
		% del total	90,9%	0,6%	91,5%
Ocurre	Ocurre	Recuento	6	21	27
		Recuento esperado	25	2	27
		% dentro de RR_8	2,0%	91,3%	8,5%
		% del total	1,9%	6,6%	8,5%
Total	Recuento	295	23	318	
	% dentro de RR_8	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	92,8%	7,2%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Rediseño debido a cambios en el diseño técnico original**” es más frecuente que produzca retraso y sobrecoste en simultáneo, que solo retraso o sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que el balance de sumas y restas para cumplir con la modificación requiera de plazo y recursos

económicos en simultáneo. En los pocos casos se llegue a requerir únicamente plazo querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 110. Tabla de contingencia del riesgo R-9_ Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño

		RR_9		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_9	No ocurre	Recuento	283	3	286
		Recuento esperado	279,7	6,3	286
		% dentro de RR_9	91,0%	42,9%	89,9%
		% del total	89,0%	0,9%	89,9%
Ocurre	Recuento	28	4	32	
	Recuento esperado	31,3	0,7	32	
	% dentro de RR_9	9,0%	57,1%	10,1%	
	% del total	8,8%	1,3%	10,1%	
Total	Recuento	311	7	318	
	% dentro de RR_9	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	97,8%	2,2%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,002<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Estimación inexacta del coste de obra en fase de diseño**” es más frecuente que se produzca sobrecoste, que solo retraso o ambos en simultáneo. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo, el balance de sumas y restas por la modificación tenderá con mayor frecuencia a requerir recursos económicos que plazo adicional. En los pocos casos se llegue a requerir únicamente plazo querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 111. Tabla de contingencia del riesgo R-10_ Estudio de suelos defectuoso

		RR_10		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_10	No ocurre	Recuento	299	2	301
		Recuento esperado	287,7	13,3	301
		% dentro de RR_10	98,4%	14,3%	94,7%
		% del total	94,0%	0,6%	94,7%
Ocurre	Recuento	5	12	17	
	Recuento esperado	16,3	0,7	17	
	% dentro de RR_10	1,6%	85,7%	5,3%	
	% del total	1,6%	3,8%	5,3%	
Total	Recuento	304	14	318	
	% dentro de RR_10	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	95,6%	4,4%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Estudio de suelos defectuoso**” es más frecuente que se produzca retraso y sobrecoste en simultáneo, que solo retraso o sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que el balance de sumas y restas para

cumplir con la modificación requiera de plazo y recursos económicos en simultáneo. En los pocos casos que se llegue a requerir únicamente plazo querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 112. Tabla de contingencia del riesgo R-11_ Errores y discrepancias en los documentos de diseño

			RR_11		Total
			No ocurre	Ocurre	
RS_11	No ocurre	Recuento	288	4	292
		Recuento esperado	274,6	17,4	292
		% dentro de RR_11	96,3%	21,1%	91,8%
		% del total	90,6%	1,3%	91,8%
	Ocurre	Recuento	11	15	26
		Recuento esperado	24,4	1,6	26
		% dentro de RR_11	3,7%	78,9%	8,2%
		% del total	3,5%	4,7%	8,2%
Total	Recuento	299	19	318	
	% dentro de RR_11	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	94,0%	6,0%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Errores y discrepancias en los documentos de diseño**” es más frecuente que produzca retraso y sobrecoste en simultáneo, que retraso o sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que el balance de sumas y restas para cumplir con la modificación requiera de plazo y recursos económicos en simultáneo. En los pocos casos que se llegue a requerir únicamente plazo querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 113. Tabla de contingencia del riesgo R-13_ Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar

			RR_13		Total
			No ocurre	Ocurre	
RS_13	No ocurre	Recuento	279	3	282
		Recuento esperado	258,1	23,9	282
		% dentro de RR_13	95,9%	11,1%	88,7%
		% del total	87,7%	0,9%	88,7%
	Ocurre	Recuento	12	24	36
		Recuento esperado	32,9	3,1	36
		% dentro de RR_13	4,1%	88,9%	11,3%
		% del total	3,8%	7,5%	11,3%
Total	Recuento	291	27	318	
	% dentro de RR_13	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	91,5%	8,5%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Levantamiento de información inexacta de la situación actual de obra/lugar**” es más frecuente que se produzca retraso y sobrecoste en simultáneo,

que solo retraso o sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que el balance de sumas y restas para cumplir con la modificación requiera de plazo y recursos económicos en simultáneo. En los pocos casos que se llegue a requerir únicamente plazo adicional querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 114. Tabla de contingencia del riesgo R-15_ Reclamos por usuarios directos del proyecto

		RR_15		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_15	No ocurre	Recuento	307	7	314
		Recuento esperado	304,1	9,9	314
		% dentro de RR_15	99,7%	70,0%	98,7%
		% del total	96,5%	2,2%	98,7%
	Ocurre	Recuento	1	3	4
		Recuento esperado	3,9	0,1	4
		% dentro de RR_15	0,3%	30,0%	1,3%
		% del total	0,3%	0,9%	1,3%
Total	Recuento	308	10	318	
	% dentro de RR_15	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	96,9%	3,1%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo “**Reclamos por usuarios directos del proyecto**” es más frecuente que se produzca solo retraso, que sobrecoste o ambos en simultáneo. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que únicamente se requiera de ampliación de plazo hasta que se llegue a un acuerdo con los usuarios del proyecto; y en algunas ocasiones se requerirá reconocer gastos generales al contratista.

Tabla 115. Tabla de contingencia del riesgo R-19_ Permisos gubernamentales

		RR_19		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_19	No ocurre	Recuento	310	5	315
		Recuento esperado	307,1	7,9	315
		% dentro de RR_19	100,0%	62,5%	99,1%
		% del total	97,5%	1,6%	99,1%
	Ocurre	Recuento	0	3	3
		Recuento esperado	2,9	0,1	3
		% dentro de RR_19	0,0%	37,5%	0,9%
		% del total	0,0%	0,9%	0,9%
Total	Recuento	310	8	318	
	% dentro de RR_19	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	97,5%	2,5%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Permiso gubernamentales**” es más frecuente que se produzca solo retraso, que ambos en simultáneo. Sin embargo, cuando aparece dicho riesgo en ningún caso produce solo sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que únicamente se requiera de ampliación de plazo hasta que la administración

obtenga el permiso correspondiente, siendo que en algunas ocasiones producto de la ampliación de plazo otorgado se necesite reconocer mayores gastos generales al contratista, produciendo de esta manera retraso y sobrecoste de forma simultánea.

Tabla 116. Tabla de contingencia del riesgo R-23_ Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)

		RR_23		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_23	No ocurre	Recuento	268	42	310
		Recuento esperado	261,3	48,7	310
		% dentro de RR_23	100,0%	84,0%	97,5%
		% del total	84,3%	13,2%	97,5%
RS_23	Ocurre	Recuento	0	8	8
		Recuento esperado	6,7	1,3	8
		% dentro de RR_23	0,0%	16,0%	2,5%
		% del total	0,0%	2,5%	2,5%
Total	Recuento	268	50	318	
	% dentro de RR_23	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	84,3%	15,7%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Malas condiciones meteorológicas (precipitaciones y sus efectos)**” es más frecuente que se produzca solo retraso que, retraso y sobrecoste en simultáneo. Sin embargo, cuando aparece dicho riesgo en ningún caso produce solo sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que únicamente se requiera de ampliación de plazo hasta que cese las precipitaciones, y en algunas ocasiones producto de la ampliación de plazo otorgado se necesite reconocer mayores gastos generales al contratista, produciendo de esta manera retraso y sobrecoste de forma simultánea.

Tabla 117. Tabla de contingencia del riesgo R-26_ Condiciones imprevistas del lugar de la obra

		RR_26		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_26	No ocurre	Recuento	307	2	309
		Recuento esperado	302,2	6,8	309
		% dentro de RR_26	98,7%	28,6%	97,2%
		% del total	96,5%	0,6%	97,2%
RS_26	Ocurre	Recuento	4	5	9
		Recuento esperado	8,8	0,2	9
		% dentro de RR_26	1,3%	71,4%	2,8%
		% del total	1,3%	1,6%	2,8%
Total	Recuento	311	7	318	
	% dentro de RR_26	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	97,8%	2,2%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Condiciones imprevistas del lugar de la obra**” es más frecuente que se produzca retraso y sobrecoste en simultáneo, que solo retraso o sobrecoste. Esto quiere decir que cuando aparece dicho riesgo es muy probable que el balance de sumas

y restas para cumplir con la modificación requiera de plazo y recursos económicos en simultaneo. En los pocos casos que se llegue a requerir únicamente plazo adicional querrá decir que el balance en coste es igual a cero (coste de los trabajos adicionales es igual al coste de lo que se dejará de hacer), y cuando se requiere únicamente coste adicional, será cuando la modificación no afecta la ruta crítica del proyecto.

Tabla 118. Tabla de contingencia del riesgo R-27_ Estado de emergencia covid

		RR_27		Total	
		No ocurre	Ocurre		
RS_27	No ocurre	Recuento	306	0	306
		Recuento esperado	294,5	11,5	306
		% dentro de RR_27	100,0%	0,0%	96,2%
		% del total	96,2%	0,0%	96,2%
	Ocurre	Recuento	0	12	12
		Recuento esperado	11,5	0,5	12
		% dentro de RR_27	0,0%	100,0%	3,8%
		% del total	0,0%	3,8%	3,8%
Total	Recuento	306	12	318	
	% dentro de RR_27	100,0%	100,0%	100,0%	
	% del total	96,2%	3,8%	100,0%	

Prueba de chi-cuadrado: P-value (0,000<0,05). Entonces existe asociación.

Cuando ocurre el riesgo de “**Estado de emergencia covid**” siempre va a requerir de plazo adicional y recursos económicos. Esto es evidente dado que ante un estado de emergencia las obras se paralizan, y además se hace necesarios costes adicionales para cumplir con los protocolos de seguridad de los trabajadores.

Anexo 4. Anexo ODS al trabajo de fin de máster

Anexo al Trabajo Fin de Máster

Relación del TFM “Análisis de riesgos de retraso y sobrecoste en obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				x
ODS 2. Hambre cero.				x
ODS 3. Salud y bienestar.				x
ODS 4. Educación de calidad.				x
ODS 5. Igualdad de género.				x
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	x			
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				x
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				x
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.		x		
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				x
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				x
ODS 12. Producción y consumo responsables.				x
ODS 13. Acción por el clima.				x
ODS 14. Vida submarina.				x
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				x
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				x
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				x

Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

El presente trabajo fin de máster tiene un grado de relación alto con el ODS 06 “Agua limpia y saneamiento” debido a que mediante la investigación se busca de alguna forma mejorar la eficiencia de tiempo y coste en la ejecución de obras de suministro de agua potable y saneamiento en Perú, lo cual contribuye a que más población tengan un acceso oportuno a los servicios de agua potable y saneamiento.

Principalmente se busca identificar y analizar los riesgos más importantes de retraso y sobrecoste en los contratos de obras de suministro de agua potable y saneamiento, a fin de proponer directrices para la simulación del retraso y sobrecoste en este tipo de contratos en base escenarios de contratación, lo que representa una herramienta muy útil para las administraciones públicas en Perú respecto a la toma de decisiones en la gestión de este tipo de riesgos, y de esta forma lograr un mayor rendimiento en tiempo y coste en la ejecución de las obras.

De esta forma se fomenta la ejecución eficiente de este tipo de obras, reduciendo plazos y costes, permitiendo una mayor ejecución de obras y brindando un acceso oportuno a la población que aún no cuenta con los servicios básicos de agua potable y saneamiento.