

...therefore, five fac...
...made with bulletproof glass,
...COVER STRUCTURE: Formed by
...is located in the top
...allows light pass through
...TOUR OF STAIRS
...joints. This...necessity of use
...them. **PIEDESTAL DISTRIBUTION PLAN**
...side while they enjoy of the inner great

Factores latentes de la desviación de presupuestos en proyectos de arquitectura. Un análisis empírico

BASE FLOORS (ACCESS): -2nd floor, -1st floor, ground floor, and 1st floor (s: 1 / 700)

TYPE PILGRIM SHELTER FLOORS: 7th, 8th, 9th floor, 10th floor, and 10th floor. (s: 1 / 700)

DOCTORANDO:
D. Oscar Bustos Chocomeli

DIRECTORES DE TESIS:
Dr. D. Javier Benlloch Marco
Catedrático del Departamento
de Construcciones Arquitectónicas
de la Universidad Politécnica de Valencia

Dr. D. Jose Luis Ponz Tienda
Profesor de la Universidad de Los Andes en Bogotá

PROGRAMA DE DOCTORADO
EN ARQUITECTURA, EDIFICACIÓN,
URBANÍSTICA Y PAISAJE
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
ARQUITECTÓNICAS
VALENCIA, OCTUBRE DE 2014

Esta tesis pretende profundizar en el paradigma del sistema presupuestario de proyectos de arquitectura, centrando su atención no tanto en los efectos sino en las causas de la desviación de sus presupuestos. Así, se analizan los tránsitos históricos de la disciplina y el reciente panorama en el que toman fuerza nuevas metodologías de gestión aplicadas en el sector de la edificación como el Fuzzy o el Activity Based Costing (ABC). En el marco experimental se persigue modelizar el sistema complejo "Desviación de presupuestos" recurriendo a las herramientas estadísticas del Análisis Factorial de Componentes Principales y la Regresión Logística Multinomial; Desde la Literatura, se analizan las variables objetivos recurrentes, y se genera el modelo conceptual hipótesis del constructo. Apoyado en dicho constructo teórico, se desarrolla la técnica Delphi de expertos que sirve de base para la elaboración de un cuestionario a profesionales. Del análisis y tratamiento de sus datos, se extraen las correspondientes conclusiones del modelo.

PALABRAS CLAVE:

Desviación de presupuestos, Control presupuestario, Presupuesto de Proyectos, Contingencias, Análisis Factorial, Análisis de Componentes Principales, Regresión Logística Multinomial, Logit Multinomial.

ABSTRACT

This thesis tries to study in depth the paradigm of the budgetary system of architecture projects, focusing its attention not so much on the effects, but on the causes of their cost overruns. Thus, the transits are analyzed of the historical discipline and the recent panorama in which take force new management methodologies applied in the building sector as the fuzzy or Activity-based costing (ABC). In the experimental framework aims at modeling the complex system "Diversion of budgets" by resorting to the statistical tools of the Principal Components Analysis and logistic regression multivariate; from the literature, the recurring targets variables are analyzed, and the conceptual hypotheses model is generated. Supported in this theoretical construct, develops the Delphi technique of expertones that serves as the basis for developing a questionnaire to professionals. The analysis and treatment of it's data, the relevant conclusions of the model are extracted.

KEYWORDS:

Budgets Diversion, Cost Overruns, Budgetary Control, Project Budget, Contingencies, Factor Analysis, Principal Components, logistic regression multivariate Analysis.

Aquesta Tesi pretén aprofundir en el paradigma del sistema pressupostari de projectes d'arquitectura, centrant la seua atenció no tant en els efectes sinó més aviat en les causes de la desviació dels seus pressupostos. D'aquesta manera analitzem els trànsits històrics de la disciplina i el recent panorama en el que prenen força les noves metodologies de gestió aplicades al sector de l'edificació com el Fuzzy o l'Activity Based Costing (ABC). En el Marc experimental s'hi persegueix modelitzar el sistema complex "desviació de pressupostos" recorrent a les eines estadístiques de l'Anàlisi Factorial dels Components Principals i la Regressió Logística Multinomial; Des de la Literatura, s'hi analitzen les variables d'objectius recurrents, es genera el model conceptual hipòtesi del constructe. Recolzat en aquest teòric constructe, es desenvolupa La tècnica Delphi d'experts que serveix de base per l'elaboració d'un qüestionari a professionals. De l'anàlisi i tractament de les dades, s'extrauen les corresponents conclusions del model.

PARAULES CLAU:

Desviació de pressupostos, Control pressupostari, Pressupost de Projectes, Contingències, Anàlisi Factorial, Anàlisi de Components Principals, Regressió Logística Multinomial, Logit Multinomial.

*A Mercedes Chocomeli que sigue
inspirando mi vida y aún hoy
aprendo de su memoria*

AGRADECIMIENTOS:

Mi más profundo agradecimiento al profesor D. José Luis Ponz Tienda de la Universidad de los Andes de Bogotá. Por supuesto, por su sabia dirección, sus consejos, su apoyo y dedicación, pero especialmente por lo que su emulación me ha supuesto de acicate en este proyecto personal. Debo también reconocer expresamente todos los conocimientos que me ha transmitido, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de esta investigación. Y por encima de todo esto, queda mi especial agradecimiento por su amistad.

Del mismo modo, quiero manifestarle mi sincero agradecimiento al profesor D. Javier Benlloch Marco por su dirección y asesoramiento, por sus orientaciones como buen conocedor del campo de la Dirección de Proyectos de Arquitectura, así como por brindarme la oportunidad de realizar mi Tesis Doctoral

No podría olvidar en estos agradecimientos a mis compañeros de Departamento De Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Valencia, que me han ayudado a sacar adelante esta investigación, en especial a la profesora M^a José González Redondo, y a todos y cada uno de los expertos que han participado pacientemente en los trabajos de la técnica Delphi.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	7
1. OBJETIVO Y PLANTEAMIENTO	11
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
OBJETIVOS	18
Objetivos específicos	19
ALCANCE Y DELIMITACIONES	20
2. MARCO TEÓRICO	23
ESTADO DEL ARTE	25
Antecedentes	25
Precisiones conceptuales	26
Estimaciones	26
La incertidumbre	33
La imprecisión	37
Variables Coste y tiempo	38
El Riesgo	46
Contingencias	52
Desviaciones (COST OVERRUNS)	56
Concepto y referencias	56
Presupuestos Vs Costes	59
El problema	60
El Control. Análisis cuantitativo	61
Causalidad: Factores latentes	64
El Conocimiento complejo	66
La totalidad del saber	66
La complejidad	68
La parte y el todo	70
Sistemas complejos	71
MODELIZACIÓN HIPÓTESIS	74
Revisión de la literatura	74
Taxonomías	77
Factores causales	82
Alcance del Proyecto	86

Diseño- Proyecto	88
Entrega de proyectos y gestión	90
Licitación Adjudicación	94
Contratación	98
Socioeconómicos	100
Ambientales	103
Atributos	104
Metodologías y técnicas	105
Estimación por porcentaje	107
Regresión multivariante (MRA)	108
Probabilidad	117
Simulación	123
Lógica Fuzzy	128
Lógica artificial	135
CBR	139
Algoritmos genéticos	144
Obtención de Expertos	146
3. MARCO EXPERIMENTAL	155
METODOLOGÍA Y FASES	157
Diseño metodológico	158
Fases y etapas	160
EXTRACCIÓN DE FACTORES DE LA LITERATURA	164
Modelo conceptual: Constructo	167
Determinación de factores y Variables	169
JUICIO DE EXPERTOS. TÉCNICA DELPHI.	172
Delphi Etapa 1. Variables y Factores relevantes	175
Delphi Etapa 2. Convergencia de juicios	179
ANÁLISIS FACTORIAL EXPLORATORIO	190
Análisis estadístico de datos	200
JUICIO DE PROFESIONALES. CUESTIONARIO	229
Análisis Factorial Confirmatorio	232
Metodología análisis factorial confirmatorio	233
Análisis estadístico de datos	237
MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA	262
Regresión Logística Multinomial	263
Estimación de Coeficientes regresores	268
Validación del modelo	277
Salida del modelo	279

Resultados y discusión	281
4. CONCLUSIONES	293
LIMITACIONES A LA INVESTIGACIÓN	295
LOGROS DE LA INVESTIGACIÓN	297
CONCLUSIONES	298
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	303
BIBLIOGRAFÍA	305
ANEXOS	331
CUESTIONARIOS	
Cuestionario Delphi ronda 1	333
Cuestionario Delphi ronda 2	337
Cuestionario Profesionales del Sector	343
CONSTRUCTO TEÓRICO. Esquema	349
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	351
ÍNDICE DE TABLAS	353
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	355

“Ignoramos, porque sabemos sin saber que sabemos”

1. OBJETIVO Y PLANTEAMIENTO

Una de las primeras realidades que se constata desde la experiencia, en las primeras aproximaciones a la gestión de proyectos, es que los proyectos casi nunca concluyen en el punto en el que se programaron, ni en tiempo, ni en dinero; y que los tozudos datos dicen que la generalidad de las obras terminan con rebosamientos económico - temporales que desbaratan las previsiones de nuestros Clientes; Por el contrario, los infracostes y las anticipaciones en la finalización de los proyectos, prácticamente no existen.

Otra realidad paradójica que se comprueba desde una observación alejada, es el curioso hecho de que estamos acostumbrados a ello, que por convivencia, estas desviaciones han llegado a formar parte de nuestro “mundo”; Las tratamos con la normalidad de la costumbre, y con la fuerza de esta nos aferramos a su irremediabilidad, de modo que hacemos poco o nada por erradicarlas.

El presupuesto de proyecto y su seguimiento ha concentrado tradicionalmente la atención del control presupuestario en edificación, focalizando gran parte de su esfuerzo en la minimización del coste objetivo y en la reducción de sus desviaciones. Presupuestar implica anticipar la realidad de futuro y por tanto requiere de métodos para su identificación; Nuestro sistema de presupuestación basado en un modelo de referencia de división, tratamiento y agregación, fue la principal aportación de los grandes maestros; Ha permitido la vigencia de los modelos que la formalizaron, consistentes en trasladar al mundo de la presupuestación un modelo utilizado por el ser humano de forma natural, que consiste en la división de los grandes problemas de difícil solución global en pequeñas partes fácilmente abordables, para desarrollar, después del tratamiento de cada una de las partes obtenidas, un proceso de agregación de los resultados (*Ramírez de Arellano, 1998*). Así el átomo conformador de todo el cuerpo presupuestario lo constituyen los elementos unitarios de división: las partidas de obra.

El control de presupuestos en edificación se ha planteado tradicionalmente desde la perspectiva del microanálisis, esto es, mediante la prospección de esas partidas de obras que conforman los presupuestos, de sus precios, rendimientos, tiempos, programaciones; en definitiva en el análisis de datos y ratios absolutos o relativos, y de sus desviaciones. Por ende, el mismo itinerario ha seguido el desarrollo de las herramientas para su seguimiento y comparación. Este camino de conocimiento, atiende al método clásico descrito de desintegración de problemas complejos, soluciones micro e integración, dando explicación al fenómeno.

Es esta metodología de generación de nuestro sistema presupuestario, la que incuba las desviaciones presupuestarias; En sí misma contiene de modo

inherente un procedimiento aditivo en el que son posibles los olvidos u omisiones, pero en el que no cabe la invención. Esta característica, que implica la no compensación, justifica por sí misma el hecho de que las desviaciones presupuestarias tengan siempre la misma dirección y que debamos asumirlas como parte consustancial del proceso. Se podría esperar que los infracostes se produjeran con la misma frecuencia que los sobrecostes, en tanto existe a priori la misma probabilidad de completar el proyecto por debajo de la estimación de costes. Sin embargo, las observaciones bien indican claramente una sobrerrepresentación de los excesos de presupuesto (*Emhjellen, Emhjellen, & Osmundsen, 2003*).

En ese sentido, asumiendo la ineludible convivencia con las desviaciones, merece la pena el esfuerzo de estudiar su naturaleza, su causalidad y aprender a dimensionarlas.

El proceso económico asociado al desarrollo de todo proyecto de arquitectura, constituye en sí, un sistema complejo eco – auto - organizado “incomprensido”. El efecto de esta “incomprensión” del sistema, quedó soslayado en el pasado, con la recurrencia a métodos de microcontrol presupuestario simplistas y simplificadores como el Control por excepción, Pareto o el control por pesos de actividad, tendiendo con el paso del tiempo, a una progresiva selectividad del objeto de los análisis, y alcanzando cada vez más la selección, a magnitudes de primer orden en la pirámide de ratios.

En el fenómeno de desviación de presupuestos, como ocurre en todo sistema complejo y multidimensional, resulta necesario para su “entendimiento” el conocimiento de su “parte” (micro conocimiento), y de su todo; conocimiento holístico y heurístico en el camino de dar solución al problema cognitivo complejo. Es en el análisis macro de este sistema complejo, donde focaliza su esfuerzo esta Tesis.

El interés de la investigación se evidencia con la consideración de otra realidad contemporánea; Quizás sea el tiempo si no de revisar, si de completar la triada Vitruviana; Vetustas, Uttilitas, Firmitas. El Neoliberalismo ha traído la mercantilización absoluta de todas las actividades humanas, y la arquitectura no ha quedado ajena al suceso. Desconsiderar la relevancia del factor económico y su componente temporal de la actividad arquitectónica nos descuelga del siglo XXI; Las variables objetivo, calidad (forma funcional y constructiva), tiempo y coste, constituyen la columna vertebral de la gestión de Proyectos en la actualidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“Es un hecho que los proyectos se retrasan y se desfasan en coste, y esto en sí mismo no es una mala dirección. La mala dirección es no conocer cuánto se ha desfasado el proyecto y sus efectos” (Reiss, 1992); añadiremos en la reflexión el conocimiento y entendimiento de las causas para mejorar verdaderamente la buena dirección.

El concepto proyecto, supone la definición del proceso de un logro futuro, implica en sí mismo la predeterminación de las condiciones en las que va a ser desarrollado el objetivo. No ajeno a esta circunstancia, el presupuesto de proyecto resulta de la atribución de un gran número de estimaciones apriorísticas que permiten anticipar el resultado económico necesario para la asignación de los recursos económicos indispensables.

La estimación del presupuesto del proyecto se basa principalmente en el coste de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto, e incluyen todos los procesos que se utilizan para mantener el desarrollo financiero de un proyecto. Una estimación se puede definir como la predicción calculada de la cantidad de dinero requerida para emprender una determinada cantidad de trabajo expresado en valores de unidades monetarias, en el momento temporal en el que fue preparada.

Tradicionalmente, las estimaciones de presupuestos se acometen con procedimientos deterministas, con estimaciones puntuales para cada coste, con base en su valor más probable (es decir, una estimación del valor único, basado en la mayoría de los valores probables de los elementos de costes) (Mak, Wong, & Picken, 1998). Estos valores individuales pueden o no, indicar con precisión el posible valor de la estimación, y ciertamente no indican el rango posible de valores que pueden asumir (Toakley, 1995).

La necesidad de asignación de estimaciones queda impuesta por el predominio reinante de procesos edificatorios basados en el Design-Build-Bid (DBB) (Pakkala, 2002) en los que la fase de diseño e ingeniería es anterior a la licitación y adjudicación del contrato de construcción, desconociéndose en la fase de diseño los recursos que serán disponibles en la fase de producción; En la metodología tradicional la toma de decisiones de la Propiedad se realiza al final de la fase de diseño (Hester, Kuprenas, & Chang, 1991) y por tanto las estimaciones exactas del presupuesto son fundamentales para esa toma de decisiones en la compilación inicial del proceso.

Además, las peculiaridades del sector de la construcción entre ellas la itinerancia y el prototipismo hacen del control económico una tarea difícil de acometer. Quizás sea ese predominio de la fase prototípica lo que más singulariza a la

construcción; la producción de un número único de producto de infinidad de modelo, cada unidad productiva es un modelo de diseño y fabricación exclusiva. Es esta característica de la actividad la que, en gran medida, obliga a la utilización recurrente de estimaciones dimensionales, económicas y temporales que permiten la planificación y presupuestación de todo proyecto.

Esta profusión de estimaciones, es a menudo la que conduce a excesos de presupuestos considerables que habitualmente se explican por la existencia de grandes incertidumbres y la singularidad de cada proyecto (Baker, Ponniah, & Smith, 1999).

El **control de presupuestos** en proyectos de arquitectura, se ha planteado tradicionalmente desde una perspectiva de microanálisis, esto es, mediante la prospección de las partidas de obras que conforman los presupuestos; De sus precios, rendimientos, tiempos, programaciones, en definitiva en el análisis de datos y ratios absolutos o relativos, y de sus desviaciones. La especial dificultad inherente en el control económico en el sector de la construcción, y la profusión de estimaciones, a menudo conduce a excesos de costes considerables que habitualmente se explican por la existencia grandes incertidumbres y la singularidad de cada proyecto (Baker, Ponniah, & Smith, 1999).

La **teoría de la gestión de proyectos**, por otra parte, tiende a asumir que el coste previsto o el presupuesto es fijo, por cuanto las actividades de producción son suficientemente variables para ser manipuladas de alguna manera para mantenerse dentro del presupuesto.

El método más comúnmente utilizado para mitigar los efectos negativos de la incertidumbre en la estimación del presupuesto, ha sido la adición de porcentajes como **amortiguadores de contingencia** (Burger, 2003), existiendo, no obstante discrepancias en la consideración científica del método (Hartman F. T., 2000) y quienes sostienen que se trata de un enfoque simplista que en gran medida depende de la fe de los estimadores en sus propias experiencias (Yeo, 1990).

La **desviación presupuestaria**, es por tanto una variable que potencialmente tiende a presentarse en los proyectos de arquitectura. Anderson & Tucker (1994) comprobaron que, alrededor de un tercio de los proyectos de arquitectura sobrepasan sus objetivos de coste y tiempo. Smith M. A. (1996), y Chang A. S.-T (2002) señalan que se producen pocos casos en los que el diseño de arquitectura es tan completo que permiten la construcción siguiendo las especificaciones contenidas en el documento original de diseño sin sufrir retrasos o sobrecostes.

Los proyectos han experimentado históricamente un rebasamiento de presupuesto; Un estudio reciente de 258 proyectos que abarca un período de tiempo de más de 70 años encontró que los costes del proyecto se subestiman

en aproximadamente el 90% de la casos, y los costes reales en un promedio de un 28% más de lo estimado (*Flyvbjerg, Holm, & Buhl, 2002*).

La desviación de presupuestos como **fenómeno**, tiene presencia generalizada en todas las áreas geográficas; Se presenta en multitud de países en el sector de la construcción, según se deduce de la cantidad y origen de los estudios de análisis, y predicción de estimaciones, sobrecostes y gestión de riesgos asociados.

Es en el Macrocontrol donde se centra la investigación de esta Tesis, determinando la factorización causal del sistema complejo “desviaciones de presupuestos” en proyectos de arquitectura. Se intenta dar explicación al fenómeno mediante el empleo de aparato matemático estadístico; Análisis de Componentes Principales; Análisis Factorial, y Regresión Logística Multinomial.

El propósito de esta investigación es determinar no solo la causalidad, sino también la naturaleza y extensión de los sobrecostos de proyectos, desarrollando un Constructo teórico que sintetizando el fenómeno, permita desarrollar un modelo de predicción de las desviaciones de presupuestos.

Para ello desde la Literatura, se estudia el paradigma del conocimiento y las herramientas desarrolladas por la disciplina, centrando la atención en las novedosas corrientes de análisis y metodologías como Fuzzy costs, Activity Based Cost (ABC), Driven Activity- Based Costing (TDABC), etc. Se deducirá de la comprobación de los objetos de estudio y de las técnicas examinadas, las variables esperables que den explicación al Constructo, para aplicar después el análisis estadístico.

El objetivo de esta Tesis se concreta en las acciones:

Clarificar el panorama actual de la disciplina de control de presupuestos en edificación, procediendo a la revisión de la literatura clásica y de su actual estado del arte.

Analizar los factores de influencia históricos en el sobrecoste del proyecto y clarificar las variables y parámetros de proyecto que pueden ser determinantes en la desviación de presupuestos. La comprensión de las causas de los excesos presupuestarios permitirá aplicar herramientas en los procedimientos de presupuestación, que conduzcan a estimaciones presupuestarias más realistas del proyecto.

Profundizar en el paradigma del sistema “Desviación de Presupuestos”, aplicando una metodología estadística que nos permita la comprensión de su comportamiento como sistema complejo.

Desarrollar modelos de la relación entre la medida del porcentaje de superación de los presupuestos en los proyectos de arquitectura y los riesgos de proyecto.

Mejorar el procedimiento de determinación de la contingencia económica del proyecto que amortigüe la influencia por imprecisión de las estimaciones, con asignaciones realistas de los factores identificados generadores de sobrecoste, que prevalezcan sobre los modelos arbitrarios presentes en la mayoría de los proyectos.

Constatar la utilidad de la implementación de la metodología estadística, comprobando la validez de los resultados obtenidos.

Objetivos específicos

En el marco experimental, la Tesis se propone llevar a cabo un análisis empírico con el fin de verificar si los datos apoyan la hipótesis de que existe una correlación estadística entre los excesos presupuestarios de los proyectos y los atributos del proyecto.

Confirmada en su caso la existencia de correlaciones, se persigue el desarrollo de herramientas matemáticas de predicción que modelen la relación entre la medida del porcentaje de superación de los presupuestos de los proyectos y sus características y atributos asociados a sus riesgos de proyecto.

El resultado de la investigación debiera permitir a los Gestores de proyectos anticipar el resultado de la desviación de presupuestos en función de la tipología y las circunstancias específicas que determinen los atributos de los proyectos concretos.

Estos objetivos específicos podemos concretarlos en las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Se desvían los presupuestos de proyectos de arquitectura en el mundo?
- ¿Se producen siempre excesos de presupuestos o también empotramientos?
- ¿Se desvían los presupuestos de proyectos en España?
- ¿Cuánto se desvían los presupuestos en España?
- ¿Existen diferencias en España, entre la magnitud de las desviaciones en función de la tipología de uso del proyecto, o el ámbito de la iniciativa promotora?
- ¿Qué factores latentes o dimensiones conforman el fenómeno?
- ¿Cuáles son las principales variables causales que influyen en el fenómeno?
- ¿Es el sistema presupuestario español proclive a las desviaciones?
- ¿Se puede modelizar el fenómeno?
- ¿Cómo se puede cuantificar el fenómeno para prever las desviaciones?

Delimitaciones

Para el propósito de esta investigación, se considera que los términos desviación o crecimiento de presupuesto, cambios de presupuesto, sobrecostes y el término inglés “costeverruns”, hablan del mismo concepto, y que se puede definir como la diferencia entre presupuesto al final del proyecto y el presupuesto estimado en el momento de la toma de decisión de construir después del diseño del proyecto en particular.

Respecto a la diferenciación en cuanto consideración como objeto de estudio en la presente Tesis, de la desviación de presupuestos o la desviación de costes, procede atender a las matizaciones conceptuales siguientes:

Podemos definir los costes de un proyecto como la cantidad total de recursos de necesario consumo o participación por aplicación racional de los factores productivos, para la consecución del alcance del proyecto, medidos en las unidades características de cada recurso. Este aspecto del consumo considera el número de unidades físicas (horas de trabajo de hombre, de máquinas, kg. de materias primas, energía consumida, etc.); Se trata pues, de un concepto marcadamente técnico aunque pueda quedar expresado en unidades monetarias, y su carácter es objetivo pese a la subjetividad de la estimación que pueda realizarse.

El presupuesto o *Budget* en inglés (Derivada del francés *baugette* cuyo significado es bolsa), designa a la estimación programada de manera sistemática de las actividades necesarias para la consecución del proyecto como objetivo. Es la expresión en unidades monetarias de los consumos, es decir de los costes, y por tanto se trata de un concepto fundamentalmente económico expresado siempre en unidades monetarias, en el que predomina su carácter subjetivo; El presupuesto resulta siempre de la confrontación del concepto técnico de costes con el mercado; es su traducción monetaria en las condiciones mercantiles determinadas, y por lo tanto este puede quedar o no, relacionado en cuanto a sus desviaciones con los costes implícitos, en función de la negociación (materializada normalmente en contratos) de la confrontación mercantil.

La presente Tesis centra su propósito en el estudio de las desviaciones de presupuestos y no en la desviación de costes, en tanto que se pretende analizar el fenómeno como sistema complejo, asumiendo el axioma de que toda desviación presupuestaria contiene implícitamente desviaciones de costes, y que contrariamente no todas las desviaciones de costes producen una desviación presupuestaria.

El concepto desviación incluido en el objeto de investigación, contiene inherentemente un ejercicio comparativo, y por tanto sometido a posicionamientos referenciales entre el estado analizado y el estado de comparación. En este aspecto, es obvio que el elemento comparado es el presupuesto total a la finalización del proyecto, pero requiere algunas consideraciones la determinación del estado referencial de comparación:

Las primeras estimaciones presupuestarias, y por tanto las primeras asignaciones de estimaciones se producen en la fase más temprana; el estudio de viabilidad económico financiero para la comprobación de la viabilidad de la operación de inversión. En todo proyecto de inversión, se preparan en primer lugar las estimaciones de costes para permitir a los promotores tomar decisiones fiables con respecto a la viabilidad económica y su justificación. Estas estimaciones, se establecen en muchas ocasiones sin tener claramente definido el alcance del proyecto y disponiendo de escasa información de los parámetros de la actividad prevista (*Zeitoun & Oberlender, 1993*). Por lo general, las severas limitaciones de tiempo disponible para la realización de los estudios de viabilidad caracterizan los proyectos de inversión y sus estudios de viabilidad (*Chang A. S.-T., 2002*).

En el proceso de diseño pueden tipificarse cuatro etapas en las que se generan determinación de estimaciones de costes que a su vez producen hitos de referencia presupuestaria:

La etapa estratégica: Estimación del coste de la realización del objetivo planificado para el análisis de opciones de negocio antes de que la propuesta sea oficialmente reconocida como un proyecto.

La etapa de Concepto: Proporciona los costes comparativos para el análisis de diversas opciones con el objeto de que la Propiedad apruebe el desarrollo de la opción preferida.

La Etapa de diseño Preliminar: Se desarrolla la estimación del coste total del proyecto basado en una solución básica del diseño, por lo general antes del comienzo del diseño de detalle y de su documentación.

La Etapa de diseño detallado (to-Build): En la que se determinan las estimaciones finales detalladas apoyadas en las especificaciones de un proyecto ejecutivo. El documento generado como presupuesto, forma parte generalmente de la documentación que permitirá la licitación y representa el punto de referencia respecto del cual se mide el coste final de terminación.

La precisión de cada una de las estimaciones de coste se va incrementando en función del grado de avance de la etapa de que se trate, y es la estimación presupuestaria final realizada en la fase de diseño de detalle, la que resulta del

interés vital para la toma de decisiones de la construcción del proyecto (Flyvbjerg, Holm, & Buhl, 2002).

En esta Tesis el posicionamiento referencial entre el estado analizado y el estado de comparación queda concretado en la diferencia entre el presupuesto al final de la ejecución del proyecto y el presupuesto adjudicado en el contrato de construcción después del diseño de detalle (**to-Build**) del proyecto en particular.

Se considera que la estimación del presupuesto total del proyecto incluye los costes estimados de todos los componentes de las actividades desde el inicio de la propuesta de proyecto hasta su finalización; Pudiendo incluir el coste de:

- Desarrollar el diseño del concepto y modelo de negocio
- La realización de estudios y el desarrollo del diseño
- El diseño de detalle
- La adquisición de terrenos
- La dotación de servicios públicos
- La Construcción
- La Legalización del proyecto y la entrega

Ha sido excluido de la investigación, el factor latente que integra las variables propias de las características o atributos del proyecto relativas a la localización geográfica. El marco teórico abarca el estado del arte en el panorama internacional, sin embargo el marco experimental limita su ámbito al territorio Español.

Atendiendo a que la investigación persigue más un análisis cualitativo que cuantitativo de la cuestión, no se han incluido en el estudio variables métricas que además de distorsionar el análisis, hubieran limitado la obtención de la muestra. Consecuentemente quedan también aislados de la investigación los atributos relativos al tamaño del proyecto. En este aspecto, algunos autores consideran que el problema de la desviación de presupuestos se multiplica con el tamaño del proyecto (El-Choum, 1994); La construcción de grandes proyectos está expuesta a entornos inciertos debido a factores tales como la planificación, el diseño y la complejidad de la construcción. Además, la presencia de varios grupos de interés (tales como el propietario del proyecto, los consultores y contratistas), así como los recursos (materiales, equipos, financiación de proyectos, medio ambiente, efectos climáticos, económicos, políticos y reglamentos legales) incrementan en los grandes proyectos el entorno de incertidumbre. Charles & Andrew (1990) confirmaron que la distribución de frecuencias en la tasa de exceso de costes, se correlaciona con el tamaño del proyecto; Los sobrecostes se producen con más frecuencia en los grandes proyectos. Otras variables propias de las características cualitativas o atributos si han sido incluidas en la experimentación, delimitando las influencias de las circunstancias propias del proyecto como la tipología, o la diferenciación entre iniciativa pública o privada.

"poseemos conocimiento científico de una cosa solo cuando conocemos su causa", Aristóteles.

2. MARCO TEÓRICO

Se estudia el cuerpo teórico de la disciplina, los tránsitos históricos caracterizados por la observación y predicción de las relaciones entre los presupuestos reales y los objetivos.

Se profundiza en el paradigma del control presupuestario en proyectos de arquitectura, concretamente en las teorías que nos presentan diferentes autores, que hacen mención de las causas que producen las desviaciones de presupuestos.

Se analiza el reciente panorama, en el que toman fuerza nuevas metodologías de gestión en el sector de la edificación como el Fuzzy o el Activity Based Costing (ABC), cada vez más necesarias para dar satisfacción a la solución de proyectos de gran complejidad, que obligan cuanto menos a la revisión y adaptación del paradigma clásico del control presupuestario.

Se analizan las diferentes técnicas alternativas utilizadas por los autores más relevantes en la materia, para la modelización de fenómenos complejos como la teoría de redes neuronales artificiales, la regresión lineal, los algoritmos genéticos, o las técnicas utilizadas en ambientes imprecisos.

Antecedentes

Los primeros resultados de estudios se localizan en 1970, cuando el Chartered Institute of Building (CIOB) en el Reino Unido inició investigaciones para determinar las causas más comunes que producían los incrementos de presupuestos como consecuencia de cambios en los contratos de construcción; A principios de 1990, el Instituto de Industria de la Construcción (CII) de los EE.UU. estableció dos grupos de trabajo dedicados a "Coste-Control de programas" y "Gestión de Cambios de Proyecto".

Morris & Hough (1987), durante un estudio de los registros de los diferentes tipos de proyectos financiados por el Banco Mundial entre 1974 y 1988, encontraron que el 63% de los 1778 proyectos estudiados, habían experimentado un sobre coste significativo. En un estudio de 204 contratos de construcción entre 1986 y 1990 en Italia, informaron también que el coste medio rebasaba el 50%.

ESTIMACIONES

Los proyectos, por su naturaleza de herramienta de definición de un objeto futuro, se redactan apoyándose sobre bases constituidas por meras estimaciones físicas, dimensionales, económicas y temporales. No existe en fase de proyecto un verdadero coste; sólo puede ser estimado. “En los proyectos de construcción, el establecimiento de los presupuestos se hace a menudo en referencia al pequeño libro negro de los estimadores con las cifras que se conocen por experiencia proporcionando un coste objetivo razonable” (Friedman, 1956).

Encontramos antecedentes de investigaciones relacionadas con las estimaciones en los proyectos en 1988; El Consejo Federal de Construcción de EE.UU. encargó a la Junta de Investigación de Construcción estudiar las prácticas de estimación del sector de la construcción para recomendar técnicas que mejoraran la exactitud de las estimaciones de costes. La Junta determinó tres recomendaciones para mejorar procedimientos de estimación (Morris, 1988):

1. Desarrollo de una terminología común y formatos de presupuestos estándar.
2. Adopción de medidas para asegurar que los estimadores estuvieran debidamente cualificados para la estimación conceptual.
3. Ampliar el uso de técnicas de estimación paramétrica y probabilístico para estimaciones.

Desde el punto de vista económico, una estimación presupuestaria se puede definir como la predicción calculada de la cantidad de dinero requerida para emprender una determinada cantidad de trabajo expresado en unidades monetarias en la fecha en el que fue redactado; Se prepara de manera sistemática y apropiada para el tamaño y la complejidad del proyecto, y a un nivel de precisión acorde con la información disponible y el uso previsto de la información desarrollada.

Las estimaciones de costes del proyecto se preparan en diferentes etapas durante el ciclo de vida de un proyecto; Evaluación de inversión, planificación, decisión de construcción, licitación y contratación. Las estimaciones de costes en cada fase sucesiva suele progresar hacia un número menor de opciones, mayor detalle de diseño, una mayor precisión de cantidades y precios, y por lo tanto, las estimaciones de costes se vuelven más precisas a lo largo del tiempo. Las técnicas de estimación utilizadas y los probables errores en los que se incurre, dependen de la disponibilidad de la información del proyecto (Blok, 1982).

Hay varios procedimientos para predecir y por tanto estimar el coste del proyecto. Las estimaciones se pueden hacer mediante un proceso formal de comparación (Benchmarking) o basarse en la experiencia histórica del presupuestador en proyectos asimilables ejecutados, procediendo con aquellas unidades sin referentes históricos a un enfoque modular en el que se considera que los elementos fruto de la división son homogéneos respecto a la afectación de las condiciones externas y los requerimientos internos.

A las diferentes etapas del proceso de proyecto, corresponden diferentes estimaciones:

Las primeras asignaciones de estimaciones se producen en la fase más temprana; el estudio de viabilidad económico financiera para la comprobación de la fiabilidad de la inversión de capital. En todo proyecto de inversión, se preparan en primer lugar las estimaciones de costes para permitir a los Promotores tomar decisiones fiables con respecto a la viabilidad económica. Aun tratándose de estimaciones inexactas y groseras, a menudo suelen ser la base sobre la que se toman decisiones y con frecuencia, es con este referente con el que es juzgado el rendimiento final del proyecto. Por esta razón su exactitud ha sido una gran preocupación y un objeto de estudio durante los últimos 35 años. Hackney (1986) propuso el uso de una lista de definiciones para la aplicación de porcentajes de contingencia en las estimaciones de costes en fases de evaluación de inversión. Su propuesta, fue validada mediante la comparación de las calificaciones de definición de 30 proyectos con sus respectivos niveles de sobrecoste.

Estas primeras estimaciones, se establecen en muchas ocasiones sin tener claramente definido el alcance del proyecto y disponiendo de escasa información de los parámetros de la infraestructura necesaria para posibilitar la actividad prevista (Zeitoun & Oberlender, 1993). Además, Las severas limitaciones de tiempo disponible para la realización de los estudios de viabilidad caracterizan los proyectos de inversión y sus estudios de viabilidad (Chang A. S.-T., 2002).

El enfoque tradicional para la estimación de costes en fases iniciales, es la extrapolación de ratios procedentes de proyectos concluidos con atributos y condiciones similares, aplicando las ponderaciones de ajuste que reflejen las diferencias esperadas en las condiciones del terreno, el sitio y otros factores. Para estos fines, las grandes empresas con experiencia suficiente, suelen disponer de bases de datos formales e informales para cada tipología específica, considerándose que su utilización no resulta confiable por la falta de uniformidad de aplicación a los nuevos proyectos (Al-Bahar & Crandall, 1990).

Superada la fase de estudio de viabilidad, se progresa en el proceso de diseño, existiendo cuatro etapas en las que se generan determinación de estimaciones de costes, que a su vez producen documentos de referencia presupuestaria:

- La etapa estratégica: Estimación del coste de la ejecución del objetivo planificado para el análisis de opciones de negocio. Por lo general, se aplica a proyectos singulares en los que se vaya a incurrir en un coste significativo antes de que la propuesta sea reconocida como un proyecto aprobado.
- La etapa de Concepto: Proporciona los costes comparativos para el análisis de diversas opciones de ejecución, con el objeto de que la Propiedad apruebe el desarrollo de la opción preferida.
- Etapa de diseño Preliminar: En esta se desarrolla la estimación del coste total del proyecto basado en una solución básica de diseño, por lo general antes del comienzo del diseño de detalle y sus especificaciones.
- Etapa de diseño detallado (to-Build): En la que se determinan las estimaciones finales detalladas apoyadas en las especificaciones de un proyecto ejecutivo. El documento generado como presupuesto, forma parte habitualmente de la documentación que permitirá la licitación. Representa el punto de referencia respecto del cual se compara el coste final a la conclusión del proyecto.

La precisión de cada una de las estimaciones de coste va incrementándose en función del grado de avance de la etapa de que se trate, siendo la estimación presupuestaria final realizada en la fase de diseño de detalle, la que resulta de vital importancia para la toma de decisiones de la construcción del proyecto (Flyvbjerg, Holm, & Buhl, 2002).

Por lo general, (Abbasi & Al-Mharmah, 2000) (Hutchings & Christofferson, 2000) (White & Fortune, 2002) en las etapas estratégicas y de concepto, las estimaciones son realizadas por dos posibles métodos:

Estimación análoga: (Ashworth, 1994) Se trata de un método de estimación aproximada que compara los costes con proyectos similares y que a menudo depende de la opinión de expertos. El estimador debe tener la experiencia pertinente en la estimación del coste de proyectos similares (Loftus, 1999). El método análogo se utiliza con frecuencia para estimar el coste cuando hay una cantidad limitada de información detallada acerca del proyecto. Por lo general, los estimadores conservan su propia base de datos de costes de los proyectos históricos equivalentes o similares ya elaborados.

La estimación paramétrica: (*Barrie & Paulson, 1992*) Utiliza las características del proyecto implementándolas en modelos matemático para predecir el coste del proyecto; Considerando los factores influyentes que determinarán el coste final de la unidad, y partiendo de un número suficiente de observaciones los de parámetros considerados (variables), se puede estimar una ecuación, de manera que una vez conocidas las variables independientes, se determine el coste de la unidad como variable dependiente. Este método se considera bastante exacto cuando el histórico de información utilizada para desarrollar el modelo también lo es. Es un método conceptual basado exclusivamente en la estimación de determinados parámetros comúnmente utilizados en la construcción; El enfoque del coste paramétrico relaciona todos los costes de un proyecto con tan sólo unas pocas medidas físicas, o atributos que reflejan el tamaño o el alcance del proyecto, como por ejemplo la superficie o las calidades. Con buenos registros históricos, la estimación paramétrica puede dar niveles razonables de precisión en fases tempranas.

Superadas las etapas estratégica y de concepto, en la etapa de diseño preliminar, las estimaciones del presupuesto del proyecto se basan principalmente en el cálculo de los costes de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto incluyendo todos los procesos necesarios.

Este procedimiento (bottom-up) conlleva la realización de estimaciones detalladas: los precios unitarios de los procesos, pueden ser compilados cuando las cantidades de los elementos de trabajo pueden ser determinables y la naturaleza de la obra está globalmente definida (*Clough, 1986*); Se trata de estimar el coste de los elementos de trabajo individualmente y sintetizar las estimaciones de costes de recursos, en el menor nivel posible de desglose de estructura de trabajo (*Project Management Institute, S.C., 2000*). La adición de costes indirectos de obra, gastos generales de estructura, el beneficio, y la contingencia completan el coste total estimado del proyecto (*Barrie & Paulson, 1992*).

En fase de diseño de detalle, se desarrolla el presupuesto del proyecto ejecutivo, en el que se calculan por agregación e integración la totalidad de costes de los recursos materiales, logísticos, humanos y económicos necesarios para el desarrollo de todas las actividades del proyecto computadas por asignación de su materialización en unidades o partidas de obra.

La determinación de este cálculo la atiende a la descomposición de los costes totales como suma de los costes de ejecución, los gastos generales de estructura y el beneficio del constructor aplicando la ecuación [1]:

$$PEC = PEM + Gastos Generales + Beneficio Industrial \quad [1]$$

Siendo:

$PEM = Presupuesto de Ejecución Material$
 $PEC = Presupuesto de ejecución por Contrata$

Para simplificar asumimos el supuesto de que tanto los Gastos generales (Gg) como el Beneficio Industrial (Bi) son monótono crecientes respecto al Presupuesto de Ejecución Material (PEM) (ecuación [2]):

$$\frac{Gastosgenerales_1}{PEM_1} \approx \frac{Gastosgenerales_2}{PEM_2} \approx \dots \approx \frac{Gastosgenerales_\infty}{PEM_\infty} \approx Gg \quad [2]$$

$$Bi_1 \approx Bi_2 \approx \dots \approx Bi_\infty \approx Bi$$

Siendo:

$Gg = Coeficiente de Gastos generales$
 $Bi = Coeficiente de Beneficio industrial$

Obteniendo la ecuación [3]:

$$PEC = (1 + Gg + Bi) \cdot PEM; \text{ y como } PEM = \sum_{u=1}^U M_u \cdot C_u \quad [3]$$

Siendo M_u la medición prevista de la unidad de obra u a un Coste (C) de un total de U unidades de obra, resultando la ecuación [4]:

$$PEC = (1 + Gg + Bi) \cdot \sum_{u=1}^U M_u \cdot C_u \quad [4]$$

Dado que los Costes de una determinada unidad de obra es resultado de varios componentes de costes directos e indirectos $C_u = Cd_u + Cdc_u + Ci_u$, resulta la ecuación [5]:

$$PEC = (1 + Gg + Bi) \cdot \sum_{u=1}^U M_u \cdot (Cd_u + Cdc_u + Ci_u)$$

[5]

Siendo:

Cd = Costes Directos

Cdc = Costes Directos Complementarios

Ci = Costes Indirectos

$$\text{Dónde: } Cd_u = \sum_{mo=1}^{MO} R_{mo}^u \cdot P_{mo}^u + R_{mt}^u \cdot P_{mt}^u + R_{ux}^u \cdot P_{ux}^u$$

Siendo:

P_{mo} = Precio unitario Mano de obra

P_{mt} = Precio unitario Materiales

P_{ux} = Precio unitario Medios auxiliares

R_{mo} = Coeficiente de participación Mano de obra

R_{mt} = Coeficiente de participación Materiales

R_{ux} = Coeficiente participación Medios auxiliares

C_{dc} = Coeficiente de costes directos complementarios

C_i = Coeficiente de coste indirectos

Resultando la ecuación [6] desarrollada en función de los rendimientos y coeficientes de participación:

[6]

$$PEC = \left[\sum M_d \times \left((R_{mo} * P_{mo}) + (R_{mt} * P_{mt}) + (R_{ux} * P_{ux}) \right) + \left(C_{dc} * ((R_{mo} * P_{mo}) + (R_{mt} * P_{mt}) + (R_{ux} * P_{ux})) \right) + \left(C_i * ((R_{mo} * P_{mo}) + (R_{mt} * P_{mt}) + (R_{ux} * P_{ux})) \right) + \left(C_{dc} * ((R_{mo} * P_{mo}) + (R_{mt} * P_{mt}) + (R_{ux} * P_{ux})) \right) \right] (Gg + Bi + 1)$$

Si asignamos a cada elemento su correspondencia en tipo y orden de estimación, encontramos [7]:

referencia que sirvió de base para la toma de decisión final de la construcción y el coste real alcanzado en la finalización del proyecto después de la ejecución, expresado como un porcentaje del coste estimado. A menudo esta exactitud es denominada escalada de costes, sobrecostes o crecimiento de los costes, y a menudo suele ser la base sobre la cual suelen ser juzgados los resultados obtenidos de eficacia, rendimiento y éxito del proyecto (Hester, Kuprenas, & Chang, 1991).

LA INCERTIDUMBRE

"Es la imperfección en el conocimiento sobre el estado o los procesos de la naturaleza" (FAO/Gobierno de Suecia, 1995).

El concepto de incertidumbre refleja en sí el grado de desconocimiento de una condición futura, la duda acerca de la veracidad de los datos utilizados que condicionan el resultado a obtener, y que incluirá todas las posibles fuentes de error. La incertidumbre nos da una idea de la calidad del resultado, nos muestra un intervalo en el que se moverá el valor estimado, dentro del cual se encuentra el valor considerado verdadero.

La incertidumbre puede derivarse de una falta de información o por que exista desacuerdo sobre lo que se sabe o lo que podría saberse. Puede tener varios tipos de origen, desde errores cuantificables en los datos hasta terminología definida de forma ambigua o previsiones inciertas; Puede, por lo tanto, ser representada por medidas cuantitativas (por ejemplo, un rango de valores calculados) o por afirmaciones cualitativas (por ejemplo, al reflejar el juicio de un grupo de expertos).

Estadísticamente, la incertidumbre refleja "la aleatoriedad", o error proveniente de varias fuentes; "La probabilidad" de que pase algo malo en el sentido del riesgo, que pronostica las pérdidas cuando algo malo sucede. En este sentido, es deseable que la incertidumbre sea cuantificada y utilizada para calcular la probabilidad de lograr el objetivo deseado y/o de incurrir en eventos indeseables.

Cinco son las fuentes de la incertidumbre, que emergen de un conocimiento impreciso del estado de la naturaleza, estas son (Rosenberg & Retrepo, 1994):

- Incertidumbre en la medición, es el error en las cantidades utilizadas.
- Incertidumbre en el proceso, es la aleatoriedad subyacente en la dinámica; La variabilidad.

- Incertidumbre en el modelo, es la especificación errónea de la estructura del mismo.

- Incertidumbre en la estimación, es la que puede resultar de cualquiera, o de una combinación, de las incertidumbres descritas anteriormente y tiene como consecuencia la inexactitud e imprecisión.

- Incertidumbre en la implementación, es la consecuencia de la variabilidad que resulta; La incapacidad para alcanzar exactamente el objetivo (*Leu, Chen, & Yang, 2001*).

Los principales tipos de incertidumbre incluyen error, imprecisión, la variabilidad, la vaguedad, la ambigüedad y la ignorancia (*Baloi & Price, 2003*).

Kahneman, Slovic, & Tversky (1982) descubrieron aspectos importantes de los tipos cognitivos y no cognitivos de la incertidumbre. Klir & Folger (1988) examinaron dos tipos de incertidumbre a saber, la ambigüedad y la vaguedad. La ambigüedad se debe generalmente a una causa raíz no cognitiva; Es un estado en el que un dato o expresión o palabra puede tener varios valores distintos. En cambio la vaguedad se produce cuando el resultado de un experimento no puede ser debidamente observado, carece de precisión o nitidez.

La incertidumbre es un aspecto inherente a la redacción de un presupuesto que se incorpora asociada a multitud de factores implicados (estimaciones, retrasos, disponibilidades, circunstancias de mercado, climatología), y de difícil incorporación explícita al mismo a menos que vinculemos al importe económico resultante, el porcentaje de probabilidad o intervalo de confianza.

Algunas investigaciones (*Kahneman, Slovic, & Tversky, 1982*) han demostrado las limitaciones de la mente humana para la realización de estimaciones en entornos de incertidumbre, y por supuesto, de costes con precisión a pesar de la experiencia del estimador en el ámbito que le es propio. Silverman (1991) demostró que los humanos procesan la información secuencialmente y que sus decisiones atienden primero a sus experiencias cortoplacistas. Así mismo, estas decisiones quedarán fuertemente condicionadas por las influencias externas del ámbito del proyecto (por ejemplo, los incentivos o penalizaciones en función del resultado del proyecto).

Para incluir la cuestión de la incertidumbre en el proceso de presupuestación, y extrapolando las consideraciones de Malcolm, Roseboom, Clark, & Fazar (1959) respecto de la variable tiempo a la variable coste, puede suponerse que los costes de las unidades de obra son variables aleatorias obtenidas de un distribución beta, de modo que los presupuestadores deben estimar tres valores para cada unidad de obra; el optimista, el pesimista y el más probable,

obteniendo dos ecuaciones sencillas para calcular el coste esperado (medio) y la varianza de cada unidad de obra;

Si:

c^p = estimación del coste pesimista

c^o = estimación del coste optimista

c^m = estimación del coste mas probable

El coste esperado de la unidad está dado por μ (ecuación [8]):

$$\mu = \frac{c^o + c^p + 4c^m}{6} \quad [8]$$

Y la varianza está dada por σ (ecuación [9]):

$$\sigma^2 = \frac{(c^p - c^o)^2}{36} \quad [9]$$

Una distribución beta es una distribución unimodal que llega al eje x, no necesariamente simétrica, pudiendo estar sesgada a cualquiera de los lados de las abscisas (Ilustración 1).

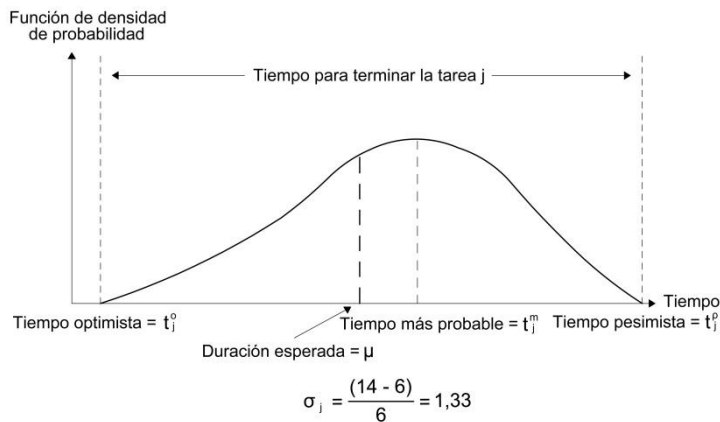


Ilustración 1 Gráfico de densidad de distribución Beta

Considerando habitual que los presupuestadores tengan dificultades en determinar con cierta exactitud los tres valores de aquellas unidades de obra de las que no tengan experiencia (*Moder & Rodgers, 1968*) (*Lau, Lau, & Ho, 1998*) y que en cualquier caso, será necesario que el experto no tome en consideración la posibilidad de aparición de catástrofes (*Perry & Greig, 1975*); Considerando además, la probable confusión del presupuestador entre la moda y la mediana, (*Trout, 1989*) generando una distorsión en el cálculo de la media y la varianza, algunos investigadores, sugieren la conveniencia de que el experto estime los costes de las unidades de obra, en puntos de mayor frecuencia que los puntos extremos de la distribución beta.

Otros investigadores señalan que resulta difícil estimar el valor moda para los expertos, proponiendo la utilización de la mediana (*Perry & Greig, 1975*), y defendiendo la formulación desarrollada por Person y Turkey (ecuaciones [10] y [11]), que ofrece una estimación exacta y ajena a la distribución;

$$\mu = c_{50} + 0,185(c_{95} + c_5 - 2c_{50}) \quad [10]$$

Y

$$\sigma^2 = \frac{c_{95} - c_5}{3,25} \quad [11]$$

Otros investigadores (*Hampton, Moore, & Thomas, 1973*) proponen la utilización de fractiles (entre 5 y 7, puesto que solo 3 no proporcionan información acerca de la forma de distribución, su sesgo y curtosis) apoyándose en la evidencia empírica de que los humanos estiman mejor la mediana que la moda, y que los expertos tienen una gran precisión cuando estiman el fractil central.

Entre los factores que contribuyen a la presencia de la incertidumbre que incluye la redacción de un presupuesto, está la complejidad del proyecto, la complejidad de construcción, la ubicación, y su grado de falta de familiaridad y conocimiento (*Ahmed, Ahmad, & Saram, 1999*).

LA IMPRECIÓN

Como se viene indicando a lo largo de esta Tesis, la incertidumbre y la imprecisión son aspectos fundamentales a la hora de determinar el riesgo que conlleva intrínsecamente la ejecución de cualquier proyecto. En la medida en que se es capaz de fijar y medir la incertidumbre y la imprecisión, los riesgos resultarán más o menos asumibles y se podrá establecer un control adecuado de los mismos. Estos tres conceptos son diferentes aunque estén relacionados entre sí, se han de conocer para poder manejarlos convenientemente según lo requiera el contexto del problema a tratar; se debe precisar cuándo y cómo han de ser utilizados para mejorar el punto de vista tradicional a la hora de evaluar la cuantía de un proyecto, es decir, los costes no deberían ser tratados como valores únicos o deterministas, lo paradójico es pensar por ejemplo que los costes de producción de una actividad no dependen de factores como pueden ser la oferta y la demanda del producto.

Los proyectos de arquitectura son complejos y caóticos (*Bertelsen, 2003*), porque cada uno de ellos representa un prototipo diferente, en consecuencia como resultado de los distintos procesos de ejecución aplicables a un mismo caso de estudio, al realizar las estimaciones físicas, dimensionales, económicas o temporales necesarias para la confección de un presupuesto y, aunque la información que se maneje se pueda expresar numéricamente tanto en un sentido cuantitativo como cualitativo¹, si no se conocen las probabilidades de que sucedan los diferentes escenarios habrá que tomar decisiones sometidas a incertidumbre, pues estas situaciones dependerán del azar y la aleatoriedad. Por el contrario si las probabilidades son conocidas o estimables, entonces se deberán tomar determinaciones bajo riesgo y no bajo incertidumbre (*Vitoriano Villanueva, 2009*). En ambos supuestos se estará trabajando con parámetros estocásticos, es decir, no deterministas.

Ahora bien, ¿qué ocurre si no se puede medir la información de la que se dispone, si no se puede delimitar o fijar por ser esta imprecisa en lugar de incierta? Si la información de la que se dispone no depende de la casualidad, al analizar las estimaciones de los costes será habitual encontrarse con entornos donde estos no se podrán acotar dentro de intervalos cerrados, al verse afectados por circunstancias ajenas o no a la propia ejecución del proyecto, como podrían ser las variaciones en los costes de mano de obra, de materias primas tan inestables a nivel internacional como el precio del acero, de los intereses del mercado inmobiliario, de la competencia, etc. La suma de todas estas variables nos aproxima a valores más reales, en donde no se da un único precio, sino que éste oscila entre unos márgenes superiores e inferiores, por tanto, no se puede afirmar si se sale o no de los estándares establecidos en función de la experiencia en proyectos similares o del manejo mediante la teoría de las probabilidades de una gran cantidad de datos. Precisamente en esto

¹ Los parámetros cuantitativos pueden ser tratados mediante la Lógica Fuzzy o Difusa.

consiste la incertidumbre cuando se aplica al estudio de los sobrecostos de un proyecto.

Esta realidad es difícil de representar y modelar matemáticamente, es entonces cuando se hace necesario el uso de la Lógica Fuzzy o Difusa, para optimizar las estimaciones hay que aplicar la Teoría de los Conjuntos Difusos.

VARIABLES COSTE Y TIEMPO

En la triada de variables objetivo de la gestión de proyectos, resulta comúnmente aceptada la relación entre calidad y coste (Ilustración 2); Aún asumida la interacción de las tres variables, tal correlación no resulta tan ostensible cuando analizamos la relación tiempos (duración de proyecto) y costes; En general los gestores de proyectos programan de manera que se minimicen los costes totales de producción salvo requerimientos empresariales condicionantes (coste de oportunidad u otros), de un modo grosero atendiendo al principio generalizante de que la reducción temporal implica de modo directo una reducción de costes indirectos y gastos generales.

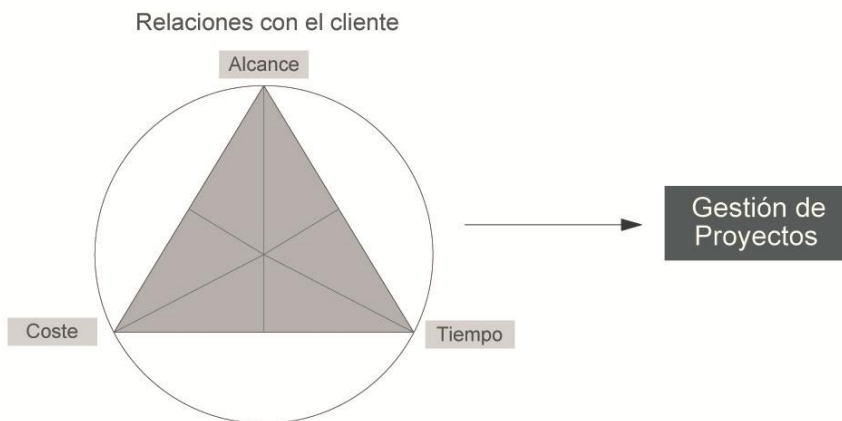


Ilustración 2: Triángulo de relación de variables objetivo

Además de la correlación de la duración total del proyecto con los costes indirectos y gastos generales, que después analizaremos, debemos ahora centrarnos en la relación, lineal o no, entre tiempos y costes inherente en la asignación de recursos directos (Coste Directo), de manos de obra y otros componentes de magnitud temporal, y en la estimación de su coeficiente de participación.

Es común aceptar una relación inversa entre costes directos de una unidad de obra y la duración estimada de la misma; la reducción de tiempos acarreará casi inevitablemente un incremento de costes por la utilización de más o mejores equipos. Esta correlación que casi siempre se cumple, (Brooks, 1995) tiene intervalos en los que no se considera aceptable por afectación a la variable calidad y límites en los que el incremento de recursos no consigue la reducción de duraciones de las tareas implicadas en la unidad de obra.

En realidad, dado que los costes directos de una actividad son el resultado económico de la suma de los recursos empleados para realizarla, las funciones de relación costes directos – tiempo (Ilustración 3), dependerán de las circunstancias que se produzcan en su aceleración o deceleración, pudiendo producirse cinco modelos (Riggs, 1973):

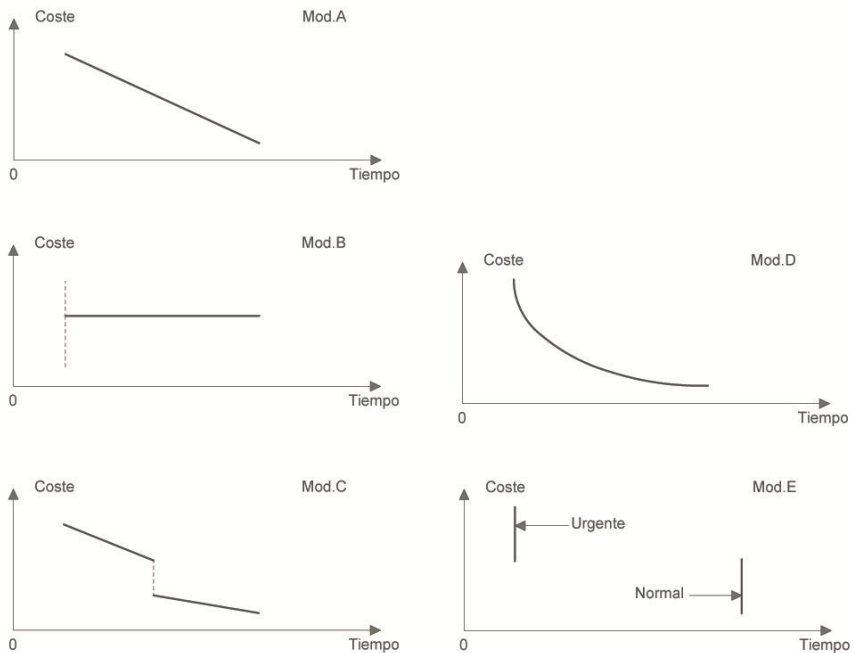


Ilustración 3: Funciones TIEMPO - COSTE DIRECTO
 Fuente: Riggs (1973)

Modelo A: Relación lineal; Actividades que pueden ser aceleradas proporcionalmente al incremento de recursos utilizados.

Modelo B: Costes constantes; El coste es independiente de la duración de la actividad.

Modelo C: Relación lineal discontinua; la aceleración requiere de un recurso extraordinario en un punto concreto de aceleración.

Modelo D: Relación más que proporcional; El incremento de recursos tiene limitaciones en la aceleración proporcional de la actividad.

Modelo E: Relación discontinua; La actividad solo puede realizarse o solo tiene coste asociado en modo normal o en modo acelerado.

A diferencia, la función de costes indirectos (C_i) en los que se incluyen los generales de estructura, considerando que existen costes fijos independientes de la duración de las actividades y de la duración de la obra, toma la forma (ecuación [12]):

$$C_i = F(\lambda) = ok + r \cdot \lambda \quad [12]$$

Donde r es la pendiente y el segmento ok representan los costes fijos según se representa en la figura (Ilustración 4).

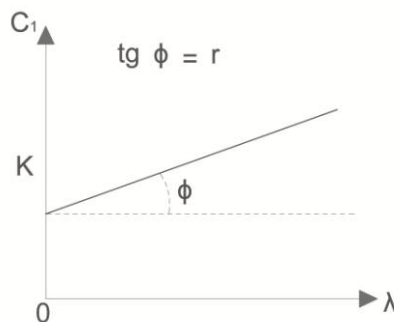


Ilustración 4: Función Costes Indirectos

La relación entre costes totales y la variable tiempo puede determinarse considerando los costes totales como la suma de los costes directos y los costes indirectos (Ilustración 5).

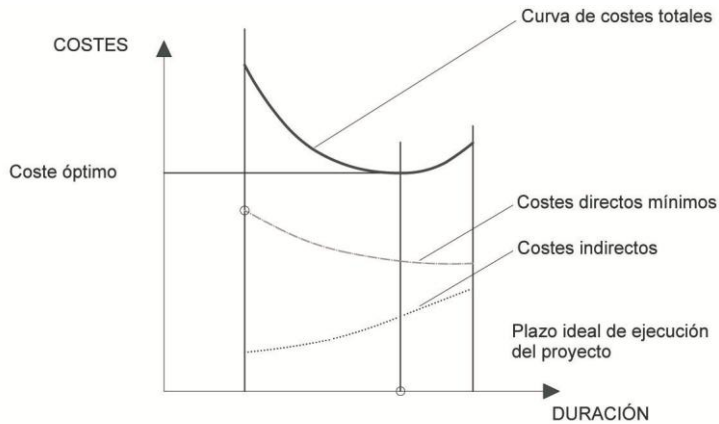


Ilustración 5: Función de Costes Totales

La redacción de presupuestos, además de las estimaciones de magnitudes económicas lleva implícita como se ha visto, la determinación de estimaciones temporales a los coeficientes de participación de cada unidad de obra; establecemos unos rendimientos (estándar) asociados por experiencia histórica de la procedencia que sea, que son el resultado de una concentración y organización de recursos estándar. Pero eso no implica que la que la duración de las tareas asociadas a las unidades de obra, no sean susceptibles de acelerarse o decelerarse variando fundamentalmente la concentración de recursos, especialmente la de los equipos, y mucho menos que la combinación elegida atienda a la óptima, esto es, aquella cuya relación costes directos, costes indirectos produce el menor coste total posible.

De hecho, podemos ajustar la duración óptima de un proyecto con objeto de obtener el coste total mínimo, resultado de la combinación ideal de los costes directos y los costes indirectos asociados a cada una de las funciones para duraciones de obra, que corresponderá con el mínimo de la función suma de costes.

Considerando que los costes de las unidades de obra son determinísticos, si atendemos a la duración de una tarea (asociada a partida) en la programación de una obra, nos encontraremos con los datos de tiempos más tempranos y tiempos más tardíos que necesariamente llevan asociados diferentes combinaciones de concentración y/o organización de recursos.

Suponiendo una relación lineal (Modelo A Ilustración 3), el coste marginal unitario de acelerar una tarea una unidad de tiempo (b_i), vendría dado por la pendiente según el siguiente esquema (Ilustración 6), por la expresión [13]:

$$b_j = \frac{C_j^N + C_j^A}{t_j^N + t_j^A} \quad [13]$$

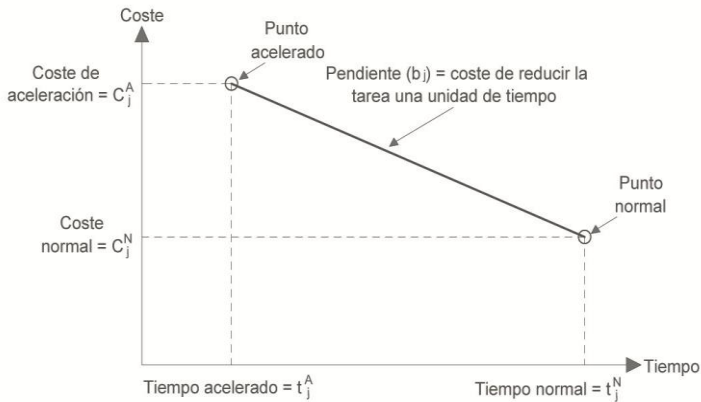


Ilustración 6: Función lineal Costes - Tiempos

Siendo:

- t_j^N = Duración normal de la tarea
- t_j^A = Duración acelerada de la tarea
- C_j^N = Costes directos normales
- C_j^A = Costes directos de la tarea acelerada

Para cada unida de obra, el tiempo de ejecución t_j debe estar entre la duración normal y la duración acelerada y podemos encontrar el coste directo de la unida para ese tiempo (ecuación [14]);

[14]

$$C_j^N + b_j(t_j - t_j^N) = C_j^N + b_j \cdot t_j - b_j \cdot t_j^N$$

Siendo que $b_j \leq 0$, podemos enunciar el coste mínimo de un proyecto en función de la duración de las actividades como [15]:

$$\text{Min} \sum_j b_j \cdot t_j \quad [15]$$

Cuando t_j para todas las tareas del proyecto se cumple: $t_j^A \leq t_{jj} \leq t_j^N$ siendo todas ellas variables enteras.

Se puede también considerar que la relación entre costes directos y duración del proyecto no es lineal (el coste marginal de reducir el tiempo, no es constante) pudiendo presentarse funciones cóncavas o convexas en función del momento de la aplicación de recursos extraordinarios para reducir tiempos. Resulta sencillo en cualquier caso, asociar a la función curva varias funciones lineales con varias pendientes de coste marginal o bien cambiar el modelo (Wiest & Levy, 1974).

Desde otro enfoque, si consideramos no deterministas y si estocásticas las variables tiempo y coste (como variables aleatorias) resulta posible la aproximación estadística evaluando la probabilidad de distribución por pruebas de hipótesis y de las correlaciones entre variables aleatorias simuladas.

La relación entre variables coste y tiempo ha sido ampliamente abordada en la Literatura, con numerosos ejemplos de trabajos en los que se trata la determinación de desviaciones de una variable en función de la otra.

Entre estos casos destacan los de Bromilow, Hinds, & Moody (1988), que hicieron uso de modelos matemáticos para mostrar la relación entre el coste y el tiempo, y predecir sus variaciones. En 1983, Ireland (1983) realizó una investigación en la que vinculaba la desviación del tiempo de construcción como predictor de las desviaciones presupuetarias, y Chan & Kumaraswamy (1997) que modelizaron la relación tiempo costes de proyecto en un estudio piloto en Hong Kong, determinando los factores determinantes de las relaciones de ambas variables.

Chan D (2000) valida la proposición de Bromilow (1988) mediante la técnica de regresión lineal en el estudio de 51 proyectos en Malasia, reformulando la ecuación en su forma logarítmica natural para la determinación de la duración del proyecto en función del presupuesto; La ecuación [16] de Bromilow, se reescribe en la forma logarítmica natural como:

$$\ln T = \ln K + \ln B \quad [16]$$

Dónde;

T = Makespan del proyecto

K = Constante geográfica

B = Presupuesto de proyecto

La otra faceta importante del análisis de la relación de variables la encontramos en los esfuerzos empleados por los autores, para la integración de los parámetros tiempo y coste en la gestión de proyectos, especialmente en el área la planificación y control de procesos.

Teicholz (1987) plantea las diferencias en el nivel de detalle existentes entre la CBS y la EDT (Ilustración 7) en cuanto a asignaciones, proponiendo un mecanismo de correlación entre ambas estructuras.

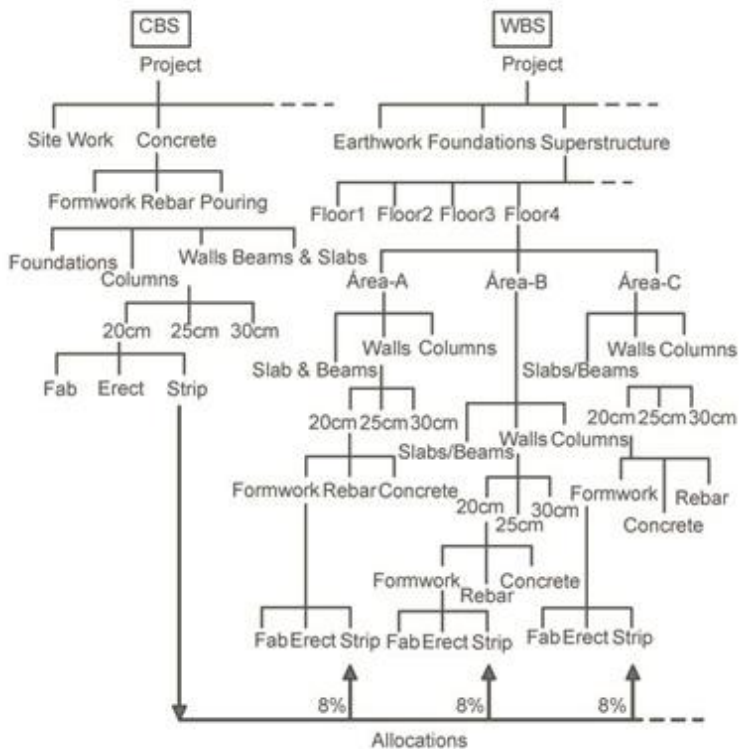
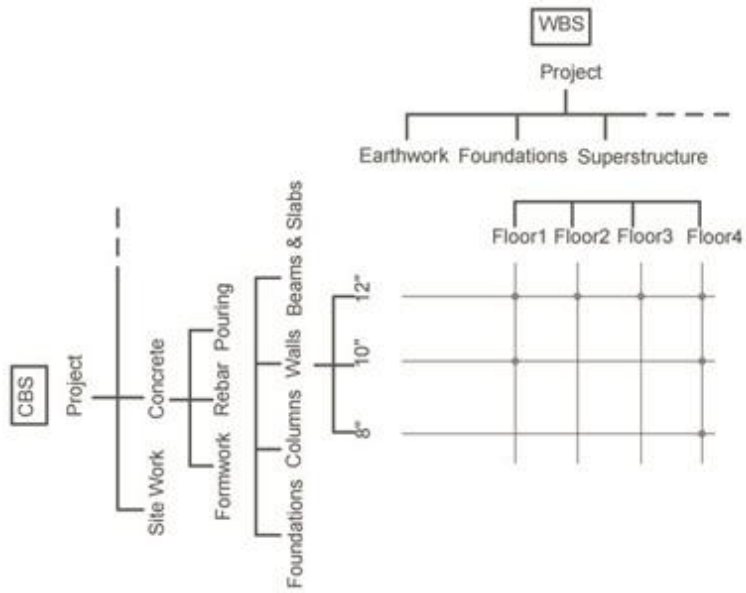


Ilustración 7: Modelo de Teicholz (Porcentaje de asignación)
Fuente: Teicholz (1987)

Hendrickson & Au (1989) proponen la integración de variables para su control mediante la utilización del concepto de “elementos integrados de trabajo” en tres dimensiones siguiendo la definición propuesta por Neil (1982), a los que se les asigna una cuenta de control definido por una matriz de paquetes de trabajo de la EDT y cuentas de costes de la CBS (Ilustración 8).



Work Element Matrix

		First Floor	Second Floor	Third Floor	Fourth Floor
Cost Accounts	30cm Walls	X	X	X	X
	25cm Walls	X			X
	20cm Walls				X

X : work element

Ilustración 8: matriz trabajo EDT y cuentas de costes CBS
Fuente: Hendrickson & Au (1989)

El Modelo denominado por Hendrickson y Au (1989) como “Work –Packaging”, crea una visión unificada de los datos del proyecto mediante la adición de datos de costes a la EDT y la eliminación de la CBS, en la línea de lo que proponen en la actualidad las técnicas ABC (activity based cost).

EL RIESGO

El *Diccionario Oxford-1995 Advanced Learner ed.*, define el riesgo como: "la probabilidad de fallo o la posibilidad de peligro de sufrir un daño o pérdida". En los proyectos de construcción, el riesgo puede ser definido como la probabilidad de ocurrencia de un evento que resulta perjudicial para el proyecto.

En el siglo XVII, el riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un evento, con un enfoque en cualquiera de los sentidos; tanto pérdidas como ganancias. El aspecto interesante de esta definición es que pronto se prestó más atención a los beneficios que a las pérdidas. Esta perspectiva, resultó invertida en el siglo XX y así se mantiene en el XXI; En el sentido popular, el término riesgo conlleva connotaciones negativas; es en gran parte, la pérdida o daño que generalmente tiene implicaciones de resultados negativos o adversos de un acontecimiento incierto. Así por ejemplo, Fishburn (1984) llama a un determinado evento malo 'arriesgado' y Statman & Tyebjee (1984) ven el riesgo como una alta probabilidad de fracaso.

El riesgo ha sido definido por gran cantidad de autores, así Chapman & Ward (1997), lo definen como la exposición a la posibilidad de una pérdida económica y financiera o ganancia, física, daño o lesión, o retraso como consecuencia de la incertidumbre. Jaafari & Schub (1990) por otro lado, ven el riesgo como la presencia potencial o limitaciones reales que podría interponerse en el camino de los resultados del proyecto al causar un fallo parcial o total durante la construcción y puesta en servicio, o en el momento de la utilización del proyecto. Paralelamente, Young (1996) ve el riesgo en el entorno de la gestión de proyectos como cualquier evento que pueda impedir la realización del proyecto, y por tanto las expectativas de las partes interesadas. Adamietz (2003) enuncia como los proyectos de construcción implican numerosos procesos impredecibles y complejos, y describe entre diversos aspectos del riesgo, los límites económicos, políticos y culturales de falta de voluntad para reconocer que existen riesgos que deben ser mitigados.

El riesgo del proyecto puede tener aspectos físicos (Zack, 1997) que impiden completar el proyecto o aumentar los costes y el calendario, si bien, en general hay tres elementos que definen el riesgo en los proyectos:

- La probabilidad de un evento con repercusiones negativas (desviaciones en las variables objetivo de calidad, tiempo o coste).
- La severidad de las consecuencias del evento (la magnitud de la desviación).
- La construcción fruto de su prototipismo característico, es una industria asociada a muchos riesgos, y así lo muestra la literatura con sus

cuantiosísimos estudios de casos de la gestión del riesgo en proyectos de arquitectura (Baker, Ponniah, & Smith, 1999).

Han sido desarrolladas diversas taxonomías de riesgos a lo largo de los años, sin embargo, la mayoría de ellas han considerado los criterios del origen como los más importantes. Siguiendo este criterio, una amplia clasificación de riesgos de proyectos podría ser: técnico, construcción, jurídico, natural, logístico, social, económico, financiero, comercial y político (Thompson & Perry, 1992) (Flanagan & Norman, 1993). Otros autores como Huchzermeier & Loch (2001) establecen su clasificación, por la asociación entre los riesgos de un proyecto y sus variabilidades (costes y duraciones); Este enfoque resulta de sumo interés desde el punto de vista de la asociación entre factores causales (endógenos y exógenos) y desviaciones.

Riesgo e incertidumbre

El riesgo entendido como la exposición a la posibilidad de una pérdida económica, física, daño, o retraso como consecuencia de la incertidumbre, entronca con el de incertidumbre en tanto que esta refleja en sí el grado de desconocimiento de una condición futura, y el primero constituye en sí mismo el factor o condición negativa futura. En ese sentido, las decisiones de proyecto, tienen que ver con las variables que normalmente se clasifican como riesgos o incertidumbres. Los riesgos son incógnitas, y su probabilidad de ocurrencia puede ser evaluada por medios estadísticos; Las incertidumbres producen incógnitas.

Raftery (1994) señala que el riesgo y la incertidumbre caracterizan las situaciones reales de los proyectos, donde el resultado de un evento o actividad en particular es probable que se desvíe de la estimación o el valor pronosticado; Existen riesgos en los proyectos, fruto de su singularidad y carácter temporal, que pueden tener impacto sobre todas las partes interesadas en el proyecto de diversas maneras. Leu, Chen, & Yang (2001) señalan que durante la ejecución del proyecto, muchas variables dinámicas inciertas asociadas a formas de riesgo, afectan a la duración del proyecto y a los costes, pudiendo modificar el resultado del mismo (de Cano & de la Cruz, 2002).

Blair (1999) utiliza un enfoque basado en la teoría de conjuntos difusos para la evaluación de costes y tiempos en sistemas complejos, y propone que la incertidumbre existe siempre en el modelado y gestión de proyectos de construcción complejos; Esta incertidumbre se debe al modelo que representan los sistemas reales y la atribuye a los seres humanos que expresan el riesgo en términos subjetivos.

El análisis de los riesgos del proyecto resulta un paso necesario para la mejora de cualquier estimación, y puede ser utilizado para diagnosticar las desviaciones de los proyectos (Touran, 2003). Las metodologías del análisis de riesgos se pueden utilizar para identificar las incertidumbres relacionadas con factores externos tales como las condiciones potencialmente adversas del sitio. Estas áreas de incertidumbre pueden traducirse en riesgos relacionados con el impacto en los costes y tradicionalmente se asocia a las asignaciones de contingencias (Shane, Anderson, & Schexnayder, 2009).

La evaluación de riesgos proporciona datos cualitativos y cuantitativos a los decisores de proyectos, para su uso posterior en la evaluación y gestión de riesgos (Ayyub & Wilcox, 2000). Esto permite la mejora continua en la toma de decisiones y puede aumentar la probabilidad de la finalización de los proyectos con éxito en cuanto al cumplimiento de los objetivos de coste, tiempo y rendimiento, siendo una herramienta eficaz para satisfacer las necesidades del promotor en la entrega del proyecto (Halpin M. G., 1998).

Se puede comprobar fácilmente la correlación negativa entre el análisis del riesgo de un proyecto y la variabilidad de su coste, recurriendo a un Diagrama de Tornado (Ilustración 9), representando el análisis de sensibilidad de las variables de entrada considerando los valores estimados más alto y más bajo para cada unidad de obra (o capítulos), y calculando el coste total del proyecto en los dos supuestos. Para el análisis de sensibilidad y comprobación del mayor impacto en la variabilidad del coste potencial del proyecto, se analiza la repercusión de la variación de una unidad con el resto de componentes constantes, generando un diagrama de pirámide invertida que muestra cada uno de los factores o unidades que podrían afectar a la desviación del coste de proyecto por orden descendente. Para considerar la variabilidad simultánea de todas las unidades o (o capítulos) se ha de recurrir a un análisis de sensibilidad eligiendo valores aleatorios de cada componente en su intervalo, con un generador de números aleatorios. Dados estos valores de las variables aleatorias de entrada (entre 0 y 1), se puede calcular el coste total del proyecto de manera iterativa, deduciendo los índices de correlación entre cada una de las variables (unidades, ó capítulos) y el coste global (con software como @Risk o Crystal Ball).

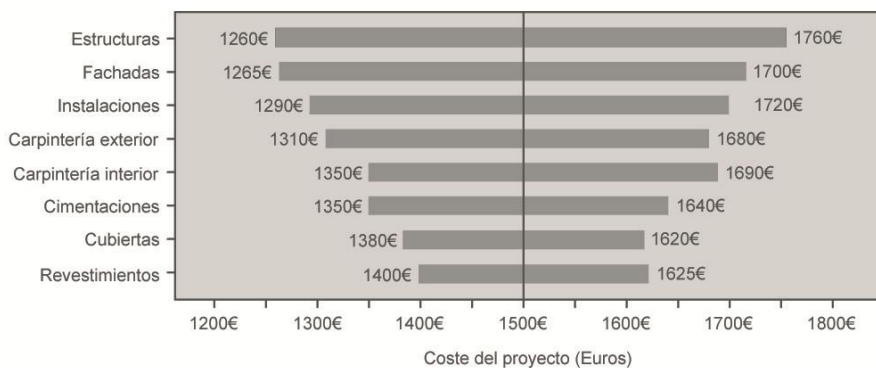


Ilustración 9: Ejemplo de Diagrama de tornado

Existen diversos modelos sistemáticos para su uso en la fase de evaluación de riesgos del proceso de gestión de riesgos, agrupados en dos categorías: Los modelos clásicos (análisis de probabilidad y simulación Monte Carlo) y modelos conceptuales (fuzzy set-análisis).

La evaluación cuantitativa del riesgo se basa en métodos estadísticos. Este enfoque cuantitativo es difícil de documentar porque requiere datos fiables; Cada proyecto es único y los datos que existen se basan en proyectos anteriores que pueden contener una incertidumbre significativa cuando se aplican a los proyectos en curso (*del Cano & de la Cruz, 2002*). Además, la literatura sobre obtención cuantitativa del riesgo por métodos de expertos es realmente limitada.

Kangari & Riggs (1989) señalaron que los modelos de probabilidad tienen dos limitaciones importantes; La primera es que algunos modelos requieren información cuantitativa detallada que normalmente no está disponible en el momento de la planificación, y la segunda es que su aplicabilidad resulta limitada puesto que los participantes en el proyecto, suelen tener dificultades para la toma de decisiones precisas; Los problemas se ven a menudo mal definidos y, por lo tanto, requieren evaluaciones subjetivas que los modelos clásicos no son capaces de manejar.

En general, la evaluación del riesgo del control de procesos intenta responder a las siguientes preguntas (*Kaplan, 1990*):

1. ¿Qué puede salir mal?
2. ¿Cuál es la probabilidad de que salga mal?
3. ¿Cuáles son las consecuencias si sale mal?

De los métodos de evaluación de riesgos para responder a estas preguntas, resultan adecuados cada uno de ellos en función de la etapa del ciclo de vida de un proyecto en que se aplique.

Gestión del riesgo

Mediante la gestión del riesgo los promotores y gestores de proyectos, toman decisiones basadas en datos obtenidos en las evaluaciones de riesgos. La gestión de riesgos implica la realización de estudios de decisiones sobre las diferentes configuraciones, los escenarios de construcción y los parámetros operativos.

Según la guía de Gestión de Proyectos-PMBOK (*Project Management Institute, S.C., 2000*), la gestión del riesgo se ve como el conjunto de procesos relacionados con identificar, analizar y responder a la incertidumbre a lo largo de ciclo de vida del proyecto. Lo que incluye maximizar los resultados de los eventos positivos y minimizar las consecuencias de eventos adversos, identificando cada riesgo adverso e implementando dos posibles acciones; Una acción preventiva (asociada al proyecto), o un plan de contingencia (asociado al presupuesto). En muchas empresas las estrategias de gestión de riesgos, incluyen la revisión de los riesgos a intervalos durante todo el ciclo de vida del proyecto; Sus evaluaciones se actualizan para reflejar el nivel de incertidumbre que rodea el proyecto en el momento del análisis (*Flyvbjerg, Holm, & Buhl, 2002*).

La gestión del riesgo, considerada como una parte esencial de la gestión de proyectos y sus estrategias para mitigar su presencia en de los proyectos, incluye (*Turner, 1999*):

- Reducir la incertidumbre asociada con el proyecto
- Evitar el riesgo de encontrar una manera diferente de hacer el proyecto
- Abandonar el proyecto
- Reducir la probabilidad de ocurrencia del riesgo o su impacto
- Transferir el riesgo a otras agentes como las compañías de seguros
- Aceptar el riesgo y crear un plan de contingencia

Perry & Hayes (1985) sugieren una lista de control de riesgos susceptibles de ocurrir durante todo el ciclo de vida de cualquier proyecto. Bent (1988), en la introducción de los conceptos de control, afirma que los elementos fundamentales para la monitorización del riesgo, son el control coste y el calendario del proyecto.

Desde principios de 1990, se han realizado una gran variedad estudios sobre procesos de gestión de riesgo; Algunos de ellos (*Al-Bahar & Crandall, 1990*) (*de Cano, 1992*) (*Rosenberg, Hammer, & Gallo, 1999*) (*BSI, 1999*) (*de Cano & de le Cruz, 2002*) (*FDOT, 2003*) realizados por notables autores, y otros, realizados por

organismos significativos como la Nasa o el Departamento de Transportes de los EEUU;

- PRAM - Fue el primer desarrollo exhaustivo de procesos elaborado por un equipo pluridisciplinar, que incluyó tanto a los profesionales como a académicos (Simon, Hillson, & Newland, 1997) (Chapman & Ward, 1997).
- RAMP – Con características similares a las del Proceso PRAM en su alcance, estructura y concepción, fue el primero concebido específicamente para el sector de la construcción. RAMP ha sido desarrollado conjuntamente por el Instituto de Promotores y el Instituto de Ingenieros Civiles para evaluar todo tipo de riesgos e incertidumbres de modo que puedan ser identificados, evaluados, reducidos y controlados (Institution of Civil Engineers (ICE), 1998).
- PUMA (Project Management Incertidumbre) - Es una metodología integrada sobre la base de un sistema de gestión de riesgos, jerárquicamente estructurada, flexible y genérica, concebida para su utilización desde el punto de vista de los promotores (de Cano & de le Cruz, 2002).

Los eventos de riesgo como factores latentes

La práctica actual de la gestión del proyecto se caracteriza por retraso en la entrega y superación de presupuestos, reducción de la funcionalidad y una calidad cuestionable (Williams T. M., 1999), mientras que la gestión de riesgos es una práctica reconocida que ayuda a la entrega de los proyectos a tiempo y dentro de los costes (Project Management Institute, S.C., 2000). Una organización debe evitar la desviación de costes, relacionados con eventos o resultados adversos, identificándolos para plantear tanto la acción preventiva que disminuya o evite su aparición, como su plan de contingencia cuando se presenten.

Aceptado el hecho de que las variables objetivo de los proyectos se expresan por lo general como los objetivos establecidos para la función, coste, tiempo y calidad, y que las consecuencias más negativas fruto de aparición de eventos de riesgo son el hecho de no cumplir con estos objetivos; Resulta la relación causal que indica a los riesgos de proyecto en factores latentes del sistema desviación de proyectos. La desviación del presupuesto como consecuencia no deseada por ningún agente, puede por tanto resultar como efecto de un evento de riesgo y estar asociada a las mismas causas que otros efectos indeseables.

No es extraño que Flyvbjerg, Bruzelius, & Rothengatter (2003) señalen que los cambios en el coste del proyecto, o incremento de los costes, se produce como resultado de muchos factores asociados siempre con alguna forma de riesgo. El análisis de estas causas de aumento del coste del proyecto es un paso necesario para la mejora de cualquier sistema de estimación de coste.

CONTINGENCIAS

El Project Management Institute (2000), define la contingencia como la cantidad de dinero o el tiempo necesario, por encima de la estimación inicial, para reducir el riesgo de desbordamiento de los objetivos del proyecto a un nivel aceptable para el cliente. La AACE (2000) la define como la cantidad de dinero o tiempo que se añade a la cantidad estimada de base para alcanzar un determinado nivel de confianza, o para permitir cambios en la ejecución; Las contingencias constituyen un colchón amortiguador de protección para el estimador, en un entorno de incertidumbre condicionado por afecciones externas negativas.

Patrascu (1988) afirma que la contingencia es probablemente la palabra más incomprendida, malinterpretada y peor aplicada en la gestión del proyecto.

Asumiendo el hecho de que la ejecución de un proyecto está llena de dificultades, los principios del análisis de riesgo proponen detectar los probables eventos de riesgo y fijarles un valor financiero, añadiendo al proyecto una cantidad económica como posible gasto, acercando el presupuesto a una representación más real de lo que finalmente tendrá que desembolsar el promotor al final del proyecto.

La contingencia de presupuesto, o amortiguador económico (costs-buffer), está incluida en un presupuesto completando el compromiso financiero total que el promotor acepta; A pesar de que en ocasiones los promotores transfieren riesgos a terceros por vía contractual, en otros muchos proyectos, el propietario agrega una asignación de contingencia para el coste estimado con el objeto de evitar el excedente que pudiera aparecer por acontecimientos inesperados.

Los atributos clave del concepto de contingencia de costes del proyecto son:

- Es una reserva económica (*AACE International's Risk Management Dictionary, 2000*). Este es quizás el componente más comúnmente aceptado de la contingencia de costes (*Baccarini, 2004*).
- Es un reflejo de la existencia de riesgo e incertidumbre en el proyecto (*Thompson & Perry, 1992*). De modo que la contingencia es una herramienta de la gestión de riesgos.
- Es el compromiso Total. La inclusión de contingencias dentro del presupuesto de un proyecto significa que la estimación representa el compromiso financiero total de un proyecto, excluyendo la necesidad de fondos adicionales.

Hillson (1999) divide las contingencias en dos categorías según procedan de incógnitas conocidas o incógnitas desconocidas, atendiendo a los distintos tipos de eventos:

- Imprevistos (*Moselhi, 1997*) (*Yeo, 1990*)
- Inesperados (*Mak, Wong, & Picken, 1998*)
- No identificados (*Levine, 1995*)
- Indefinidos (*Clark & Lorenzoni, 1985*) (*Thompson & Perry, 1992*)

Justificación

Aceptado el hecho de que la mayoría de los proyectos van a experimentar aumentos de presupuestos desde la primera estimación y la finalización de la obra, parece adecuado el dimensionado y asignación de una contingencia económica asociada a factores como la deficiente definición del proyecto, los cambios durante la ejecución, la modificación del alcance del proyecto, o a la inexactitud de las estimaciones realizadas (*Clark & Lorenzoni, 1985*); En la medida en que el proyecto va avanzando, la contingencia puede ser absorbida al tiempo en que las especificaciones se van consolidando (*Günhan & Arditi, 2007*). Los problemas de diseño no resueltos en el momento de la redacción del proyecto y la adjudicación del contrato van siendo resueltos con la consignación económica prevista en la contingencia (*Günhan & Arditi, 2007*).

Según el Project Management Institute (PMI), gestionar los costes de un proyecto incluye todos los procesos involucrados en la planificación, estimación, preparación del presupuesto y control de costes de forma que el proyecto se pueda completar dentro del presupuesto aprobado. Se deduce, por tanto, que el objetivo prioritario desde el punto de vista económico, consiste en evitar desviaciones al alza del presupuesto de proyecto aprobado por el cliente.

No obstante, existen opiniones encontradas en cuanto a la necesidad de la inclusión de la contingencia de presupuesto; En algunas esferas, especialmente en el sector público, existe una gran reticencia, cuando no una prohibición expresa, a la inclusión de la contingencia económica en los proyectos, considerándose una adición trivial (*Yeo, 1990*) e injustificable que manifiesta una falta de confianza en las estimaciones de los proyectos.

Dimensionado

Es importante señalar, que el dimensionado de la contingencia de riesgos, tiene un gran impacto en los estados financieros de los clientes; Si la contingencia es demasiado alta puede provocar la relajación en el control de costes, o bien puede hacer que el proyecto no sea rentable y desviar la inversión a otros

proyectos disponibles (Dey, Tabucanon, & Ogunlana, 1996). Por otra parte, si la asignación de contingencia es demasiado baja, establecerá un entorno financiero poco realista perjudicando al desarrollo satisfactorio del proyecto (Touran, 2003).

La experiencia histórica en proyectos similares puede servir de guía para su determinación siempre que sean utilizados criterios de ponderación por factores de concurrencia en función de los atributos del proyecto presupuestado para obtener el valor más probable ajustado al caso. No obstante, cuando los riesgos son significativos y complejos, procede recurrir a una evaluación estadística utilizando herramientas probabilísticas.

La práctica tradicional de dimensionado de esta contingencia es un método de compensación respecto de la incertidumbre existente en las estimaciones económicas de presupuestos; Consiste en la adición de un porcentaje en concepto de “imprevistos” (Burger, 2003). En esa línea, Eden, Ackermann, & Williams (2005) proponen la conveniencia de desglosar la contingencia del proyecto en diversos amortiguadores económicos adaptados a los niveles de incertidumbre de cada uno de los elementos componentes del proyecto. Algunos autores como Hartman (2000) sostienen que se trata de un enfoque científico, y los más (Yeo, 1990), señalan que este método de asignación tan común, podría ser considerado como demasiado simplista y muy dependiente de la confianza del estimador en su propia experiencia. Algunos lo consideran simplemente un procedimiento arbitrario (Thompson & Perry, 1992). En general, la revisión de la literatura además de la arbitrariedad y la simplicidad, pone de relieve el defecto grave de este método de estimación, y es que su utilización implica un grado de certeza que simplemente no está justificado.

Desde el enfoque estocástico, Touran (2003) propuso un modelo probabilístico para el cálculo de la contingencia de costes, considerando el número esperado de cambios en el proyecto y el coste promedio de cada cambio. Para el desarrollo de este modelo, se supone un patrón de entrada de Poisson para las órdenes de cambio y variables aleatorias independientes para cada una de ellas. A partir de estos elementos, calcula la probabilidad de sobrecoste para un nivel dado de confianza. Mak & Picken (2000) afirman que la contingencia calculada por probabilidad, debe ser comparada con el valor total aprobado de las variaciones contractuales para evaluar su exactitud.

El dimensionado de las contingencias resulta especialmente controvertido. Algunos autores mantienen que en la práctica debemos considerar amortiguadores económicos que sean suficientemente fiables, determinándolos con formulaciones [17] como la propuesta por Newbold (1983), con la que suponiendo una distribución normal, se obtiene un importe de contingencia cuya desviación estándar permite la finalización de un proyecto en el coste previsto con una confianza del 90%:

$$C = \sqrt{\sum (C_k^p - \mu_k)^2} \quad [17]$$

Dónde:

C es la contingencia del proyecto.

C_k^p es el coste más pesimista del proyecto.

μ_k es el coste medio (o la mediana según Goldtratt)

Podemos también aplicar la teoría de las restricciones propuesta por Goldratt (1990) y tratar los costes como duraciones, generando una pseudo ruta crítica de costes (los de mayor importe y mayor grado de incertidumbre) y a partir de ella considerar además de la contingencia global de final de proyecto, otros amortiguadores en varios puntos de la cadena crítica (amortiguadores de alimentación y de recursos). Aplicando el paralelismo a la proposición de Klastorin (2010), como los costes de las unidades (o capítulos) son aleatorios, se puede considerar una contingencia global al final del proyecto y eliminar las contingencias de alimentación, (asignando la mediana del coste), permitiendo así unir los riesgos y fluctuaciones aleatorios asociados con todas las unidades).

Desde el enfoque estocástico, se puede suponer que los costes de las unidades de obras son variables aleatorias obtenidas de un distribución beta (Malcolm, Roseboom, Clark, & Fazar, 1959), de modo pueden estimarse tres valores para cada unidad de obra; el optimista, el pesimista y el más probable, obteniendo dos ecuaciones sencillas para calcular el coste esperado (medio) y la varianza de cada unidad de obra.

Siendo:

c^p = estimación del coste pesimista

c^o = estimación del coste optimista

c^m = estimación del coste mas probable

El coste esperado de la unidad está dado por μ (ecuación [18]):

$$\mu = \frac{c^o + c^p + 4c^m}{6} \quad [18]$$

Y la varianza está dada por σ (ecuación [19]):

$$\sigma^2 = \frac{(c^p - c^o)^2}{36} \quad [19]$$

Algunos investigadores señalan que a los profesionales de la presupuestación, les resulta difícil estimar el valor moda, proponiendo su sustitución por la utilización de la mediana (Perry & Greig, 1975), y defendiendo la formulación desarrollada por (Pearson & Tukey, 1965) (ecuaciones [20] y [21]) que ofrece una estimación exacta y ajena al tipo de distribución;

$$\mu = c_{50} + 0,185(c_{95} + c_5 - 2c_{50}) \quad [20]$$

Y

$$\sigma^2 = \frac{c_{95} - c_5}{3,25} \quad [21]$$

Resulta notorio pues, que la tendencia es a tratar la asignación de la contingencia con el suficiente rigor científico, y en ese camino resulta imprescindible asociar su análisis con el fenómeno de la desviación de presupuesto como sistema complejo. Merrow & Schroeder (1991) destacaron la importancia del vínculo entre la predicción de rebosamiento de los costes (diferencia entre la estimación presupuestaria y el coste real final) y el dimensionado de las contingencias, al afirmar que las desviaciones de presupuestos pueden ser consideradas como la insuficiencia en la estimación de la contingencia de costes. Su investigación demostró que no existe la supuesta correlación discernible entre la desviación de presupuestos y la intensidad de control aplicado en el proyecto, y propone atender el rebosamiento presupuestario con el más exacto de los dimensionados posibles para la contingencia económica.

DESVIACIONES (COST OVERRUNS)

Concepto y referencias

Autores como Nijkamp & Ubbels (1999), Flyvbjerg, Holm, & Buhl (2002), y Odeck (2004), definen el concepto sobrecoste como la diferencia resultante entre los costes de construcción previstos en el momento de la toma de decisión de la

construcción y los costes reales incurridos a la finalización del proyecto; utilizando indistintamente la denominación sobrecoste o rebasamiento de presupuesto.

Para Love (2011), el término sobrecoste puede ser conocido como aumento presupuestario, aumento de los costes, o de crecimiento de presupuesto. Por el contrario, debe diferenciarse claramente de este conjunto de nominaciones, el término escalada de costes, que es utilizado para expresar un crecimiento de precios debido exclusivamente a factores inflacionistas.

Flyvbjerg, Holm, & Buhl (2002) distinguen el coste programado y el coste presupuestado, atribuyéndole al primero un papel suficientemente relevante en la evaluación de la inversión y por tanto en la toma de decisiones, como para justificar que sea el coste en el momento de la toma de la decisión de construir, el hito desde el que se referencia la desviación. Los autores que postulan esta referencia, inciden en que el estudio de las desviaciones entre el coste programado (afectadas por las estimaciones iniciales del proyecto), y el coste final, deben de realizarse de modo absolutamente separado del análisis de desviaciones desde el presupuesto de adjudicación, que corresponde a estimaciones realizadas con mayor información y certidumbre, y al que puede serle asignada una contingencia apropiada en la adjudicación del contrato de construcción.

Hay que tener presente que esta primera programación del presupuesto en la fase más temprana, cuando se realiza el estudio de viabilidad económico para la comprobación de la viabilidad de la operación financiera, se establece en muchas ocasiones sin tener claramente definido el alcance del proyecto y disponiendo de escasa información de los parámetros de la actividad prevista (Zeitoun & Oberlender, 1993), y suelen estar condicionados por las severas limitaciones de tiempo disponible que caracterizan la realización de estos estudios de viabilidad (Chang A. S.-T., 2002).

Algunos autores, si bien comparten el concepto diferencial, presentan referencias alternativas a la hora de establecer los hitos de fijación de valores para la determinación del sobrecoste (Rowland, 1981) (Hinze, Selstead, & Mahoney, 1992) (Zeitoun & Oberlender, 1993), y sugieren que la desviación de presupuesto debe tratar la diferencia entre el valor del contrato de adjudicación de la construcción y el importe real de la liquidación del contrato de obra a su terminación.

Consideran evidente que cualquier proyecto en fases tempranas carece de un ámbito suficientemente definido, y que por tanto cualquier presupuesto que se formule en el momento de la toma de decisión de construir será por naturaleza inexacto y sujeto a cambios sustanciales; Por tanto, cualquier análisis de desviación que se referencia en este hito, resultará engañoso, y naturalmente, llevará a un valor demasiado hinchado que estará reflejando las características

finalmente diferentes de un proyecto y su alcance. Por el contrario, el uso de la adjudicación del contrato, proporciona un punto de referencia que permite la comparación homóloga.

En la Ilustración 10 (Love, Wang, Sing, & Tiong, 2013), se muestra el conjunto de procesos que conforman el desarrollo integral del proyecto agrupados en las fases de estudio, diseño, construcción, y uso, y se identifican los hitos de referencia que son utilizados para determinar la desviación de presupuesto.

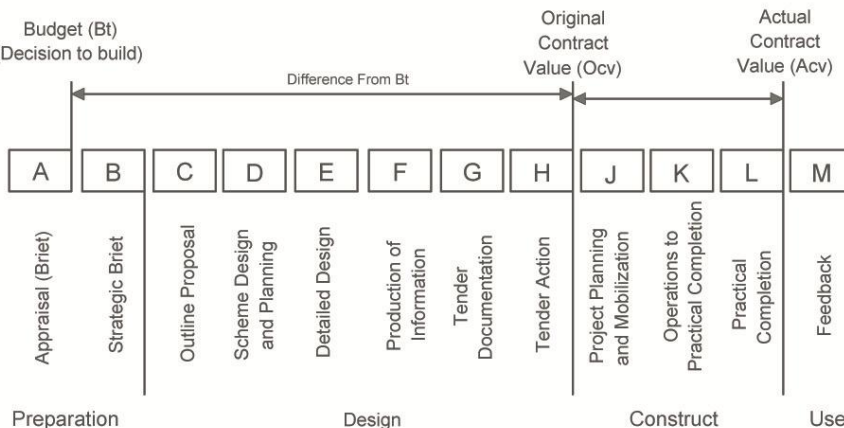


Ilustración 10: Desarrollo de procesos de proyecto: Determinación de sobrecostes
Fuente: Love, Wang, Sing, & Tiong (2013)

Definiéndose los costes de construcción reales (L_{cv}) como los costes de construcción registrados en el momento de finalización del proyecto (Ilustración 11), autores como Love, Wang, Sing, & Tiong (2013), proponen la definición alternativa y punto de referencia para la determinación de la desviación de presupuesto como la diferencia entre el valor del contrato original (L_{cv}) (la adjudicación del contrato) y la terminación real (L_{cv}).

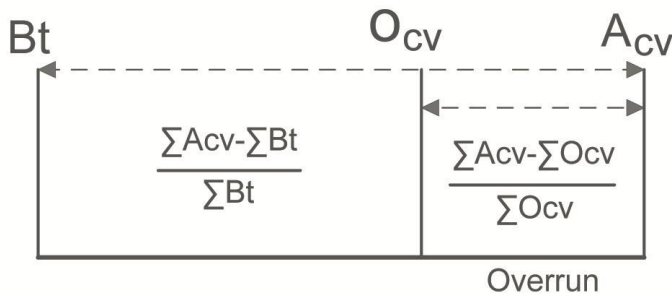


Ilustración 11: Determinación de la desviación de presupuesto
Fuente: Love (2013)

En general, en la literatura de gestión de proyectos, abundan tanto los ejemplos en los que los excesos de costes se calculan a partir de la decisión de construir, como los que determinan las desviaciones de presupuesto a partir de la adjudicación del contrato. Bien es cierto, que esta discrepancia entre las definiciones presentadas ha contribuido a una variabilidad significativa en los porcentajes de saturación del coste que tienen un fiel reflejo en la literatura.

El concepto desviación incluido en el objeto de investigación, contiene inherentemente un ejercicio comparativo, y por tanto sometido a posicionamientos referenciales entre el estado analizado y el estado de comparación; Para el propósito de esta investigación, se considera que los términos desviación o crecimiento de presupuesto, rebosamiento de presupuesto, sobrecostes y el término inglés “cost overruns”, hablan del mismo concepto, y que se puede definir como la diferencia entre presupuesto al final del proyecto y el presupuesto adjudicado en el contrato de construcción después del diseño de detalle del proyecto en particular.

Presupuestos Vs Costes

Conviene detenerse para clarificar la diferenciación entre la desviación de presupuestos y la desviación de costes, ligada a la dualidad coste-precio, y así procede atender a las matizaciones conceptuales siguientes:

Podemos definir los costes de un proyecto como la cantidad total de recursos de necesario consumo o participación por aplicación racional de los factores productivos, para la consecución del alcance del proyecto, medidos en las unidades características de cada recurso. Este aspecto del consumo considera el número de unidades físicas (horas de trabajo de hombre, de máquinas, kg. de materias primas, energía consumida, etc.); Se trata pues, de un concepto marcadamente técnico aunque pueda quedar expresado en unidades monetarias, y su carácter es objetivo pese a la subjetividad de la estimación que pueda realizarse.

El presupuesto o *Budget* en inglés (Derivada del francés *baugette* cuyo significado es bolsa), designa a la estimación económica programada de manera sistemática de las actividades necesarias para la consecución del proyecto como objetivo. Es la expresión en unidades monetarias de los consumos, es decir de los costes, y por tanto se trata de un concepto fundamentalmente económico expresado siempre en unidades monetarias, en el que predomina su carácter subjetivo; El presupuesto resulta siempre de la confrontación del concepto técnico de costes con el mercado; es su traducción monetaria en las condiciones mercantiles determinadas, y por lo tanto este puede quedar o no, relacionado en cuanto a sus desviaciones con los costes implícitos, en función de la negociación (materializada normalmente en contratos) de la confrontación mercantil.

En sentido estricto, plantear cualquier análisis de desviación de costes, implicaría el ejercicio de comparación de recursos utilizados para el logro del objetivo, utilizando exclusivamente las unidades físicas y temporales que los definen; Su traducción a unidades monetarias, no solo simplifican la tarea, sino que además homogeneizan la comparación. Por otra parte podría considerarse exclusivo del concepto desviación presupuestaria, incluir en el análisis cualquier desviación afectada por las relaciones contractuales de los intervinientes (especialmente la del promotor con el constructor), en tanto que estas le son propias a la confrontación mercantil y sus circunstancias del coste.

Entendiendo pues el presupuesto como la traducción económica y su confrontación con el mercado de los costes, tenemos que cualquier análisis de desviación de presupuesto conlleva implícito además de la consideración de los factores latentes mercantiles, los que le son propios a los costes.

La presente Tesis centra su propósito en el estudio de las desviaciones de presupuestos y no de modo exclusivo en la desviación de costes, en tanto que se pretende analizar el fenómeno como sistema complejo, asumiendo el axioma de que toda desviación presupuestaria contiene implícitamente desviaciones de costes, y que contrariamente no todas las desviaciones de costes producen una desviación presupuestaria.

El problema

La desviación de presupuestos constituye en sí mismo un problema complejo por la confluencia en el fenómeno, como se verá más adelante, de múltiples variables asociadas en factores latentes, y ante todo, supone un problema real y global en el sector de la construcción; Es un fenómeno con efectos en todo el mundo y constituye habitualmente una fuente de fricciones y conflictos entre los agentes intervinientes en los proyectos.

Los estudios que testimonian su presencia son numerosísimos. Raftery (1994) justifica que los proyectos de construcción tengan tan mala reputación por los característicos excesos de presupuestos y plazos que los acompañan. Morris & Hough (1987), durante un estudio de registros de los diferentes tipos de proyectos financiados por el Banco Mundial entre 1974 y 1988, encontró que el 63% de los proyectos había experimentado un sobrecoste significativo; En Italia por ejemplo, un estudio de 204 contratos de construcción entre 1986 y 1990, (Tagliaventi, 1991) detectó que el coste medio rebasamiento era del 50%. Kaming, Olomolaiye, Holt, & Harris (1997), estudiaron los factores que influyen en el desempeño de los costes en los proyectos de gran altura en Indonesia y llegaron a la conclusión de que los excesos de presupuestos eran absolutamente frecuentes.

Una de las manifestaciones de su existencia generalizada en todo el sector, es la cantidad de técnicas desarrolladas para evaluar la probabilidad de aparición de excesos de coste y poner en marcha mecanismos para reducir su impacto (Jahren & Ashe, 1990) (Birnie & Yates, 1991) (Attala & Hegazy, 2003) (Flyvbjerg, 2008) (Bhargava, Anastasopoulos, Labi, Sinha, & Mannering, 2010) ; A pesar de la aplicación de estas técnicas, así como la adopción de prácticas de organización y de gestión innovadoras, la desviación de presupuestos en los proyectos siguen siendo un problema generalizado (Hester, Kuprenas, & Chang, 1991) (Ibbs & Allen, 1995) (Love, 2002) (Bhargava, Anastasopoulos, Labi, Sinha, & Mannering, 2010).

Los resultados de la investigación realizada (Hinze & Walsh, 1997) en 468 proyectos de construcción en torno a 1992 por el Transportation Research Board evaluando los excesos de costes de construcción en proyectos terminados, determinaron que los sobrecostes, expresados como un porcentaje de la cantidad original del contrato, tendían a aumentar con el tamaño del proyecto; Evidenciaba también que la tasa de sobrecoste aumentaba con el número de oferentes y con la mayor dispersión de las diferentes ofertas presentadas en la licitación. En ese sentido, las cuestiones relativas a los tipos de proyectos y su influencia sobre los excesos de costes han sido examinadas y sometidas a un intenso debate. Algunos autores como Flyvbjerg, Holm, & Buhl (2002) comprueban la existencia de una diferencia significativa entre las medias de los excesos de costes para diferentes tipos de proyectos, pero no encuentran diferenciación en función de su ubicación geográfica. Por el contrario, Odeck (2004) comprueba como el tipo de proyecto no influye en el nivel sobrecostes.

Algunos autores discuten la intensidad con que el problema de la desviación presupuestaria afecta a los proyectos en función de su tamaño o ubicación, pero casi ninguno de ellos pone en cuestión la presencia generalizada del fenómeno en proyectos de todo tipo, condición, y atributos. A pesar del gran número de casos estudiados, nadie discute que el problema afecta desde las construcciones más simples a los proyectos más complejos. Así, el pobre desempeño en la variable coste de los proyectos parece ser la norma y no la excepción.

El Control. Análisis cuantitativo

El desempeño de la variable coste de un proyecto concreto, queda siempre juzgado en términos de crecimiento del presupuesto (McKim, Hegazy, & Attalla, 2000); Los presupuestos son una de las herramientas fundamentales para valorar los resultados obtenidos por la empresa, tanto a nivel general como por centros de responsabilidad y con esa finalidad, es imprescindible cuantificar lo sucedido realmente con lo inicialmente presupuestado.

Se producen desviaciones cuando los resultados reales cuantificados son diferentes a los resultados previstos, y la herramienta fundamental de cuantificación es el control; Así pues, el objetivo del control presupuestario es detectar y analizar las desviaciones y conforma una parte esencial de la planificación empresarial.

Definimos control presupuestario como la forma en que se va a evaluar y medir cuantitativamente la consecución de los objetivos fijados, para aplicar aquellas medidas correctoras necesarias en las desviaciones que se produzcan. A medida que a través de la contabilidad general se obtienen los datos reales, deben compararse con los previstos. La diferencia o desviación se calcula en valor absoluto y en porcentajes.

El procedimiento y modelo del control económico, suele estar en consonancia con el sistema de costes utilizado, para facilitar la interpretación de los hechos, pero en general atiende al desglose de control de costes directos e indirectos.

El control de desviaciones de costes directos, persigue la cuantificación de la desviación global como efecto simultáneo de los dos tipos de desviaciones posibles, considerando la desviación técnica (DT) como (ecuación [22]):

$$DT = (Q_r - Q_p) \cdot P_p \quad [22]$$

Siendo:

Q_r = La cantidad de recurso realmente utilizado

Q_p = La cantidad de recurso prevista

P_p = El precio unitario previsto del recurso

Y la desviación económica (DE) como (ecuación [23]):

$$DE = (P_r - P_p) \cdot Q_p \quad [23]$$

Siendo:

P_r = El precio unitario del recurso realmente utilizado

P_p = El precio unitario del recurso previsto

Q_p = La cantidad de recurso prevista

Si representamos gráficamente el presupuesto y el coste final, como las áreas de dos rectángulos de lados cantidades y precios unitarios previstos y reales (Ilustración 12):

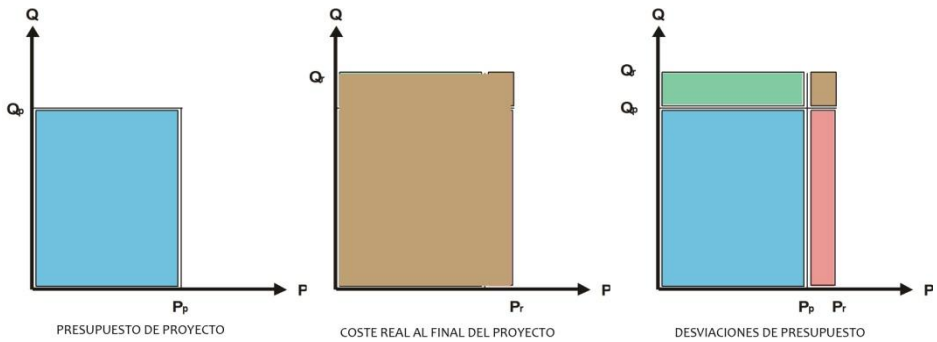


Ilustración 12: Presupuesto y coste final.
Fuente: Collado López, M.L. (2003)

Podemos hallar la desviación mixta producida por la acción simultánea de ambas desviaciones obtenido mediante el producto de la diferencia de segmentos (ecuación [24]);

$$DM = (P_r - P_p) \cdot (Q_r - Q_p); \quad [24]$$

Y sustituyendo:

$$DM = (P_r \cdot Q_r - P_r \cdot Q_p - P_p \cdot Q_r + P_p \cdot Q_p)$$

Pudiendo notar la diferencia entre el importe real y el importe previsto, como la Desviación Global (DG) (ecuaciones [25] y [26]):

$$DG = (P_r \cdot Q_r) - (P_p \cdot Q_p) \quad [25]$$

$$DG = DE + DT + DM \quad [26]$$

En cuanto a los costes indirectos soportados por la empresa a lo largo del período de estudio conviene atendiendo a sus características, distinguir los costes indirectos variables que tratamos de manera similar a los costes directos, cuantificando sus desviaciones técnicas y económicas, y los costes indirectos fijos. Para calcular las desviaciones relacionadas con costes fijos es necesario rehacer el presupuesto para adecuarlo al nivel real de producción, con el objeto de aislar la incidencia sobre las desviaciones producidas por diferencias en el nivel de actividad; Este proceso es el denominado presupuesto flexible.

En resumen, se puede asegurar, que la información cuantitativa para el análisis de las desviaciones presupuestarias, debe venir siempre de la mano de un adecuado control económico.

Causalidad: Factores latentes

“La ciencia perfecta es el conocimiento preciso de los efectos por sus causas”.
Descartes

Desde el punto de vista cualitativo, el análisis de las desviaciones de presupuestos requiere de un estudio exhaustivo de causalidad, que determine los factores latentes del fenómeno. La identificación de los factores clave que contribuyen a los sobrecostos en los proyectos, puede sin duda, mejorar la evaluación de su probabilidad de ocurrencia y permitir a los promotores y contratistas la aplicación de estrategias adecuadas en gestión de proyectos para si no eludirlas, sí mitigar sus efectos.

Debemos plantearnos previamente, en qué consiste la “causalidad” y cuáles son los principios que la caracterizan, para después poder apreciar su relación con el fenómeno investigado; La causalidad, es el método científico y filosófico que procura el conocimiento de las cosas o de las verdades a través del estudio y análisis de sus causas. Bunge (1961), sostiene la existencia de cadenas de relaciones causales (causa-efecto) que periten mediante el estudio de ellas, una explicación de todo lo que pueda ser explicado. La causalidad implica “la necesidad condicional de los sucesos”, no implica que algo ocurrirá inevitablemente, sino que “si y solo si”, se cumplen ciertas condiciones, sobrevendrán ciertos resultados; la explicación de los cambios a través del estudio de la relación causa – efecto.

Según el diccionario filosófico, a la acción capaz de producir algo se le denomina causa, y efecto o resultado a la razón de que algo ocurra, el cual se asocia directamente con la ley de la naturaleza. Desde el punto de vista filosófico, esta acción se asocia con el término de relación causal, que prueba la existencia de un fenómeno por la del otro. Por otro lado, el efecto, se relaciona con el término correlativo de causa, lo producido por una causa y en cuanto producido por ella, lo que llega a ser por obra de una causa. En resumen, causa no es más que la razón que permite la presencia de un fenómeno y el efecto es ejecución de esta.

A partir de la relación de dependencia anterior, se evidencia la dirección causal, que permite conocer la dependencia de una variable con otra y la relación asimétrica que se establece entre las dos variables, donde la variable A sería la variable independiente o lo que es lo mismo que influye y B la variable dependiente o variable influida.

El principio de causalidad es un principio fundamental en la investigación científica, suponiendo que la mejor forma de entender y explicar es conocer las causas, porque por un lado podemos prevenir y por otro controlar los efectos, en definitiva dominar los sucesos naturales.

La estadística, por su parte, sostiene que la causalidad es una relación de necesidad de coocurrencia de dos variables. Se refiere a una relación de necesidad de concurrencia de dos variables estadísticas correlacionadas; Probar causalidad entre dos variables implica además de que guarden una correlación positiva, el estudio de los casos en los que una pueda presentarse sin la otra.

Es importante señalar, que cuando se habla de correlación no se puede deducir la presencia de causalidad, debido a que la correlación es una relación entre variables o acontecimientos de dependencia no causal entre sus características o propiedades cuya intensidad puede medirse mediante una comparación estadística de la frecuencia con que aparecen ambos factores y la causalidad es una relación causa/efecto, pero no se puede descartar que una correlación pueda implicar una posible conexión entre causa y efecto.

Aun con todas las reservas planteadas, el hecho es que los investigadores utilizan cada día más la estadística para la determinación y control de los problemas científicos, dándole un papel fundamental con técnicas que demuestran las relaciones causales que puedan existir en un suceso.

El estudio estadístico del fenómeno de la desviación de presupuestos como sistema complejo está afectado por la dificultad asociada a la medición de constructos teóricos (como la calidad del proyecto o la profesionalidad del promotor, entre otros ejemplos), que estriba en que son abstracciones no observables ni medibles directamente. Para evaluar dichas abstracciones se debe utilizar un instrumento adecuado; resulta necesario comenzar con un claro entendimiento de lo que realmente es el constructo a evaluar, estableciendo claramente la comprensión de su significado, la naturaleza de sus propiedades básicas y cómo se manifiesta (Corraliza, 1987).

Los constructos teóricos pueden ser evaluados estadísticamente por sus factores latentes que pueden ser tomados como entidades con existencia propia que afectan al comportamiento de un fenómeno; variables no observables que son inferidas de otras variables observables. En ocasiones estos factores latentes pueden también corresponder a aspectos de la realidad física, que siendo en principio medibles, por razones prácticas no resulta operativa su cuantificación. Otras, resultan inconmensurables porque corresponden a conceptos abstractos, como categorías, estados de comportamiento, o estructuras de datos. Los términos variables hipotéticas o constructos hipotéticos se pueden utilizar en estas situaciones.

Los modelos matemáticos que pretenden explicar las variables observadas en términos de factores latentes son denominados modelos de variables latentes, utilizándose en muchas disciplinas, como la psicología, la economía, la máquina de aprendizaje/inteligencia artificial, la bioinformática, el procesamiento del lenguaje natural, la gestión o las ciencias sociales.

El Conocimiento complejo

“Legítimamente le pedimos al pensamiento que disipe las brumas y las oscuridades, que ponga orden y claridad en lo real, que revele las leyes que lo gobiernan”

Edgar Morín (*Introducción al pensamiento complejo*. 1995)

La totalidad del saber

El conocimiento científico fue concebido durante mucho tiempo, y aún lo es a menudo, teniendo por misión la de disipar la aparente complejidad de los fenómenos, a fin de revelar el orden simple al que obedecen. En la actualidad, La toma de conciencia de la ciencia ha hecho reinar, cada vez más, a los métodos de verificación empírica y lógica. La incertidumbre, los mitos y las tinieblas parecen ser rechazados a los bajos fondos del espíritu por las luces de la Razón. Y, sin embargo, el error, la ignorancia, la ceguera, progresan, por todas partes, al mismo tiempo que nuestros conocimientos; Ciega lucidez; inteligencia ciega. (Morin, 1977).

Nuestra organización del conocimiento, opera mediante la selección de datos significativos y el rechazo de los datos no significativos: separa (distingue o desarticula) y une (asocia, identifica); jerarquiza (lo principal, lo secundario) y centraliza. Estas operaciones que utilizan la lógica, son de hecho comandadas por principios “supralógicos” de organización del pensamiento o paradigmas, principios ocultos, que gobiernan nuestra visión de las cosas y del mundo sin que tengamos conciencia de ello.

Morín (1977) señala que la patología de la razón es la racionalidad, que encierra a lo real en un sistema de ideas coherentes, pero parcial y unilateral, y que no sabe que una parte de lo real es irracional, ni que la racionalidad tiene por misión dialogar con lo irracional.

La razón corresponde a la voluntad de tener una visión coherente de los fenómenos; Tiene un aspecto indiscutiblemente lógico. La racionalidad es el diálogo con nuestro entendimiento, que crea las estructuras lógicas, que las aplica al mundo, y que interacciona con ese mundo real. La racionalidad, no tiene la pretensión de englobar la totalidad de lo real dentro de un sistema lógico, pero tiene la voluntad de dialogar con aquello que lo resiste.

La racionalización consiste en querer abarcar la realidad dentro de un sistema coherente. Y todo aquello que contradice, a la realidad, a ese sistema coherente, es descartable.

Todos tenemos una tendencia inconsciente a descartar de nuestro entendimiento lo que lo va a contradecir a la realidad, vamos a minimizar o rechazar los argumentos contrarios. Vamos a tener una atención selectiva hacia aquello que favorece a nuestra idea y una desatención selectiva hacia aquello que la desfavorece.

Desde siempre han existido dos brechas en el cuadro epistemológico de la ciencia clásica (*Le Moigne, 1990*). La primera, La brecha microfísica que reveló la interdependencia de sujeto y objeto, la inserción del azar en el conocimiento, la irrupción de la contradicción lógica en la descripción empírica, y la segunda, la brecha macrofísica que unía en una misma entidad los conceptos hasta entonces absolutamente heterogéneos de espacio y tiempo.

El desarrollo de la física, que se ocupaba de revelar el orden del mundo, su determinismo absoluto y perfecto, su obediencia a una Ley única y su constitución de una materia simple (el átomo), se ha abierto finalmente a la complejidad de lo real. El cosmos no es una máquina perfecta, sino un proceso en vías de desintegración y, al mismo tiempo, de organización.

Morín (1995) define la complejidad como un tejido de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados: presenta la paradoja de lo uno y lo múltiple. Al mirar con más atención, la complejidad es el tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones e indeterminaciones y azares, que constituyen nuestro mundo fenomenológico. Se presenta con los rasgos inquietantes del desorden, la ambigüedad y la incertidumbre. Nace ahí la necesidad para el conocimiento, de poner orden en los fenómenos rechazando el desorden, de descartar lo incierto, es decir, de seleccionar los elementos de orden y de certidumbre, de quitar ambigüedad, clarificar, distinguir, jerarquizar.

La dificultad del pensamiento complejo es que debe afrontar lo entramado (el juego de inter-retro-relaciones), la solidaridad de los fenómenos entre sí, la contradicción y la incertidumbre.

Así es que debemos sustituir el paradigma de disyunción / reducción / unidimensionalización por un paradigma de distinción / conjunción que permita

distinguir sin desarticular, asociar sin identificar o reducir, que lleve en sí el principio de la *Unitas Multiplex*, que escapa a la unidad abstracta por el todo (holismo) y por la parte (reduccionismo).

Según Lukács (1954) *“Lo complejo debe ser concebido como elemento primario existente. De donde resulta que hace falta examinar lo complejo de entrada en tanto complejo, y pasar luego de lo complejo a su elemento y procesos elementales.”*

Es evidente que los fenómenos antrosociales no podrían obedecer a principios de inteligibilidad menos complejos que aquellos requeridos para los fenómenos naturales, y en ese sentido resulta obligado acometer el conocimiento de sistemas imbricados en las realidades socioeconómicas como el que nos ocupa, desde la perspectiva de la complejidad.

La complejidad

Surgió en el siglo XX en la micro-física y en la macro-física. La microfísica abría una relación compleja entre el observador y lo observado y la macro-física hacia a su vez depender a la observación del lugar del observador y hacía complejas las relaciones entre tiempo y espacio.

Entre ambas (macro y micro), la ciencia reducía la complejidad fenoménica a un orden simple y a unidades elementales. La estadística permitió tratar la interacción, la interferencia. Se trató de refinar, de trabajar varianza y covarianza, pero siempre de un modo insuficiente, y siempre dentro de la misma óptica reduccionista que ignora la realidad del sistema abstracto de donde surgen los elementos a considerar.

A primera vista la complejidad es un fenómeno cuantitativo, una cantidad de interacciones, interferencias y asociaciones entre un número muy grande de unidades. Pero no solamente comprende cantidades que desafían nuestras posibilidades de cálculo; comprende también incertidumbres, indeterminaciones, fenómenos aleatorios. De este modo la complejidad coincide con un aspecto de incertidumbre, ya sea en los límites de nuestro entendimiento, ya sea inscrita en los fenómenos. Pero no solo se reduce a la incertidumbre; tiene que ver con los sistemas aleatorios cuyo orden es inseparable del azar. La complejidad está así ligada a una cierta mezcla de orden y de desorden, en el sentido del orden/desorden estadístico, donde el orden reina a nivel de las grandes poblaciones, y el desorden reina a nivel de las unidades elementales.

El problema teórico de la complejidad es considerar la complejidad organizacional y la lógica. Lo propiamente científico hasta el presente era

eliminar la imprecisión, la ambigüedad, la incertidumbre y la contradicción. Pero hace falta aceptar una cierta imprecisión y una imprecisión cierta (cuantificable), no solamente en los fenómenos, sino también en los conceptos, y en ese camino uno de los grandes progresos de las matemáticas de hoy es el de considerar los fuzzy sets, los conjuntos imprecisos (Moles, 1990).

Una de las conquistas preliminares en el estudio del cerebro humano es la de comprender que una de sus superioridades es la de poder trabajar con lo abstracto y con lo impreciso.

No podemos escapar a un *principio de incertidumbre* generalizado. Hay una incertidumbre fundamental sobre la relación entre el sujeto y el ambiente, que sólo puede resolverse por una decisión ontológica absoluta sobre la realidad del objeto o del sujeto. Esta fisura ontológica parece aportar la regresión general del conocimiento, la incertidumbre. Pero esta restricción necesaria es un estímulo para el conocimiento. El error ontológico es dejar cerrados los conceptos de base de la ciencia. Hace falta, por el contrario, abrir la posibilidad de un conocimiento a la vez más rico y menos cierto.

Si bien, nuestro aparato lógico-matemático actual es capaz de explicar ciertos aspectos de la realidad fenoménica, no se adapta a los aspectos verdaderamente complejos. *La Teoría de la información, la Cibernética, y la Teoría General de Sistemas* nos hacen interrogar a las ciencias que vuelven a cuestionar el viejo paradigma de disyunción/reducción/simplificación. Como respuesta a esta necesidad, la unidad de “las ciencias” parece evidentemente imposible e incomprensible dentro del marco en el que las grandes disciplinas parecen corresponder a esencias y a materias heterogéneas: lo matemático, lo físico, lo biológico, lo antropológico.

Pero es concebible en el campo de una *physis* generalizada. La incertidumbre, como un concepto inherente a la ciencia y toda pretensión de definir las fronteras de la ciencia de manera segura, es no científica.

Se trata de integrar las realidades ignoradas por la ciencia clásica, de integrar, a lo aleatorio, tanto en su carácter de imprevisibilidad, como en su carácter de evento; Se trata además de localizar de manera estadística, de integrar siempre al ambiente y al sujeto.

En la teoría del pensamiento complejo hay tres principios que pueden ayudarnos a pensar la complejidad. El primero es **el principio dialógico**; *Orden y desorden* son antagónicos: uno suprime al otro pero, al mismo tiempo, en ciertos casos, colaboran y producen la organización. El principio dialógico nos permite mantener la dualidad en el seno de la unidad. Asocia dos términos a la vez complementarios y antagonistas.

El segundo principio es el de **recursividad organizacional**; Un proceso recursivo es aquél en el cual los productos y los efectos son, al mismo tiempo, causas y productores de aquello que los produce. Los individuos producen la sociedad que produce a los individuos. La idea recursiva es una idea que rompe con la idea lineal de causa / efecto, de producto / productor, de estructura / superestructura, porque todo lo que es producido reentra sobre aquello que lo ha producido en un ciclo en sí mismo auto-constitutivo, auto-organizador, y auto-productor.

El tercer principio es el **principio hologramático**; La idea trasciende al reduccionismo que no ve más que las partes, y al holismo que no ve más que el todo. Podemos enriquecer al conocimiento de las partes por el todo y del todo por las partes, en un mismo movimiento productor de conocimientos.

En el conocimiento complejo se distinguen tres etapas:

Primera etapa: Tenemos conocimientos simples que no ayudan a conocer las propiedades del conjunto. Un todo es más que la suma de las partes que lo constituyen.

Segunda etapa: El todo es, entonces, menos que la suma de las partes.

Tercera etapa: El todo es más y, al mismo tiempo, menos que la suma de las partes.

Como en toda organización, las fibras no están dispuestas al azar. Están organizadas en función de una unidad sintética en la que cada parte contribuye al conjunto. Y el conjunto mismo es un fenómeno perceptible y cognoscible, que no puede ser explicado por ninguna ley simple.

La parte y el todo

El reduccionismo ha suscitado siempre, como efecto reactivo, una corriente “holística” fundada sobre la dominación del concepto de globalidad o totalidad; pero siempre, la totalidad no ha sido más que un cajón de sastre que incluía demasiado, sin importar qué contenía, ni como se relacionaba el contenido. Aparece así la necesidad de desarrollar macro conceptos con respecto a las cosas más importantes, y los conceptos no se definen jamás por sus fronteras, sino a partir de su núcleo.

La metodología científica tiende a ser reduccionista y cuantitativa. Reduccionista, porque hace falta llegar a unidades elementales incapaces de ser descompuestas, que son las únicas capaces de ser comprendidas en forma clara y sencilla; cuantitativa, porque esas unidades discretas pueden servir de inputs de base para los cálculos y computaciones de leyes matemáticas que alumbren

explicación a la fenomenología. El principio de simplicidad o bien separa lo que está ligado (disyunción), o bien unifica lo que es diverso (reducción).

Más allá del reduccionismo y del holismo, está la idea de *unidad compleja*, que enlaza al pensamiento analítico-reduccionista y al pensamiento global, en diálogo. Esto significa que si la reducción (la búsqueda de unidades elementales simples, la descomposición de un sistema en sus elementos, el origen de lo complejo en lo simple) sigue siendo un carácter esencial de la ciencia, no es la única posibilidad.

Aceptando que el todo está formado por la parte que está en el todo, lo único posible desde el punto de vista de la complejidad, es tener meta-puntos de vista sobre nuestra realidad. Nunca podremos llegar al metasistema, es decir, al sistema superior. Tanto la lógica de Tarski (1985) como el teorema de Gödel (1929), nos dicen que ningún sistema es capaz de auto-explicarse totalmente a sí mismo ni de auto-probarse totalmente. Los principios del pensamiento complejo, en ese sentido son necesariamente los principios de distinción, conjunción e implicación.

La visión compleja de las ciencias humanas, de las ciencias sociales, implica pensar que hay una realidad económica, por una parte, una realidad psicológica, por la otra, una realidad demográfica más allá, etc. En los sistemas económicos por ejemplo, están las necesidades y los deseos humanos. Detrás del dinero, hay un mundo de pasiones, está la psicología humana. Incluso en los fenómenos económicos en sentido estricto, juegan los fenómenos de la masa. La dimensión económica contiene a las otras dimensiones y no hay realidad que podamos comprender de manera unidimensional. En un sistema económico como sistema no trivial, no conocemos todos sus *inputs*, ni conocemos todos sus *outputs*.

Sistemas complejos

La teoría de sistemas plantea que toda realidad conocida, desde el átomo hasta la galaxia, pasando por la molécula, la célula, el organismo y la sociedad, puede ser concebida como sistema, es decir, como asociación combinatoria de elementos diferentes.

La virtud de esta concepción es:

Haber puesto en el centro de la teoría, con la noción de sistema, no una unidad elemental discreta, sino una unidad compleja, un “todo” que no se reduce a la “suma” de sus partes constitutivas.

Haber concebido la noción de sistema, no como una noción “real”, ni como una noción puramente formal, sino como una noción ambigua; Situarse en un *nivel*

transdisciplinar que permite concebir, al mismo tiempo, tanto la unidad como la diferenciación de las ciencias, no solamente según la naturaleza material de su objeto, sino también según los tipos y las complejidades de los fenómenos de organización.

De la conceptualización de los *sistemas abiertos* se desprenden dos consecuencias capitales; la primera es que las leyes de organización no son de equilibrio, sino de desequilibrio, retomado o compensado, de dinamismo estabilizado. La segunda es que la inteligibilidad del sistema debe encontrarse no solamente en el sistema mismo, sino *también en su relación con el ambiente*. Sostiene Bar-Yam (2003) en su tratado *Dynamics of Complex Systems*, respecto al estudio de los sistemas complejos, que la dinámica de los sistemas se funda en principios universales que se pueden usar para describir los problemas que se presentan desde la física de partículas a la economía de las sociedades actuales.

El conocimiento de un sistema complejo requiere el análisis de tres aspectos de las causalidades:

Primera: la causalidad lineal; tal cosa produce tales efectos.

Segunda: la causalidad circular retroactiva. Puede retroactuar para estimular o hacer disminuir la producción.

Tercera: la causalidad recursiva. Los efectos y productos son necesarios para el proceso que los genera. El producto es productor de aquello que lo produce.

Estas tres causalidades se reencuentran en todos los niveles de organización complejos.

Toda actividad económica como la construcción, está ubicada en un ambiente exterior que se encuentra integrado en un sistema auto-eco-organizado.

La visión simplificada implicaría decir: la parte está en el todo. La visión compleja dice: no solamente la parte está en el todo: el todo está en el interior de la parte que está en el interior del todo. Esto es válido para un sistema económico que tiene sus reglas de funcionamiento y, en cuyo interior, juegan las leyes de la sociedad en su totalidad.

Un **sistema económico** se auto-eco-organiza en torno a su mercado, que es un fenómeno a la vez ordenado, organizado y aleatorio. Aleatorio porque no hay certidumbre absoluta sobre las posibilidades, aunque haya posibilidades, probabilidades esperables. El mercado es una mezcla de orden y desorden. El orden es todo aquello que es repetición, constancia, invariabilidad, todo aquello que puede ser puesto bajo la asignación de una relación altamente probable, encuadrado bajo la dependencia de una ley. El desorden constituye la respuesta

inevitable y necesaria, al carácter esquemático, abstracto y simplificador del orden. Un problema histórico global se plantea entonces: ¿Cómo integrar en los sistemas económicos las libertades y los desórdenes que pueden aportar adaptabilidad, pero también la descomposición y el caos?; Las relaciones en el interior de una organización, de un sistema económico, son complementarias y antagónicas al mismo tiempo.

El sistema “desviación de presupuestos” en tanto que sistema económico auto-eco-organizado, afectado y afectante del comportamiento humano y social en la realidad de la que forma parte y participa, constituye un sistema complejo en sí mismo que puede ser aprendido desde la estadística no métrica, más allá del análisis de las partes con herramientas de control, con la integración de lo simple y del todo, con la determinación de causalidades lineales, retroactivas y circulares.

La disciplina de gestión de proyectos (*Baloi & Price, 2003*), ha asentado su conocimiento en el desarrollo de técnicas y herramientas basadas en modelos estadísticos que conforman la teoría de la decisión, o en suposiciones, reglas generales, experiencias y juicios intuitivos cuando los fenómenos no pueden ser correctamente descritos por modelos prescriptivos o normativos.

Por una parte, el conocimiento basado fundamentalmente en la experiencia individual, necesita ser estructurado y procesado para facilitar el análisis y su incorporación al conocimiento. Estos sistemas humanísticos, que no se caracterizan por su precisión a diferencia de los sistemas mecánicos, han demostrado ser impermeables al análisis matemático y la simulación informática, porque dependen en gran medida del juicio humano y de sus percepciones.

Simultáneamente, otra rama de actividad investigadora sobre la gestión del riesgo, se ha centrado principalmente en las variables fácilmente cuantificables sin considerar que una gran cantidad de problemas de gestión de proyectos no se ajustan a las propiedades de aleatoriedad (son esencialmente cognitivos y por lo tanto no se prestan a una medición precisa), descuidando otros factores importantes.

Existe, pues, la necesidad de combinar ambos modelos prescriptivos y de comportamiento en el modelado y evaluación del sistema “desviación de presupuestos”. Los modelos producidos hasta ahora tienen que complementarse con el fin de dar cuenta de la complejidad y el dinamismo que rodea a los proyectos de arquitectura como sistemas complejos y abiertos.

MODELIZACIÓN HIPÓTESIS

"conocer la naturaleza de una cosa es conocer por qué es"

La investigación, persigue la identificación de los factores causales del sistema complejo de desviaciones de presupuestos, comúnmente relacionados con la aparición en el proyecto de alguna forma de riesgo, identificando las variables y factores latentes que subyacen en el fenómeno; Pretende desde la revisión de la literatura y la obtención del consenso del juicio experto, generar un constructo teórico que pueda ser sometido a la confirmación estadística.

La tesis pretende además formular una modelización del sistema “desviaciones de costes”, que dando explicación al comportamiento del sistema complejo, permita su utilización para minimizar la exposición al sobrecoste en los proyectos de arquitectura.

Revisión de la literatura

Se realiza una revisión bibliográfica en revistas científicas de prestigio, además de una lista de documentos publicados (grey papers) relevantes en el estudio, específicamente en el incremento de presupuestos de proyectos.

El objetivo de la revisión es examinar las investigaciones más recientes, identificando las últimas aportaciones y las carencias en el conocimiento actual.

Esta etapa contribuye además a determinar el contexto de la investigación, posicionando el trabajo en el panorama actual, conceptualización de las áreas de investigación y determinando el foco principal al que se dirige el diseño de la investigación y de la hipótesis específica a confirmar o refutar.

Entre otras, se incluyen revistas como:

“Journal of Construction Engineering and Management”, publicada por la American Society of Civil Engineers, "International Journal of Project Management", “International Journal of Project Management”, “Construction Management and Economics”, “Cost Engineering”, “Journal of Management in Engineering”, “Engineering, Construction and Architectural Management”, “AACE International Transactions”, “Building Design and Construction”, “Engineering Management Journal” “Automation in Construction”, “Building and Environment”, “Construction Law and Business”, “Construction

Procurement”, “European Journal of Operational Research”, “Facilities”, “International Journal of Quality and Reliability Management” “Journal of the Operational Research Society”, “Project Management Journal”, “Research Policy”, “The Cost Engineer”, and “Transport Policy” "Ingeniería, Construcción y Gestión de Arquitectura".

La Distribución de las publicaciones en función de las fuentes resultó como sigue:

Nombre de la publicación	%
Journal of Construction Engineering and Management	26.7
International Journal of Project Management	19.8
Construction Management and Economics	12.9
Cost Engineering	9.9
Journal of Management in Engineering	7.9
Engineering, Construction and Architectural Management	5.0
AACE International Transactions	2.0
Building Design and Construction	2.0
Engineering Management Journal	2.0
Otras	11.8
Total	100.0

Procedencia del autor de las publicaciones por países:

País	%
USA	41.6
UK	10.9
Hong Kong	5.9
Australia	5.9
Canada	5.0
Taiwan	4.0
Suiza	3.0
Nigeria	3.0
Indonesia	3.0
Arabia Saudi	3.0
Jordania	2.0
Singapor	2.0
Otros	10.7
Total	100.0

De la revisión de la literatura se deduce que la generalidad de los trabajos de investigación parten del hecho de que los proyectos son iniciados sobre la atribución de parámetros de entrada en entornos de incertidumbre, esto es, por estimación de los mismos, de modo que dan por supuesto que las variaciones en alguno de los supuestos durante la ejecución dará lugar a cambios del plan del proyecto de referencia (Sun, Fleming, Senaratne, Motawa, & Yeoh, 2006).

La metodología utilizada en los trabajos es variada; Algunos de estos trabajos se apoyan a su vez en el método de revisión de la literatura para la determinación de las causas. Los ejemplos incluyen autores como Baloi & Price (2003), Sun et al. (2006) y Andi (2005).

Un número importante de artículos, recurren al **estudio de caso** en los que los investigadores se concentran en un número reducido de proyectos y llevan a cabo un análisis en profundidad, previa recolección de datos cuantitativos fiables sobre el coste, el tiempo y otras variables, así como sus atributos, de uno o un pequeño número de proyectos. Se pueden extraer conclusiones sobre la base de análisis cuantitativos y en profundidad. Entre otros muchos, Chang P. Y (2004), Wu, Hsieh, & Cheng (2005), Josephson, Larsson, & Li (2002) adoptan esta metodología.

Otro número importante de autores, recurren al método de análisis de registros históricos de documentación y **bases de datos** masivas de proyectos concluidos. El segundo método de investigación, es la revisión de registros de datos de proyectos. La ventaja de este método es que es más objetivo. Sin embargo, los resultados están directamente influenciados por la calidad del registro, esto es, la exactitud e integridad de los datos de los proyectos que se almacenan. Entre otros, Al-Momani (2000) examinó 130 proyectos públicos en Jordania determinando las principales causas de las desviaciones, Hsieh, Lu, & Wu (2004) realizan un análisis estadístico de 90 proyectos metropolitanos de obra pública en Taiwán identificando las relaciones causales. Yogeswaran, Kumaraswamy, & Miller (1998) analizan los registros de datos de 67 proyectos en Hong Kong correlacionando la climatología con una desviación media del 20%, Akinsola, Potts, Ndekugri, & Harris (1997) apoyándose en el análisis de 46 proyectos de construcción ejecutados en el Reino Unido, identificaron y cuantificaron los factores que influyen en las desviaciones presupuestarias, determinando además la frecuencia de afectación.

La tercera práctica más extendida en la literatura es la utilización de encuestas por **cuestionarios** para obtener indirectamente datos que permitan el análisis pertinente. Ejemplos de este método incluyen a autores como Chan & Kumaraswamy (1996) y Frimpong, Oluwoye, & Crawford (2003). Los cuestionarios, presentan la ventaja de que se puede obtener información de un gran número de expertos de modo rápido y eficiente; la obtención de un conocimiento condensado que representa la experiencia del experto, acumulada a lo largo de un amplio tiempo de ejercicio profesional y la información de un gran número de proyectos, frente al inconveniente de la subjetividad. Como ejemplo de la metodología, se puede señalar el experimento de Chan & Kumaraswamy (1996) (1997), que desarrollaron varias encuestas en Hong Kong involucrando promotores, consultores y contratistas sobre las causas de las desviaciones en proyectos. Estudios similares llevaron a cabo Kaming, Olomolaiye, Holt, & Harris (1997) en Indonesia, Frimpong, Oluwoye, & Crawford (2003) en Ghana, y Assaf & Al-Hejji (2006) en Arabia Saudí. Odeh &

Battaineh (2002) también a través de encuesta, determinaron cuáles son las causas más importantes de las desviaciones en los proyectos contratados por adjudicación tradicional. Al-Khalil & Al-Ghafly (1999) ampliaron el alcance de su estudio para incluir tanto la frecuencia y el alcance de las desviaciones en los proyectos, como el estudio de sus causas.

Una variante de la metodología del cuestionario, es la **entrevista estructurada**, que aporta mayor profundidad de información pero que evidentemente reduce el número muestral; entre los autores que la utilizaron encontramos a Ogunlana, Promkuntong, & Jearkijrm (1996), Arain & Pheng (2005), El-Rayes & Moselhi (2001), y Arain & Pheng (2005).

De la revisión bibliográfica realizada, en aras del objetivo de la investigación, se considera necesario abundar en dos aspectos fundamentales; El primero obedece a la necesidad de encontrar las fuentes que establezcan las bases del constructo teórico de la factorización causal, y busca entre los trabajos de investigación más recientes, las taxonomías y relaciones causales descritas. El segundo aspecto profundiza en las diversas técnicas utilizadas para la modelización de los distintos fenómenos económicos de los proyectos, en su mayoría aplicadas para la predicción de desviaciones en fases tempranas.

TAXONOMÍAS

Las taxonomías que encontramos en la literatura, atienden en general a dos grandes categorías; las que clasifican por la procedencia u origen causal y las que las asocian las causas a las categorizaciones comunes para los eventos de riesgo;

Como ejemplos de la primera categoría se encuentran importantes trabajos como el realizado por Chan & Kumaraswamy (1997) en el que se categoriza en cinco grandes constructos:

Un primer constructo que incluye diversas causas originadas con diferentes atributos de **los proyectos**, haciendo especial mención a la singularidad de su alcance, al que frecuentemente se asocia un alto grado de complejidad.

Un segundo constructo que habla de las casusas cuya procedencia puede asignarse al **promotor**, a quien se le atribuye una gran incidencia en fases tempranas de proyecto, especialmente en el periodo de diseño, haciendo especial hincapié en los cambios de diseño que provocan las modificaciones en el alcance del proyecto o la tardía toma de decisiones relacionadas con este.

El tercer constructo tiene una especial relevancia, y así es aceptado en la mayoría de los estudios, habla del **diseño** entendido como la fase de concepción y

redacción de los proyectos técnicos por los que se define el objetivo. En esta categoría se destacan dos variables de especial relevancia, una corresponde a la calidad del proyecto, incluyendo los errores de diseño y las omisiones, y la segunda incide en el factor humano en tanto que dichas omisiones y errores son atribuibles a los equipos de arquitectura e ingeniería.

El cuarto constructo que habla de las causas originadas por **el Contratista**, incluye las circunstancias de complejidad de organización del trabajo que implica la coordinación de muchas actividades interdependientes y de la subcontratación; El contratista principal es responsable de la planificación y la organización de todo el proceso, y una inadecuada gestión implica un alto riesgo de desviación presupuestaria. Entre las variables comúnmente asociadas en este constructo, están la adecuación de la estructura de la organización al proyecto, la capacidad de gestión, o la falta de experiencia (Assaf & Al-Hejji, 2006).

El quinto Constructo integra los **factores ambientales**, y engloba tanto variables físicas relacionados con el sitio (fundamentalmente las condiciones del terreno), como de factores económico sociales. Lo integran factores como las condiciones de mercado, y las regulaciones normativas sobrevenidas o las escaladas de precios relacionadas con condiciones de mercado inflacionistas.

En la misma línea de taxonomización, encontramos autores como Chan & Kumaraswamy (1997) quienes agrupan las causas de la desviación de presupuesto en ocho categorías principales en función del origen causal:

1. Las relacionada con el proyecto
2. Las relacionados con el cliente
3. Las relacionadas con el equipo de diseño
4. Las relacionadas con el Contratista
5. Las relacionadas con los materiales
6. Las relacionadas con el desarrollo del trabajo
7. Las relacionadas con los equipos de producción
8. Las relacionadas con factores externos

Como se observa, las categorías reflejan como origen, tanto la procedencia de la desviación en cuanto al protagonismo de los participantes clave (cliente, diseñador y contratista), como los componentes principales de los proyectos (material, mano de obra y equipo, etc.).

En la taxonomía de Wu, Hsieh, & Cheng (2005), también desde la categorización por origen, se propone una estructura jerárquica o de árbol en la que plantea dos constructos principales y factores derivados; En un primer nivel agrupa todas las causas internas y externas, dividiendo cada uno de los constructos en siete factores como sigue:

1. Factores políticos y económicos
2. Factores naturales
3. Factores ambientales
4. Factores originados por terceros
5. Factores originados por el Promotor
6. Factores originados por los diseñadores
7. Factores originados por el Contratista
8. Otros factores

Cada uno de los factores se subdivide a su vez en variables; Así por ejemplo, divide los factores naturales, en condiciones meteorológicas adversas y condiciones inciertas del subsuelo. Por este método, la subdivisión de cada uno de los factores en distintas variables y subvariables, genera una estructura jerarquizada completa.

Partiendo de los trabajos anteriormente citados, puede generarse una clasificación por constructos origen, en los que quedarían incluidas las causas (variables) más frecuentes de sobrecostos, como sigue:

Constructo relacionado con el Proyecto

- La complejidad del proyecto
- La complejidad de la construcción (la constructibilidad)
- La inadecuada estructura de los equipos de diseño
- La ineficaz coordinación de los equipos de diseño
- La falta de diligencia en la toma de decisiones de los equipos de proyecto
- El lento flujo de información entre los miembros del equipo de proyecto
- La falta de comunicación entre el promotor, consultor y contratista
- Escasas consideraciones de las condiciones del sitio
- Restricciones del sitio
- Disputas y conflictos
- Los retrasos en los suministros de equipos o materiales

Constructo relacionados con el Promotor

- Cambios en el alcance del proyecto
- Cambios en los requisitos del proyecto
- Falta de diligencia de las decisiones del promotor
- Contrataciones poco realistas
- Imposiciones del promotor

Constructo relacionado con el Diseño

- Los Defectos en el diseño
- Los proyectos incompletos
- Las especificaciones inadecuadas
- Los errores y discrepancias en los documentos de diseño
- La deficiente planificación del diseño
- Insuficiente investigación del sitio antes del diseño
- Los cambios de diseño
- Los cambios de diseño en respuesta a las condiciones del sitio
- El retraso en la información de diseño
- La demora de la aprobación de planos
- Los errores y las omisiones en las estimaciones cuantitativas
- La falta de experiencia del equipo proyectista
- Modificaciones de proyecto durante las obras
- Discrepancia entre planos y las condiciones del sitio

Constructo relacionado con el Contratista

- Planificación inadecuada
- Deficiente programación
- Deficiente análisis en la etapa de pre construcción
- La falta de experiencia del contratista
- Deficiente gestión de obra
- Deficiente supervisión y dirección de obra
- El control inadecuado de recursos
- Los cambios en los procesos de construcción
- Mano de obra deficiente
- Los retrasos de los subcontratistas
- Estructura empresarial inadecuada
- Escaso liderazgo y deficiente gestión de recursos humanos

Constructo relacionado con factores exteriores

- Los cambios legislativos
- Cambio de regulaciones y normativas
- La presión política
- Las condiciones imprevistas del sitio
- Las inesperadas condiciones geológicas
- Los desastres naturales
- Los cambios de autoridad política
- Las condiciones climáticas
- Condicionamientos de los residentes locales
- Las presiones de organizaciones ajenas al proyecto

Además de estas completas categorizaciones, se encuentran en la literatura taxonomías mucho más sencillas como la enunciada por Akinci & Fischer (1998), que proponen una categorización basada en tres grandes constructos:

1. La Construcción y sus factores específicos
2. Un Factor ambiental económico y político
3. El factor contractual

O la enunciada por Wilmot & Cheng (2003), quienes reducen a tres los constructos que engloban las variables y dan explicaciones a las desviaciones de costes:

1. Un factor técnico
2. Un factor Psicológico
3. Un factor económico - político

Existen en la literatura otras factorizaciones manifiestamente originales, pero no por ello desdeñables como la que propone Chang (2002), quien investiga las causas de desviaciones de costes en los proyectos de ingeniería, proponiendo una clasificación apoyada en las raíces de los problemas y especialmente en el devengo de las responsabilidades asociadas;

1. Causas indemnizables
2. Causas no excusables
3. Causas excusables

El otro gran grupo de taxonomías que encontramos en la Literatura, lo conforman aquellos trabajos que factorizan las causas atendiendo a la clasificación característica de los riesgos de proyecto y su evaluación (Laufer & Cohenca, 1990).

Por el notorio abundamiento existente en esta línea de trabajo, como se verá a continuación, y siguiendo la línea de investigación planteada por autores como Ashworth & Skitmore (1983), Edwards (1995), Smith & Bohn (1999), y Kim & Bajaj (2000), esta Tesis opta por profundizar en la factorización de las causas de las desviaciones de proyectos, desde un modelo hipótesis, taxomizado por constructos asociados a los riesgos de los proyectos.

FACTORES CAUSALES

En la revisión de la literatura, se incide en la determinación de las causas del fenómeno, que son atribuidas con mayor frecuencia en los trabajos de investigación, como variables determinantes en la aparición de desviaciones de presupuestos.

La mayor parte de los trabajos, utilizando diferentes metodologías y técnicas, generan su hipótesis determinando los factores de crecimientos de costes partiendo del estudio de registros históricos de proyectos concluidos (*Wilmot & Cheng, 2003*), extrapolando los datos de tendencia para predecir las desviaciones en proyectos futuros (*Koppula, 1981*) (*Hartgen, Bowman, & Horner, 1997*). En general, realizan análisis post mortem de proyectos para identificar los parámetros determinantes del resultado de la gestión del presupuesto; proponiendo una mejor gestión de la contingencia de proyecto.

La Literatura muestra una amplia variedad de causas que influyen en la desviación de presupuestos. Algunas variables están íntimamente relacionadas con la gestión de las distintas organizaciones que intervienen en el proceso, mientras que otros están estrechamente relacionados con el desarrollo socio-cultural, entorno económico, tecnológico y político en el que estas organizaciones operan.

A principios de los años 80 aparecen las primeras publicaciones que abordan la cuestión, y así encontramos como *Ashworth & Skitmore (1983)* determinan que las cuatro causas que más influyen en el sobrecoste del proyecto son:

- La disponibilidad de información antes del diseño
- El tamaño de proyecto
- Las condiciones del mercado
- El número de ofertantes en la adjudicación

Años más tarde, *Charles & Andrew (1990)* identificaron los siguientes factores de mayor influencia en los cambios de proyectos causando sobrecoste:

- El tamaño del proyecto
- La diferencia entre las bajas ofertadas en la adjudicación
- El tipo de construcción
- El nivel de competencia de los equipos
- La calidad de la documentación del contrato de adjudicación
- Las relaciones interpersonales de los intervinientes
- La gestión del contratista

Ese mismo año, Yeo (1990) identifica las siguientes causas de los sobrecostos en los proyectos:

- Riesgos externos:
 - Modificaciones en el alcance del proyecto
 - Cambios en los marcos jurídicos, económicos y tecnológicos

- La complejidad técnica del proyecto debido a:
 - El tamaño
 - La duración
 - La dificultad técnica

- El manejo inadecuado del proyecto debido a:
 - El deficiente control de los recursos
 - Los conflictos y malas relaciones laborales
 - La baja productividad

- Las estimaciones poco realistas debido a la incertidumbre

Uno de los primeros trabajos de referencia que aparece en la literatura, es el experimento realizado por Chan & Kumaraswamy (1996), quienes llevaron a cabo una encuesta mediante ítems tipo Likert ² en Hong Kong, involucrando a promotores, consultores y contratistas sobre las causas de las desviaciones en proyectos de arquitectura. Durante el estudio se identificaron 83 variables causales agrupados en 8 factores. Tras el análisis de los datos, identificaron las diferencias en las respuestas obtenidas en función del grupo de pertenencia y generaron una lista de los 20 factores más importantes. Entre las posibles causas de las desviaciones en costes se destacan las más relevantes:

- La Mala gestión de la obra y su supervisión
- Las condiciones imprevistas del terreno
- Demora en la toma de decisiones de los equipos de proyecto
- Los retrasos en el diseño
- Falta de comunicación entre consultor y contratista
- Variaciones de las obras
- Falta de experiencia del Contratista
- Variaciones de requerimientos del promotor
- Los incumplimientos de las subcontratas
- Inadecuada asignación de recursos

² Denominada también método de evaluación sumaria, es una escala psicométrica utilizada en cuestionarios de investigación, por la que se especifica el nivel de acuerdo o desacuerdo con una declaración (elemento, ítem o reactivo o pregunta).

Oberlender & Trost (2001) y Trost & Oberlender (2003) identifican por orden de importancia los seis factores principales que afectan al sobrecoste:

1. El diseño
2. La experiencia del equipo presupuestador
3. El tiempo disponible en redacción del proyecto técnico
4. Los requisitos del sitio
5. La licitación de la obra
6. El clima laboral

Knight & Robinson (2002) seleccionan los ocho eventos de riesgo de proyecto con mayor impacto en las desviaciones de presupuestos:

1. La precisión de la información del terreno
2. Los errores y las omisiones de diseño
3. Cambios del alcance del proyecto por el promotor o los consultores
4. La deficiente comunicación entre el equipo del proyecto
5. La manipulación del promotor
6. La constructibilidad
7. La insuficiencia de recursos del equipo de diseño
8. Adecuación de la empresa contratista y sus subcontratistas

Los autores Frimpong, Oluwoye, & Crawford (2003) identifican en su estudio una amplia lista de variables causales del fenómeno:

- Deficiencia en la planificación y programación
- Las deficiencias en las estimaciones de costes
- Procedimientos de control inadecuados
- Los retrasos en la aprobación de los trabajos
- La demora en la transmisión de información
- Reejecuciones por errores en la construcción
- El flujo de caja durante la construcción
- La capacidad del personal técnico
- Las dificultades financieras del Contratista
- Las bajas de las ofertas en licitaciones
- La deficiente gestión de adquisiciones
- Retrasos en la entrega de materiales y equipos
- La escalada de precios de los materiales
- La escasa diligencia la toma de decisiones
- La Inflación
- Imprevistos de sitio
- Climatología
- Condiciones geológicas inesperadas

Estudios más recientes como el realizado por Shane, Anderson, & Schexnayder (2009) señalan variables causales poco parecidas:

- El sesgo
- El sistema de adjudicación del proyecto
- La deficiente programación
- La constructibilidad
- Las variaciones del alcance del proyecto
- Las modificaciones solicitadas por el promotor
- Las deficientes estimaciones
- La aplicación heterogénea de las contingencias
- Las re-ejecuciones
- Las disposiciones contractuales ambiguas
- Los Conflictos
- Los requerimientos locales
- Los efectos de la inflación
- Las condiciones del mercado
- Los eventos imprevistos
- Las condiciones climatológicas

Además de los reseñados, existen otros estudios similares como los llevados a cabo por Kaming, Olomolaiye, Holt, & Harris (1997) en Indonesia; y Al-Khalil & Al-Ghafly (1999) que ampliaron el alcance de su estudio para incluir tanto la frecuencia y el alcance de las desviaciones en los proyectos, como el estudio de sus causas; Frimpong, Oluwoye, & Crawford (2003) estudiaron las variables causales en Ghana y Assaf & Al-Hejji (2006) hacen lo propio en Arabia Saudí. También a través de encuesta, determinaron cuáles son las causas más importantes de las desviaciones en los proyectos de construcción contratados por adjudicación tradicional, autores como Odeh & Battaineh (2002), Allen et al. (1995); Callahan (1998); Chang (2002); Harbuck (2004); Hufschmidt & Gerin (1970); Mackie & Preston (1998); GAO (1999); Merrow, (1988); Semple, Hartman, & Jergeas (1994); Touran, Bolster, & Thayer (1994); Akinci & Fischer (1998).

Además de las publicaciones en las que se relacionan listados más o menos extensos, encontramos trabajos en la literatura que profundizan en el análisis de algunos **factores causales** relacionados con los riesgos de proyecto, y que por su relevancia merecen la revisión desglosada y en detalle que se relata a continuación.

El PMbok (*Project Management Institute, S.C., 2000*), define el **alcance del proyecto** como el trabajo que debe realizarse para entregar un producto (en este caso la edificación), servicio o resultado con las características y funciones especificadas; La Declaración del Alcance del Proyecto detallada y aprobada, y su EDT asociada, constituyen la línea base del alcance del proyecto a monitorizar y controlar durante todo el ciclo de vida del proyecto. La UNE-ISO 21500 lo define como el grupo de materia que incluye los procesos necesarios para identificar y definir el trabajo y los entregables, y sólo el trabajo y los entregables requeridos.

Puesto que el alcance del proyecto describe el trabajo a realizar en un proyecto, toda estimación de costes dependerá directamente la definición del alcance de dicho proyecto; Así una inadecuada o cambiante definición del alcance del proyecto, resultará una fuente importante de estimaciones incorrectas (*Cowie, 1987*).

Con frecuencia se produce una gran paradoja cuando se compara la importancia que las primeras estimaciones tienen en la transcendencia económica del proyecto, con la cantidad de información de la que se suele disponer (es decir, la definición del alcance) durante la preparación de la estimación económica para el estudio de viabilidad; en consecuencia en fases iniciales, esa indefinición del alcance, conducirá a estimaciones poco exactas que sin embargo serán convertidas en referente como si lo fueran.

La deficiente definición del alcance del proyecto tiene dos implicaciones para la desviación de presupuestos:

- Disminuye la precisión de las estimaciones de costes.
- Potencia los cambios durante la etapa de construcción, conduciendo a un aumento de costes para los promotores y contratistas.

Una deficiente definición del alcance de proyecto, genera además el caldo de cultivo perfecto para la aparición de cambios durante la construcción; las definiciones complementarias realizadas en la fase de obra carecen de solidez y son potencialmente cambiantes. *Cowie (1987)* señala que la mayoría de los crecimientos de los costes durante el período de construcción se derivan del propio crecimiento del alcance del proyecto; dicho crecimiento no suele ir acompañado de una extensión de la fecha de entrega, y por tanto requerirá de un aumento de la intensidad de los recursos por encima del nivel previsto. *Hetland (1994)* indica que esto a menudo conduce a un mayor coste unitario y, por lo tanto, a un coste total del proyecto mayor.

Dysert (1997) mantiene que "*Una pobre definición del alcance del proyecto en la etapa de estimación y la pérdida de su control durante la construcción son los contribuyentes más frecuentes de los sobrecostes*".

Peurifoy & Oberlender (1989) tipifican cuantitativamente la siguiente desviación de los presupuestos en función de la fase en que se realice la estimación asociada al grado de precisión de la definición del alcance de proyecto:

- Las estimaciones realizadas en fase preliminar cuando el alcance del proyecto no incluye la información suficiente para su diseño; La desviación de presupuesto esperable está por lo general en un intervalo del +40 y -10% del coste previsto.
- Las estimaciones realizadas en el inicio de la fase de diseño, con una baja definición del alcance del proyecto; La desviación de presupuesto esperable está por lo general en un intervalo del +25 y -5% del coste previsto.
- Las estimaciones realizadas al final de la fase de diseño, con una concreta definición del alcance; La desviación de presupuesto esperable está por lo general en un intervalo del +10 y -3% del coste previsto.

Un proyecto mal definido implica un alcance escasamente definido, y estará sujeto a cambios a iniciativa del promotor para atender a sus requerimientos, requiriendo trabajo y esfuerzos adicionales respecto de los previstos. Además la deficiente definición constituirá una falta de referencia para la identificación y monitorización de los cambios, de manera que resultará difícil discriminar los que pertenecen al ámbito original del proyecto de los que no (Dumont, Gibson, & Fish, 1997); Estos cambios pueden dar lugar a excesos de costes y a un ambiente propicio a los conflictos.

En relación a la variable recurrente en los trabajos denominada comúnmente cambios de alcance, Ibb & Allen (1995) van más lejos en su estudio de investigación para cuantificar el impacto que tienen los cambios del proyecto en el presupuesto, y definen el cambio del alcance como cualquier acontecimiento que tenga como resultado una modificación del ámbito de aplicación inicial, el tiempo de ejecución o el coste previsto.

Kometa, Olomolaiye, & Harris (1996) consideran que pueden producirse cambios en todas las fases de un proyecto, y centran su investigación en los impactos cuantitativos que tienen los cambios sobre la fase de diseño detallado y la fase de construcción. Además de determinar que su influencia sobre el desempeño económico del proyecto, es muy elevada, indican que una de las principales causas de los fracasos financieros de los proyectos fruto de este factor, está originada por el promotor; aumentando el riesgo y pudiendo provocar tensiones

en el flujo de caja del contratista, además de aumentar el coste real de un proyecto durante la construcción.

Otros autores presentan trabajos en las líneas de argumentación expuestas; Hufschmidt & Gerin (1970); Semple, Hartman, & Jergeas (1994); Touran, Bolster, & Thayer (1994); Allen et al. (1995); Callahan (1998); Mackie & Preston (1998); GAO (1999); Chang (2002); Harbuck (2004); En general, se comprueba en la literatura la asociación de las variables incluidas en el factor alcance del proyecto, a un origen común procedente de la intervención del promotor y en esa línea, podrían agruparse dentro del factor latente las variables más frecuentes en la literatura como se refleja a continuación:

VARIABLES RESEÑADAS EN EL FACTOR CAUSAL ALCANCE DEL PROYECTO/CLIENTE

- Modificación del alcance - objeto
- Decisiones inadecuadas- falta capacidad promotor
- Imposición plazos
- Indefiniciones del alcance - objeto
- Deficiente gestión Promotor
- Escasa diligencia en las decisiones del promotor

Diseño- Proyecto

En este factor latente, se incluyen variables asociadas con **el diseño**, entendido como el proceso de definición en todos sus niveles, del objeto futuro a construir atendiendo a los requerimientos (técnicos, y económicos) y a las necesidades y expectativas planteadas por el cliente. Por lo general se entiende el término diseño vinculado a los distintos proyectos técnicos que recogen las definiciones y especificaciones que posibilitan y guían la construcción del objeto del proyecto.

Existen en la literatura una gran diversidad de estudios que atribuyen a la calidad de los proyectos técnicos (instrumentos del diseño) un papel influyente en las desviaciones de presupuesto; Muchos autores como Barrie & Paulson (1992) sostienen que el diseño de proyecto tiene un alto nivel de influencia sobre los costes del proyecto, y que el desempeño insatisfactorio del diseño puede conducir a la superación del presupuesto. Anderson & Tucker (1994), en su trabajo, determinaron que alrededor de un tercio de los proyectos de arquitectura, sobrepasan el coste y el plazo previsto por causas imputables al diseño. Bramble & Cipollini (1998) señalan que muchos de los problemas de la construcción que provocan desviaciones de costes, se deben a defectos del proceso de diseño. El diseño tiene un alto nivel de influencia sobre los costos del

proyecto; un desempeño insatisfactorio del diseño a veces puede conducir a la superación de costes (Barrie & Paulson, 1992).

La investigación realizada por Chang (2002) corrobora la afirmación realizada por Smith (1996), que postula la escasez de casos en los que los diseños son lo suficientemente completos como para permitir la construcción del objeto del proyecto, siguiendo exclusivamente las especificaciones contenidas en los documentos originales de los proyectos técnicos.

Algunos autores, alcanzan a cuantificar el problema, y así Bresnen et al. (1988) utilizando la técnica de cuestionario, determinan que en su muestra de estudio, tanto como el 40% de los proyectos, sufrieron desviación presupuestaria producida por variaciones del diseño, o trabajos adicionales no contemplados en el diseño original; De acuerdo con Bubshait et al. (1999), las desviaciones de diseño producidas por una deficiente calidad del proyecto técnico, representan aproximadamente el 60 % de las desviaciones de los proyectos y suponen una desviación económica media de casi el 10 % de los presupuestos; El estudio realizado por Cox, Rogerson, & Jared (1999) revisa las causas y efectos de cambios en el diseño de un proyecto de construcción y Love et al. (2000), crean un modelo que simula las causas y los efectos de los errores de diseño.

Si aceptamos la afirmación de Tilley, McFallen, & Tucker (2000), quienes sostienen que la calidad de la documentación de los proyectos técnicos ha caído alarmantemente en los últimos 15 a 20 años, comprenderemos la cuestión de que en la actualidad, muchas organizaciones liciten proyectos importantes tan solo con bocetos, o con documentación incompleta, transfiriendo por vía contractual, los riesgos de desviación de costes al contratista (McLennan & Jorss, 2006).

Otra variable relacionada con el diseño, y de abundante referencia por los autores es la **constructibilidad** del proyecto, definida como el grado en el que el diseño del proyecto facilita su construcción, pero también entendida más allá del diseño como su factibilidad de construcción; El término incluye la facilidad y la eficiencia con la que las edificaciones concebidas en los documentos de proyecto, pueden ser construidas como reflejo de la calidad de los documentos de diseño y la integración de los procesos de construcción necesarios de principio a fin, con la inclusión de los obstáculos para reducir o prevenir errores, retrasos y sobrecostes antes de su ejecución.

La constructibilidad queda referida a dos aspectos fundamentales:

- la medida en que el diseño del edificio favorece la facilidad de construcción, sujeto a los requisitos generales del proyecto.
- la integración efectiva y oportuna de los conocimientos de la construcción en las operaciones de planificación, diseño, adquisiciones,

equilibrio de las restricciones ambientales y construcción, para la consecución de los objetivos generales del proyecto en el mejor tiempo posible y con la máxima rentabilidad.

Son muchos los autores que destacan la importancia de realizar una evaluación metodológica de constructibilidad y su relevancia en el adecuado desempeño económico del proyecto (Hufschmidt & Gerin, 1970) (Touran, Bolster, & Thayer, 1994) (Allen., Booz., Hamilton., & Incorporated., 1995) (Glavinich, 1995) (GAO, 1997) (Callahan, 1998) (GAO, 2003). En resumen, se comprueba en la literatura la asociación de las causas incluidas en el factor latente diseño del proyecto, pudiendo agruparse las variables más frecuentes como se refleja a continuación:

Variables reseñadas en el Factor causal PROYECTOS TÉCNICOS - DISEÑO

- Defectos e infra definición de diseño
- Defectos mediciones
- BD inadecuadas (imágenes de referencia)
- Discrepancias entre documentos de diseño
- Cambios de diseño
- Olvidos
- Complejidad de la construcción y constructibilidad

Entrega de proyectos y gestión

Existen diferentes sistemas de entregas de proyectos de los que se derivan afectaciones en el estudio de la desviación de presupuestos. Los diversos sistemas de entrega de proyectos en la actualidad, son fundamentalmente evoluciones de procedimientos tradicionales utilizados desde la revolución industrial, cuando se inició la tendencia de especialización de las organizaciones profesionales (Pakkala, 2002).

El Project Management Institute define en su guía PMBOK® (Project Management Institute, S.C., 2000) los principales sistemas de entrega de proyecto en función de la aparición y secuencia de las diversas fases o etapas de un proyecto de construcción; El design-bid-build (DBB) y el design-build (DB):

En el sistema de entrega denominado **DBB** (diseño – licitación – construcción), el promotor o su agente genera un conjunto de documentos técnicos y especificaciones con el suficiente detalle que todos los contratistas puedan tener el necesario conocimiento del proyecto que deben ofertar; El contrato se adjudica en el proceso de licitación a la mejor oferta presentada, quien construirá la edificación objeto del proyecto (Ilustración 13).

Este sistema ha sido el procedimiento habitual durante muchos años y puede ser considerado como el más tradicional. Fue desarrollado durante la revolución industrial y dio lugar a la creación de movimientos especializados de profesionales de arquitectura, ingeniería y constructoras. En este sistema, recaen en el promotor la mayor parte de los riesgos.

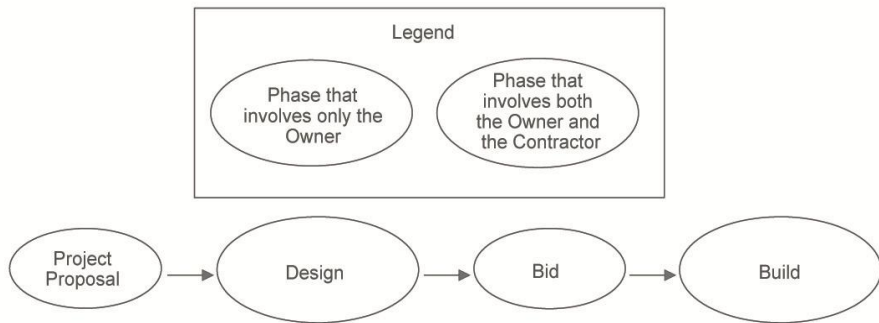


Ilustración 13: Entrega de proyectos DBB (diseño – licitación – construcción)
Fuente: PMbok

Por el sistema de entrega denominado **DB** (diseño – construcción), el promotor o su agente genera diseño parcial y/o un conjunto de especificaciones estéticas y funcionales con los que se contrata los servicios de un contratista para completar el diseño y proceder a la construcción del proyecto. En este sistema, gran parte del diseño se realiza en el curso de la construcción. Otras variantes de este sistema, incluyen además de la construcción, la puesta en marcha y/o la explotación, o combinaciones de estas fases (Ilustración 14).

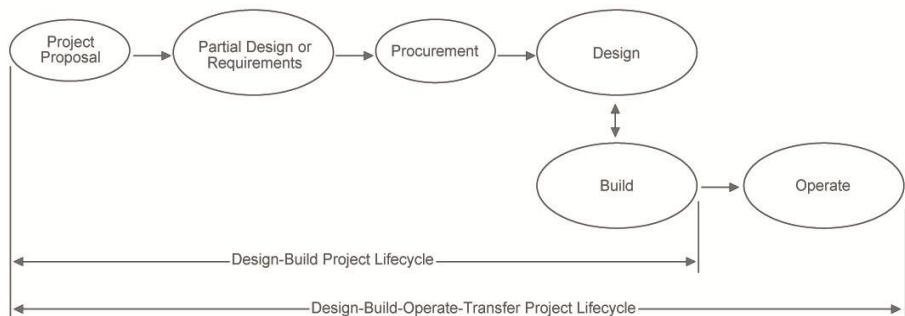


Ilustración 14: Entrega de proyectos DB (diseño – construcción)
Fuente: PMbok

La complejidad de los proyectos iniciados en los últimos años, ha hecho necesario la búsqueda de sistemas alternativos que den satisfacción a los intereses cruzados de los múltiples agentes intervinientes (Pakkala, 2002), pudiendo encontrar otras alternativas.

Estos intentos de dar solución a los nuevos retos y necesidades, han generado una proliferación de diversos sistemas alternativos de adquisición de proyectos que se caracterizan por:

- La división de un gran proyecto de construcción en paquetes de trabajo de diseño, gestión, construcción y control
- La selección de los equipos y subequipos de proyecto
- La diferenciación de las funciones de diseño, construcción, control y gestión
- La distribución de los riesgos que se refleja en diversas condiciones de contrato
- Nuevas formas de pago

Generando nuevos modelos de adquisición como los siguientes:

Diseño-Construcción-Operación-Mantenimiento (DBOM): Se trata de un procedimiento de entrega de proyectos en el que el promotor / cliente selecciona una organización que se crea para el diseño, construcción y mantenimiento del proyecto, bajo los parámetros de funcionamiento hasta un plazo acordado.

Design-Build-Finance-Operate (DBFO): Este método de entrega del proyecto es similar a DBOM, salvo que el contratista también es responsable de la financiación del proyecto, y asume los riesgos de financiación hasta el final de la vigencia del contrato.

Construcción-Propiedad-Operación y Transferencia (BOOT): Este procedimiento de entrega de proyectos es similar a DBFO, excepto que hay una transferencia real de la propiedad. El contratista es responsable del diseño, la construcción, el mantenimiento, el funcionamiento y la financiación del proyecto.

Gestión de la Construcción (CM): Es un proceso similar al modelo tradicional DDB, siendo una modalidad de la contratación “por administración” practicada con frecuencia en el pasado; El promotor / cliente es único responsable del diseño, la licitación y la construcción del proyecto. Sin embargo la responsabilidad de la administración, la organización y la gestión de la construcción es asumida por una organización que actúa en el día a día, y asume la función de asesoramiento al propietario / cliente.

Gestión de la Construcción - At RiskAdvisor (CM - En riesgo): En este escenario, el promotor / cliente tiene un acuerdo con un gestor director de obra, quien administra el contrato con el consultor de diseño y el contratista general. En este modelo, el gestor asume muchos de los riesgos del proyecto, lo que diferencia a este modelo del CM y DBB, en lo que la mayor parte del riesgo recae en el Promotor.

O & M (Operación y Mantenimiento): Se trata de un método de entrega en la que el promotor / cliente se asegura los trabajos de operación y mantenimiento de un proyecto bajo un acuerdo a partir de un único proveedor, por lo general el contratista.

Llaves en mano: Es un sistema basado en un acuerdo de precio fijo para la totalidad de los trabajos de un determinado proyecto; Cualquier cambio en el contrato debe ser acordado por ambas partes, y por lo general se describen bajo estrictas órdenes de cambio.

Estos diferentes sistemas de entregas de proyectos, implican asociaciones de modelos de retención – transferencia de responsabilidades, que perfilan de modo diverso los efectos del factor latente en el fenómeno de la desviación presupuestaria. En el contrato tradicional por ejemplo, la mayoría de la superación de costes es soportada por el promotor, mientras que en los contratos llaves en mano, el riesgo de un pobre desempeño es transferido al contratista (Langford, Kennedy, Conlin, & McKenzie, 2003).

Zaghoul & Hartman (2003) señalan que los nuevos modelos de entregas de proyectos siguen fundados en gran medida, en la satisfacción del el auto- interés de cada interviniente. Las actitudes que se imponen en las relaciones entre los actores son defensivas puesto que estos sistemas apoyan la motivación para el cumplimiento de los objetivos, en las retribuciones o penalizaciones mediante los sistemas de primas (bonus) y penalizaciones por incumplimiento. La atmósfera generada por este tipo de relaciones no es la propicia para la cooperación entre las partes (Hartman F. T., 2000).

Como se señalaba, los diferentes sistemas de entregas de proyectos, que implican diversos modelos de retención – transferencia de responsabilidades, perfilan de modo notable los efectos del factor latente en el fenómeno de la desviación presupuestaria.

Sirva como ejemplo para corroborar la afirmación, el trabajo realizado por Langford et al. (2003), quienes investigaron la evolución de los costes en once proyectos con diferentes sistemas de adquisición en el Reino Unido, entre 1990 y 1995. Cinco de estos proyectos se llevaron a cabo por el método tradicional de diseño, licitación, y construcción (DBB). Otros Cinco fueron contratados llaves en mano, y uno de ellos se adjudicó mediante el sistema “por administración”. Los resultados de sus análisis revelan que los proyectos con entrega “llaves en

mano” o precio alzado, tuvieron un 11% menos desviación presupuestaria que el resto, y que tienen mayor tendencia a ser completados dentro del presupuesto con menor carga de gestión por parte del promotor, mejorando además el clima de relación cliente-constructor.

Encontramos publicaciones con conclusiones encontradas al respecto, así Lam, Chan, & Chan (2008), evaluaron el éxito del desempeño de diversos proyectos en el área de Hong Kong mediante la determinación de un índice de las variables clave del proyecto de tiempo, costo, calidad y funcionalidad, encontrando que los proyectos realizados por el sistema de entrega Diseño y Construcción (DB), superaron los obstáculos inherentes al sistema tradicional de diseño, licitación, construcción (DBB), y ofrecieron tasas mayores de éxito en los indicadores seleccionados para el análisis.

Es importante resaltar que por lo general, los autores que identifican y tratan la entrega de proyectos como factor causal, no aíslan la cuestión, sino que la asocian el comportamiento de la variable con la propia gestión del proyecto, en tanto que los diferentes modelos de entrega implican distintos modos de gestión, formas de coordinación, de planificación, programación, y de control (Touran, Bolster, & Thayer, 1994) (Callahan, 1998) (Chang A. S.-T., 2002), y en esa línea, podrían agruparse dentro del factor latente las variables más frecuentes en la literatura como se refleja a continuación:

Variables reseñadas en el Factor causal ENTREGA DE PROYECTO Y GESTIÓN

- Aprovechamientos o contrataciones inadecuadas
- Gestión inadecuada
- Falta de capacidad o escasez de recursos
- Procedimientos inadecuados
- Deficiente coordinación de interesados
- Defectuosa o insuficiente planificación
- Defectuosa o insuficiente programación
- Falta control / seguimiento planificación
- Falta de estudios previos
- Deficiente control económico

Licitación Adjudicación

Son muchos los investigadores que han abordado la influencia de la licitación y adjudicación en el resultado económico de los presupuestos, en especial los procesos de selección de las ofertas competitivas para la construcción de los proyectos. Prácticamente todos coinciden en que la elección del sistema de licitación, junto con los procedimientos de selección de oferentes, condicionan el

nivel de competitividad que se genera en el seno de la adjudicación, y afecta tanto al número de ofertantes como a su cualificación para la construcción concreta; Así por ejemplo, los procedimientos de licitación selectiva por invitación resultan más restrictivos que los sistemas abiertos, reduciendo el número de ofertantes, pero al tiempo elevan la cualificación de los participantes, fruto del proceso preselectivo que ejerce la invitación a la oferta.

Aparecen en el análisis de este factor latente, dos escenarios claramente diferenciados, uno corresponde a los proyectos promovidos por agencias o administraciones públicas, y el otro bien distinto, el que conforman las adjudicaciones de contratos de proyectos en el ámbito privado. El primero, en aras de la transparencia de las cuentas públicas, queda siempre sometido a regulaciones normativas más o menos estrictas que conducen el proceso licitador y adjudicador. Las licitaciones en el sector público, gozan de una larga experiencia y tradición, en especial en lugares como el Reino Unido. Sus orígenes se remontan al S.XIX (Powell C. G., 1980) y surgen como respuesta a la insatisfacción con el sistema entonces vigente de “medida y valor”, por el que la Administración pública, pagaba directamente el trabajo realizado por los distintos oficios intervinientes en el proyecto. En el segundo escenario, el del ámbito privado, la flexibilidad de los procedimientos queda solo sometida a la autolimitación y a la legislación mercantil de afección.

Por lo general, los promotores privados tienden a poner más énfasis en el precio más bajo en relación a las garantías ofrecidas, esto es, la mejor relación calidad-precio, mientras que las agencias públicas tienen como premisa en sus adjudicaciones, la rendición de cuentas de fondos a la intervención pública y la imparcialidad con los contratistas (Khosrowshahi, 1999).

La variable causal más comúnmente abordada en la literatura, dentro del factor latente, es sin duda la baja de adjudicación respecto del presupuesto de licitación del contrato. Las selecciones de contratistas basadas exclusivamente en el precio de oferta más baja, sin la debida consideración a los atributos de capacitación y competencia, es considerado como uno de los factores causales más relevantes en el fenómeno estudiado. Sus nefastas consecuencias, han llevado a la creciente toma de conciencia de la necesidad de incorporar en las metodologías del proceso selectivo, parámetros ajenos al precio. Así ha sido documentado en múltiples investigaciones (Schexnayder & Ohrn, 1997) (Arditi & Yasamis, 1998) (Kumaraswamy & Walker, 1999) (Palaneeswaran, Kumaraswamy, & Tam, 1999).

La intensidad de la competencia de precios entre los constructores fomenta la presentación de ofertas con importantes bajas, en aquellas licitaciones en las que el precio es la cuestión discriminante, con el consabido riesgo de que “lo barato resulte finalmente caro”; Un precio de contrata bajo puede resultar atractivo para el promotor, pero es posible que en el proyecto surjan problemas y el contratista no pueda cumplir con sus compromisos de coste y plazo, e

incluso que afecte a la calidad de la construcción en el intento de reducir el coste (Mahdi, Riley, Fereig, & Alex, 2002). La adjudicación de un contrato de construcción al mejor postor sin tener en cuenta otros factores, puede dar lugar a la superación de los costes, retrasos y escasez de calidad (Crowley & Hancher, 1995).

Pakkala (2002) indica que si bien los procesos de licitación en los que se prima las ofertas bajas, son los más sencillos puesto que sus adjudicaciones pueden ser justificadas cuantitativamente, de forma objetiva, imparcial y no discutible, sin embargo su proliferación no propicia el ahorro a largo plazo. Además identifica algunas de las ventajas competitivas de los constructores, que los promotores deberían primar en sus licitaciones:

- Capacidades técnicas
- Habilidades personales en el manejo de recursos humanos
- Capacidad de gestión
- Control de la cadena de suministro
- Metodología
- Sensibilidad ambiental
- Experiencia en proyectos similares
- Referencias pasadas de otros promotores

Existen además herramientas, que posibilitan objetivar la evaluación de estos y otros atributos en los procedimientos de adjudicación, en aras de evitar el menoscabo de la imparcialidad, que parece haber estado atribuida como patrimonio exclusivo, a la evaluación cuantitativa de las ofertas económicas. Técnicas como el análisis jerárquico (AHP) permiten en la comparación de ofertas competitivas, la sistematización de la evaluación objetivada de las alternativas presentadas en función de criterios y subcriterios previamente precalificados.

En la actualidad, comienza a ser extensiva la práctica de precalificación a partir de estándares que los promotores establecen para la convocatoria de ofertas, especialmente en los contratos de agencias públicas, quienes tienen su propio y específico protocolo de preselección (Tran, 2002). Estos procedimientos en general incorporan cinco fases comunes en el proceso (Hatush & Skitmore, 1998):

1. Distribución de paquetes de contratación
2. Invitación a oferentes
3. Pre-calificación
4. Preselección
5. Evaluación de ofertas

Una interesante alternativa a la preselección propuesta por Wang (2002), consiste en la determinación de un precio máximo o coste del proyecto objetivo, para usarlo como umbral o punto de referencia para evaluar las ofertas antes de la preselección de las convocatorias públicas. El problema de este procedimiento para los promotores es establecer un precio máximo que sea lo suficientemente bajo para satisfacer sus intereses de ahorro de costes, pero lo suficientemente altos para que la licitación no quede desierta.

Sin duda, la variable más condicionante en este factor latente, es la relación entre la baja de adjudicación y el presupuesto de contrato, especialmente en situaciones de mercados poco activos con escasa demanda de contratistas, en los que los oferentes tienden a proponer ofertas insosteniblemente bajas para obtener contratos que les sufraguen sus costes de estructura, ignorando los riesgos del proyecto. Williams, Miles, & Moore (1999) demuestran que existe una relación sistemática entre las bajas ofertas y el coste final del proyecto en sus proyectos analizados en Gran Bretaña, de manera que a medida que la magnitud de la baja de oferta se incrementa, aumenta el porcentaje de desviación del coste resultante respecto del presupuesto original de contratación.

Amén de lo referido, no pueden olvidarse dentro del factor, otras variables que aparecen en las diversas prácticas existentes para la selección de contratistas, como refleja la literatura (Russell, Hancher, & Skibniewski, 1992) (Holt, Olomolaiye, & Harris, 1993) (Holt, Olomolaiye, & Harris, 1994) (Rankin, Champion, & Waugh, 1996) (Russell, 1996) (Hatush & Skitmore, 1997) (Kumaraswamy, 1997) (Kumaraswamy & Walker, 1999) (Palaneeswaran & Kumaraswamy, 2000), pudiendo agruparse dentro del factor latente las variables más frecuentes en la literatura como se refleja a continuación:

Variables reseñadas en el Factor causal LICITACIÓN Y ADJUDICACIÓN

- Baja actividad del mercado (oferta/demanda)
- Bajas de adjudicación excesivas o temerarias
- Capacitación y experiencia del contratista
- Estructura inadecuada del contratista al proyecto
- Cambio del proceso constructivo
- Deficiente mano de obra
- Deficiente análisis etapa pre construcción
- Retrasos y deficiencias de subcontratistas
- Reejecuciones por calidad
- Falta experiencia/capacidad equipos
- Falta de motivación y liderazgo
- Deficiente planificación y programación construcción

Los contratos de obras, materializan por escrito los acuerdos convenidos y firmados por las partes contratantes, por los que se obligan voluntariamente a hacer o a pagar adecuadamente a las cláusulas contractuales.

En el contrato, las obligaciones y responsabilidades de cada parte contratante deben asignarse de manera clara, a través de las condiciones especificadas en su clausulado; Se evidencia que una deficiente definición de los riesgos que asume cada una de las partes contratantes, genera mayores posibilidades de reclamaciones y controversias evitables (McGowan, Malcom, Horner, Jones, & Thompson, 1992) (Fisk, 1997) (Kumaraswamy, *Common Categories and Causes of Construction Claims*, 1997). No obstante, la imposibilidad de determinar a priori en el momento del contrato, todas las eventualidades susceptibles de ocurrencia en materia de riesgos, hace que un lenguaje claro en el clausulado no sea suficiente para especificar con nitidez el reparto de riesgos entre las partes contratantes; las cláusulas del contrato pueden ser interpretadas de diferentes maneras por las partes (Hartman, Snelgrove, & Ashrafi, 1997).

Lo habitual, es que los promotores seleccionen la modalidad de contrato en función de sus intereses, determinando así la medida de los riesgos que asumen para sí mismos, o que transfieren a otros intervinientes (Zaghloul & Hartman, 2003); En función de la situación, establecen la distribución de asignaciones para reducir su propio riesgo (Gransberg & Ellicott, 1997).

Zaghloul & Hartman (2003) señalan la correlación existente entre una adecuada distribución del riesgo en los contratos de construcción y un adecuado desempeño del presupuesto del proyecto, y Carmichael (2000) identifica la conveniencia de una perfecta definición del proyecto y sus riesgos asociados, al margen de cuál sea la distribución establecida finalmente en el contrato; si los promotores persiguen el objetivo, el beneficio redundará en la totalidad de intervinientes al margen de cuál sea la transferencia de responsabilidades establecida finalmente.

Uff & Odams (1995) ponen en evidencia como los promotores raramente analizan y cuantifican los riesgos del proyecto, y como este desconocimiento dificulta que establezcan estrategias de contratación que redunde en sus propios intereses por derivación de responsabilidades hacia los contratistas. Langford et al. (2003) consideran que estas tácticas basadas en técnicas pueden aportar un gran valor a los resultados de los promotores.

La transferencia y limitaciones de responsabilidades por el clausulado de los contratos de obra, ha sido distinguida en la literatura, como una de las variables de influencia en la desviación de presupuestos, como así lo indican autores como Khan (1998) ó Zack (1997) en sus estudios.

En cualquier caso, cuando los riesgos son transferidos puede lo normal es que este se proteja en su prevención, y para ello puede disponer de dos opciones, la primera es controlarla mediante el aseguramiento, la segunda es protegerse mediante la adición de un amortiguador económico a su precio de oferta (Jergeas & Hartman, 1994), de modo que lo que se produce no es una mejora en la condiciones reales para el control del presupuesto, sino una mera transferencia de imputación. Un estudio realizado por De Neufville & King (1991) en los EE.UU. cuantificó en una media del 3%, los buffers que los contratistas añaden a sus ofertas cuando las circunstancias de necesidad les obligan a ofertar proyectos con riesgos. Otro estudio similar realizado en Canadá por Zaghoul & Hartman (2003) calcula entre un 8 y 20% los amortiguadores de contingencia añadidos a las ofertas de los contratistas en función de las condiciones de necesidad de trabajo, tipo de contrato, el nivel de definición del diseño y la complejidad técnica.

Chang (2007) con el objeto de mejorar el desempeño de costes de los proyectos, propone dos principios para la selección del sistema de contratación:

- 1.- Puesto que las tres tipologías generales de sistemas de contratación son diferentes en términos económicos, su selección debe realizarse en función del tipo de gestión de proyecto que vaya a realizarse.
- 2.- Ningún sistema de los tres sistemas tiene alguna ventaja intrínseca o absoluta sobre los demás, por lo que la estrategia de contratación, debe responder a los atributos del proyecto, con el objeto de establecer un entorno contractual coherente con el mismo.

Ive & Chang (2007) proponen el “principio teórico de la trinidad inconsistente”, por el que el promotor deberá ineludiblemente optar por el sistema de contratación atendiendo a las siguientes condiciones:

- 1.- La finalización más rápida del proyecto y por lo tanto mayor valor actual neto del proyecto.
- 2.- La menor vulnerabilidad de las previsiones de coste con el nivel de especificación disponible.
- 3.- La menor vulnerabilidad del desempeño de costes en relación a los conflictos y controversias en la interpretación de atribución de responsabilidades económicas.

Otros autores como Callahan (1998) y Chang (2002), tratan también la transferencia de responsabilidades y su influencia en el desempeño de costes, y extienden sus consideraciones a la subcontratación (conviene considerar el gran peso de su presencia; Una proporción de hasta el 90% de las actividades de

construcción pueden ser sub-contratadas en un proyecto, por lo que es importante profundizar en la cadena de suministro). Harbuck (2004) destaca que aunque la subcontratación tiene grandes ventajas, su presencia conlleva para el promotor, riesgos adicionales a los contraídos con la selección del contratista principal; cualificación técnica, la puntualidad, la fiabilidad y la capacidad financiera (CII (Construction Industry Institute), 1989).

En general, se comprueba en la literatura la asociación de las variables incluidas en el factor Contratación, a un origen común procedente de la intervención del constructor y su relación con el promotor; En esa línea, podrían agruparse dentro del factor latente las variables más frecuentes en la literatura como se refleja a continuación:

Variables reseñadas en el Factor causal CONTRATACIÓN

- Disputas/Conflictos
- Toma de decisiones inadecuada
- Retrasos en la cadena de suministros
- Falta comunicación e información intervinientes
- Falta de coordinación interesados
- Falta de compromiso

Socioeconómicos

Uno de los factores latentes recurrentes en la literatura, acoge variables de lo más diverso, relacionadas con el entorno social, económico y jurídico en el que se desarrolla el proyecto.

La variable más frecuentemente estudiada, incluida en este factor latente, es sin duda la inflación, que como se ha delimitado ya puede considerarse característica de otro fenómeno con naturaleza propia analizado en la literatura, al que se le atribuye la denominación de “escalada de costes”. No obstante, conviene traer aquí su revisión por la fuerza de su afectación en determinadas áreas geográficas y porque algunos autores la elevan a categoría general. En esa línea, Kayode (1979) sostiene que la desviación de los presupuestos de los proyectos es causada en gran parte por el análisis deficiente de la información disponible en las fases de estimación, y por la inflación. Así mismo, Akinci & Fischer (1998) defienden que la inflación es en gran medida la causa de los sobrecostes experimentados por los proyectos.

Llama la atención la divergencia de conclusiones que se evidencia en los diferentes estudios, encontrando trabajos que destacan la variable inflación como el primer factor causal por la magnitud de sus consecuencias, y otros que

ni tan siquiera la mencionan. Conviene hacer notar, que los primeros, corresponden por lo general a estudios realizados en países subdesarrollados o en vías de desarrollo (en especial en África), y muchos proyectos se incluyen en programas internacionales de inversión en desarrollo, promovidos por agencias internacionales sin ánimo de lucro. Parece pues evidenciarse una correspondencia entre la indicación de la variable en los trabajos y los atributos, tanto geográficos como el de tipología de promotor de los proyectos analizados.

Otra variable causal, la conforman los cambios de las condiciones de mercado después de la fase de diseño (Arditi, Tarim Akan, & Gurdamar, 1985). Su declive puede afectar a las circunstancias de licitación y reducir el número de oferentes, afectar a la fuerza de trabajo disponible o a otros elementos relacionados. Weverbergh (2002) atribuye la causalidad a la falta de información de las condiciones de mercado, puesto que en tales circunstancias, se hace difícil disponer de los datos antecedentes de coste necesarios para concretar las estimaciones en fase de presupuesto.

En las publicaciones de los últimos años, toman fuerza dos variables incluidas en el factor socioeconómico, que aparecen bien dissociadas, bien de modo conjunto, y que hablan de factores psicológicos que intervienen en la fase e estimaciones del presupuesto, y que condicionan su redacción; El **optimismo interesado** y el **sesgo estratégico**. El primero, exento de intencionalidad, genera un sesgo en la estimación impulsado por la subconsciente voluntad, tanto de los promotores como de los estimadores, por lograr encajar el proyecto en el margen de recursos económicos disponibles, de manera que, la redacción del presupuesto es apoyada en las hipótesis más favorables de las probabilidades, lo que generará sin duda, que el resultado de la previsión económica, se encuentre siempre en el extremo de menos valor del intervalo de lo posible. Por el contrario, el sesgo estratégico, cargado de intencionalidad y próximo al fraude, suele ser inducido por los promotores de agencias estatales, para infravalorar el montante económico del proyecto, y conseguir su aprobación gubernamental en los presupuestos públicos. En ocasiones ambos sesgos pueden superponerse en el mismo proyecto, potenciándose mutuamente y produciendo resultados de desviaciones extraordinarias.

Autores de peso como Flyvbjerg, Holm, & Buhl (2002) sostienen que en último término, la precisión de las estimaciones que sirven de base para el cálculo del presupuesto de licitación, conforma la causa principal de los cambios de proyecto y por tanto, de las desviaciones de coste, y que un sesgo en la determinación de estas estimaciones, se convierte por solidaridad causal en un factor de primer orden; Una estimación sesgada en una fase inicial de proyecto generará diferencias notables entre el presupuesto previsto y el coste producido, extendiéndose los efectos de desviación, incluso a áreas específicas del proyecto que no hubieren sufrido ningún proceso de cambio (Hester, Kuprenas, & Chang, 1991).

La influencia del sesgo en estas deficientes estimaciones, induce a errores generales, a omisiones y a infravaloración tanto de cantidades programadas, como de precios unitarios de adquisición de los recursos necesarios para la consecución del proyecto (Arditi, Tarim Akan, & Gurdamar, 1985) (Allen., Booz., Hamilton., & Incorporated., 1995) (Chang A. S.-T., 2002).

En contra, autores de notable prestigio como Love, Edwards, & Irani (2012), defienden que asumir que el sesgo generado en las estimaciones del presupuesto debido al optimismo interesado es la principal variable causal en las desviaciones de presupuesto y que es una tendencia sistemática, menosprecia la complejidad subyacente asociada con el proceso de diseño, presupuestación y construcción.

Otros plantean que esa complejidad no debe menospreciar otros factores que contribuyen a los excesos de presupuestos, como los reprocesos por infracalidad, las órdenes de cambio, la inflación, las alteraciones imprevistas del terreno, y los eventos imprevistos (Arditi, Tarim Akan, & Gurdamar, 1985) (Semple, Hartman, & Jergeas, 1994) (Chang A. S.-T., 2002) (Knight & Robinson Fayek, 2002) (Gkritza & Labi, 2008) (Love, Wang, Sing, & Tiong, 2013).

Otras variables asociadas al factor incluyen las políticas fiscales de los gobiernos (Orji, 1988), algunas prácticas irregulares de las agencias contratantes, gubernamentales (Akpan & Igwe, 2001), los cambios en los equipos políticos de las administraciones locales, las modificaciones normativas y legislativas promulgados después del diseño (Allen., Booz., Hamilton., & Incorporated., 1995) (Callahan, 1998), el retraso en el otorgamiento de permisos y licencias de construcción (Mackie & Preston, 1998), y aquellas variables que hablan del factor humano, de las capacidades, experiencia, y habilidades contextuales de los equipos que intervienen en todas las fases y áreas del proyecto (Hufschmidt & Gerin, 1970) (Merrow E. W., 1988) (GAO, 1999) (Chang A. S.-T., 2002) (Harbuck, 2004).

Podemos en consecuencia, agrupar en el factor latente las variables más frecuentes en la literatura como se refleja a continuación:

Variables reseñadas en el Factor causal ENTORNO SOCIOECONÓMICO

- Movilidad precios e inflación
- Cambios legislativos y normativos
- Cambios políticos
- Optimismo interesado
- Sesgo estratégico y fraude
- Multas y penalizaciones
- Huelgas
- Licencias y autorizaciones imprevistas
- Retrasos suministros y servicios

- Escasa financiación
- Conflictos
- Deficiente formación y capacidad equipos
- Perfeccionismo
- Escasos rendimientos

Ambientales

Existen un grupo de variables que puede agruparse en un factor latente que incluye aspectos relacionados con el contexto físico del proyecto, tanto del inmediato como pudiera ser el terreno en el que se implanta, como el entorno ambiental con el que se interrelaciona.

La variable causal más tratada por la literatura, es sin lugar a duda, el terreno; Estudios de todo el mundo han puesto de relieve la frecuencia recurrente de la afección que las condiciones inesperadas del terreno tienen en el desempeño económico del proyecto. Los estudios realizados por Halligan, Hester, & Thomas (1987) en los EE.UU, demostraron que las cantidades pagadas por sus administraciones a los contratistas en concepto de excesos de presupuestos imputables a las condiciones del terreno encontradas en la construcción y no previstas en el proyecto, ascendía a un 35%. Otro estudio realizado en Hong Kong por Kumaraswamy (1997), dirigido a la identificación de las principales argumentaciones de los contratistas en sus reclamaciones económicas de desviaciones a los promotores, encontraron que las condiciones del terreno no previstas, fue el cuarto factor causal de las diez relacionadas. En Canadá, Revay (1992) enumeró a la deficiente información de las condiciones del terreno y el escaso estudio geotécnico entre las seis causas más frecuentes de desviación de costes, con graves afecciones de procesos como la excavación, compactación, y cimentaciones.

El-Choum (1994) considera que los obstáculos principales para lograr el éxito económico del proyecto son los cambios originados por el entorno, en relación con adaptaciones con el medio ambiente.

Ahmed, Ahmad, & Saram (1999) señalan como variable predominante en el factor las condiciones meteorológicas.

Además, se incluyen por lo general las causas fortuitas relacionadas con el medio físico como inundaciones, huracanes, tornados, u otros incidentes relacionados con fenómenos naturales catastróficos, aunque de escasa presencia en la literatura, si se destaca con frecuencia sus efectos devastadores sobre los costes del proyecto (Hufschmidt & Gerin, 1970) (Arditi, Tarim Akan, & Gurdamar, 1985) (Merrow E. W., 1988) (Semple, Hartman, & Jergeas, 1994) (Touran, Bolster, & Thayer, 1994) (Akinci & Fischer, 1998) (Callahan, 1998) (Chang A. S.-T., 2002).

En resumen, se comprueba en la literatura la asociación de las causas incluidas en el factor latente “Entorno ambiental” del proyecto, pudiendo agruparse las variables más frecuentes como se refleja a continuación:

Variables reseñadas en el Factor causal ENTORNO AMBIENTAL

- Condiciones imprevistas del terreno
- Sorpresas geológicas (bolos, fallas)
- Restricciones sitio / condiciones parcela
- Readaptaciones del diseño al sitio
- Sorpresas por acometidas de servicios
- Desastres naturales
- Inclemencias meteorológicas
- Accidentes

Atributos

Hegazy & Ayed (1998) comprueban que la ubicación, tipo de proyecto, tamaño del proyecto, y plazo de ejecución, tienen un impacto significativo en los costes y su comportamiento. También Herbsman (1986) considera que el volumen total del contrato de licitación influye en el adecuado desempeño del presupuesto.

La cuestión del tamaño del proyecto como atributo relevante en el desempeño del presupuesto, resulta controvertida. Autores como El-Choum (1994) consideran que el problema de la desviación, se multiplica con el tamaño del proyecto puesto que la construcción de grandes proyectos está expuesta con mayor fuerza a entornos inciertos; Los grandes proyectos implican procesos complejos de planificación, diseño y construcción que complejizan el entorno de incertidumbre; complican la gestión de intervinientes con la participación de grandes grupos de interesados, así como los recursos necesarios para la materialización del proyecto, desde los materiales y humanos, hasta los recursos financieros. Existen estudios con conclusiones encontradas, como el publicado por Odeck (2004), quien a partir de los datos de 620 proyectos de construcción en Noruega ejecutados en el periodo entre 1992-1995 y promovidos por la Administración pública, evidenció que el crecimiento de costes fue predominante en los proyectos más pequeños en comparación con los más grandes. Algunos autores atribuyen este hecho a la carencia de estructuras de control en los proyectos pequeños.

Ahmed, Ahmad, & Saram (1999) distinguen otros dos atributos que contribuyen al fenómeno por el camino del crecimiento de la incertidumbre; El primero es el plazo de ejecución establecido, que puede implicar el trabajo a velocidades normales para la realización de las actividades o de modo acelerado, el segundo atributo se refiere a la complejidad del proyecto.

Se considera que desde el punto de vista cualitativo, la cuestión no es tanto atender a los atributos del proyecto como variables relevantes, sino a su constructibilidad, entendida como el término utilizado en gestión de proyectos, para definir el grado de complejidad asociado a un proyecto concreto, en virtud de la interrelación de los atributos referidos.

METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS

“Resulta esencial disponer de un modelo de predicción de desviación de costes basado en la información disponible en la fase inicial de un proyecto de construcción” (Hegazy, 2002).

La modelización del fenómeno de desviación de presupuestos no goza de una larga tradición, pero sí de cierta profusión en los últimos 20 años. Se encuentran en la literatura, diversas metodologías utilizadas por sus autores, tanto para la predicción de costes en fases tempranas de proyecto, que persiguen la determinación de un presupuesto estimativo que sirva de referencia en estudios de viabilidad económica, como la predicción de la desviación del presupuesto de proyecto una vez concluido, y referido a un presupuesto inicial como ha quedado visto. Ambos recorridos comparten no solo toda la base teórica que subyace en el fenómeno, sino también las metodologías y técnicas, que siendo válidas para la predicción de un presupuesto futuro, pueden ser utilizadas para la determinación de una desviación futura por mera sustracción del presupuesto de referencia.

Las primeras tentativas de modelización las encontramos en la década de los 60 cuando autores como Whittle (1963) desarrollan los modelos incipientes (Prediction and regulation by linear least – square methods). Si bien no aparecen verdaderos antecedentes hasta finales de los 80, cuando la programación lineal es utilizada en el objetivo, y aparecen trabajos como el realizado por Reeves et al. (1988) (Combining earning forecast using multiple objective linear programming); Teicholz (1993) desarrolla un modelo para la predicción del coste final y la varianza del proyecto, basándose en datos históricos mediante técnicas de programación lineal computerizada.

La modelización del fenómeno de desviación de costes en proyectos de arquitectura, se ha desarrollado en los últimos años desde el procesamiento de los datos cuantitativos y cualitativos históricos de los proyectos concluidos, utilizando técnicas como el análisis factorial y la regresión lineal multivariante (Phaobunjong, 2002) (Trost & Oberlender, 2003) (Lowe, Emsley, & Harding, 2006); Con un conjunto suficientemente grande y detallado de datos de proyectos, puede calcularse la probabilidad de aparición de desviación del

presupuesto de adjudicación (*Jahren & Ashe, 1990*) (*Birnie & Yates, 1991*) (*Gkritza & Labi, 2008*). Autores críticos con la utilización de esta fuente de conocimiento, indican que si bien el estudio de las bases de datos históricos es probablemente la mejor fuente para evaluar la ocurrencia de eventos de riesgo y sus consecuencias, la realidad indica que son muchos los casos en los que estas fuentes son insuficiente o incoherentes, inexistentes o registradas con una gran carga de sesgo de información personal (*Al-Bahar & Crandall, 1990*), y en consecuencia no proyectables de manera uniforme a nuevos proyectos.

La determinación de la desviación esperada del presupuesto, se realiza por lo general utilizando dos enfoques posibles; El determinista y el estocástico. El enfoque determinista o cuantitativo utilizable cuando la información específica permite una precisión razonable, basado en datos obtenidos del análisis del proyecto disponible, en el que de modo prematuro, aparecerán especificaciones y atributos de la edificación con una gran carga de incertidumbre propia de la fase inicial de proyecto y por tanto conllevan un alto riesgo potencial de desviaciones presupuestarias.

Los modelos planteados para la evaluación anticipada del coste a la finalización de proyecto, pueden clasificarse en tres grandes grupos (*Raftery & Ng, 1993*):

- Los modelos de primera generación: basados en la tipificación de presupuestos en función de la tipología; Utilizado en los modelos de licitación del Reino Unido y en EE.UU.
- Los modelos de segunda generación: basados en la técnica del análisis de regresión lineal.
- Los modelos de tercera generación: estimaciones por frecuencias probabilísticas basados en la técnica de Monte Carlo.

En la práctica el método más comúnmente utilizado, es la estimación tradicional por porcentaje (*Baccarini, 2005*), sin embargo, la utilización de la simulación de Monte Carlo, el análisis de regresión y la técnica de redes neuronales artificiales, han ganado presencia en los últimos tiempos; Muchos autores que han estudiado la predicción de la desviación de costes en la fase inicial de un proyecto, eligen el enfoque probabilístico basado en técnicas como la simulación de Monte Carlo (MCS) (*Nassar, Gunnarsson, & Hegab, 2005*); En entornos de incertidumbre como en el que se alimenta el presupuesto, cuando la disponibilidad de la subjetividad adecuada del experto escasea o frente a la especificidad los datos, la probabilidad resulta particularmente indicada; la aplicación de distribuciones de probabilidad puede representar la evaluación adecuada del fenómeno (*de Cano & de le Cruz, 2002*); otros, desde el recurso de la inteligencia artificial, con técnicas como las Redes Neuronales Artificiales (RNA) o los algoritmos genéticos (GA), dan solución a la modelización (*Attala &*

Hegazy, 2003) (Hegazy & Ayed, 1998) (Kim, Seo, & Kang, 2005) (Soutos & Lowe, 2005).

Queda evidenciada en la revisión de la literatura, la existencia de una gran variedad de técnicas, que de una u otra manera, se han utilizado con el objeto de modelizar el fenómeno, como muestra el resumen de trabajos y técnicas que se refleja a continuación:

Tradicional por porcentaje:	(Ahmad, 1992) (Moselhi, 1997)
Método de los Momentos:	(Moselhi, 1997) (Yeo, 1990)
Simulación de Monte Carlo:	(Lorance & Wendling, 2001) (Clark D. , 2001)
Puntuación de factores:	(Hackney J. , 1985) (Oberlender & Trost, 2001)
Valor esperado de riesgos:	(Mak, Wong, & Picken, 1998)
Rangos:	(Curran, 1989)
Análisis de regresión:	(Merrow & Tarossi, 1990) (Aibinu & Jagboro, 2002)
Redes neuronales artificiales:	(Williams T. P., 2003)
Lógica fuzzy:	(Paek, Lee, & Ock, 1993)
Diagramas de influencia:	(Diekmann & Featherman, 1998)
Teoría de las Restricciones	(Leach, 2003)
Proceso analítico jerárquico:	(Dey, Tabucanon, & Ogunlana, 1994)

Procede la revisión detallada de las técnicas más Frecuentes

Estimación por porcentaje

Desde el enfoque determinista, muchos de los trabajos enfocan la modelización para satisfacer la necesidad de presentar el coste del proyecto estimado, como una cifra determinada que comprende la base de estimación y la adición de una cantidad de contingencia o amortiguador económico (por lo general como una adición porcentual). Es práctica habitual, que esta cantidad obedezca a un porcentaje global sin ninguna identificación, descripción ni valoración de las diferentes áreas de incertidumbre y riesgo. Estas estimaciones de desviación del presupuesto, son deterministas para cada proyecto en función de su valor más probable (Mak, Wong, & Picken, 1998), o en el mejor de los casos, derivadas de la intuición, la experiencia y los datos históricos. Baccharini (2004) indica que este es el método más común para la estimación de desviaciones de costes del proyecto. Thompson & Perry (1992) consideran que este modelo es arbitrario y difícil de defender; Mak, Wong, & Picken (1998) sostienen que a la utilización de estos modelos, se les supone un grado de certeza que no está justificado, y Hartman (2000) mantiene que el propio hecho de su utilización es en sí mismo una razón por la que muchos de los proyectos acaban por encima del presupuesto. Las debilidades de este modelo tradicional, ha llevado a la

búsqueda de un enfoque más sólido como lo demuestra la variedad de métodos y técnicas desarrolladas.

Regresión multivariante (MRA)

El análisis de regresión es una técnica estadística que posibilita modelar la relación que existen entre dos o más variables; persigue construir un modelo que permita predefinir el rendimiento del fenómeno, donde la variable dependiente se obtiene de los coeficientes de regresión en base a datos estadísticos. El análisis estadístico multivariado constituye una inferencia científica a partir de conjuntos de datos o mediciones de rendimiento en una muestra. La historia de la ciencia confirma que tales inferencias pueden tener éxito en la explicación de la realidad, al tiempo que reducen la explicación del fenómeno a un número asequible de variables. Los investigadores en ciencias como la conductual, biológica o física, hace tiempo que han abandonado la dependencia exclusiva de los métodos de análisis clásicos (El-Choum, 1994).

Las relaciones de variables intervinientes en un fenómeno de estudio, pueden adoptar muchas formas diferentes, la mayoría de los cuales pueden ser extremadamente difíciles de manejar en un análisis de regresión. En muchos casos resulta razonable suponer la existencia de una relación lineal entre la variable dependiente y las variables independientes. La regresión lineal representa la combinación lineal que da función al constructo dependiente explicado a través de variables independientes (Hair, Anderson, Tatham, & W.C., 1999).

El análisis de regresión multivariante se utiliza y se aplica, al conjunto de datos obtenidos a investigar en el desarrollo de un modelo de superación de los presupuestos en términos de un coeficiente de regresión para cada variable explicativa. La regresión múltiple toma la forma del siguiente modelo [27] (Lewis-Beck, 1993) (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006):

$$Y = a_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + \dots + b_n \cdot X_n + e \quad [27]$$

Dónde:

- Y Es la variable dependiente (El % de desviación presupuestaria)
- a_0 Es una constante lo que indica la intersección con el eje Y
- b_n Son los coeficientes no estandarizados de regresión parcial
- X_n Son variables independientes (explicativas)
- e Es el término de error

El aumento o disminución en la variable dependiente está determinada por el signo de $\{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ (negativa o positiva).

El propósito del modelo es predecir el valor de una cantidad $Y = f(X)$ en términos de un conjunto de cantidades $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, y la relación funcional (f) entre Y y X . La f función se establece típicamente sobre la base de una mezcla de supuestos intuitivos, aceptados a partir de la experiencia de los profesionales con respecto a los datos que están siendo analizados (Nilsen & Aven, 2003).

La aplicación del análisis de regresión multivariante sintetiza en un conjunto de resultados de los datos en los que se conoce como coeficientes de regresión, uno para cada variable explicativa. Estos coeficientes dan a cambio la variable estimada de respuesta asociada a un cambio unitario en la variable explicativa correspondiente, condicionada a las otras variables explicativas que se mantienen constantes; Los coeficientes b van a indicar el incremento en la desviación presupuestaria por el incremento unitario de la correspondiente variable explicativa. Por lo tanto, estos coeficientes van a tener las correspondientes unidades de medida.

El ajuste del modelo de regresión multivariante se puede juzgar de dos maneras; mediante el cálculo del coeficiente de correlación múltiple o por el examen de los residuos, y el rendimiento del modelo es probado mediante coeficientes de correlación de Pearson. La razón es que los coeficientes de regresión y sus errores estándar asociados son estimaciones condicionadas a las otras variables explicativas en el modelo concreto, por consiguiente, si una variable se elimina del modelo, los coeficientes de regresión de la restantes variables (y sus errores estándar) van a cambiar cuando se calcula a partir de los datos que no incluyen esta variable.

Los coeficientes b_n son elegidos de forma que la suma de cuadrados de la diferencia entre los valores observados y los pronosticados sea mínima, es decir, que se va a minimizar la varianza residual. Esta ecuación recibe el nombre de hiperplano, pues cuando existen dos variables explicativas, en vez de recta de regresión tenemos un plano (Ilustración 15); Con tres variables explicativas tendríamos un espacio de tres dimensiones, y así sucesivamente:

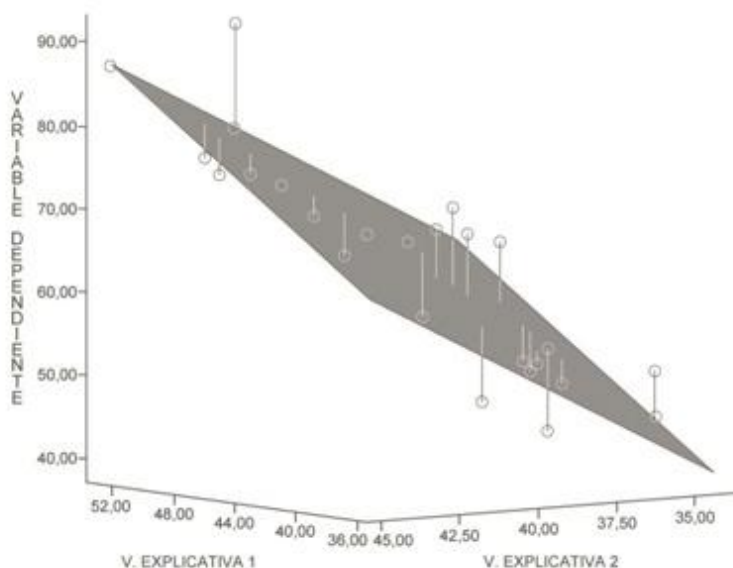


Ilustración 15: Hiperplano de regresión

Las variables seleccionadas para la regresión, cumplen los siguientes criterios:

- Tienen sentido numérico.
- No hay variables repetidas o redundantes
- Las variables introducidas en el modelo tienen justificación teórica.
- La relación entre variables explicativas en el modelo y datos de casos debe superar la relación de 1 a 10.

Para la regresión lineal podríamos utilizar una escala aditiva: la media de las variables principales en todos los factores, para utilizarla como la reducción principal de datos; sería una escala que previamente deberíamos validar si es o no útil; por lo general se opta por utilizar de cada factor la variable líder (más significativa de cada factor o Análisis factorial exploratorio; la que más carga factorial presenta) como variable sustituta, en función de la cantidad de varianza que son capaces de explicar.

Los modelos de regresión, utilizados desde la década de los 70 para la estimación de costes, son una poderosa herramienta estadística para fines analíticos y predictivos en el examen de la contribución de las variables causales al fenómeno general de la desviación de presupuestos (Kim, An, & Kang, 2004). La extensa revisión de las técnicas de modelado realizada por Skitmore & Patchell (1990), evidenció que hasta la fecha, la mayoría de trabajos utilizaban el análisis de regresión para la predicción del presupuesto de oferta, y señalaba la

necesidad de desarrollar modelos de regresión para la determinación del coste final del proyecto.

Los primeros ejemplos de la utilización de análisis de regresión como una herramienta de predicción del coste del proyecto, aparecen con las publicaciones de McCaffer (1975) y McCaffer & Baldwin (1984), sin embargo no se encuentra una aplicación de la técnica específicamente para la modelización de la desviación del presupuesto en fases tempranas hasta la publicación del trabajo de Oberlender & Trost (2001).

Entre los trabajos publicados que utilizan la técnica de regresión multivariante, se reseñan por su proximidad a nuestro objetivo, los siguientes:

El realizado por Merrow, Phillips, & Myers (1981) que estudiaron el crecimiento de los costes (la relación de coste previsto y el coste real) a partir del análisis estadístico de 44 proyectos ejecutados por constructoras para el sector privado en América del Norte. El estudio persigue constituir una base para medir la fiabilidad de la estimación inicial y evaluar la probabilidad del coste final del proyecto. Utilizan el análisis de regresión para "*dar expectativas más realistas de los costes finales*", definiendo como variable dependiente al crecimiento de los costes y las siguientes variables independientes, medidas con cierta precisión al principio del ciclo de vida del proyecto:

- Grado de tecnología
- Complejidad y constructibilidad
- Integridad de la estimación
- Definición del proyecto

El coeficiente de determinación R^2 obtenido fue del 0,83 y el 47% de las predicciones obtuvieron aproximaciones del $\pm 5\%$ al crecimiento real de los costes. La investigación realizada por Jahren & Ashe (1990), quienes examinaron el crecimiento de los costes definido como la diferencia porcentual entre el coste final y el importe de adjudicación de los proyectos de construcción de 1576 instalaciones de la marina estadounidense. Utilizaron el análisis de regresión lineal para determinar si existía una relación lineal entre la diferencia existente entre el importe de la licitación y el de la adjudicación y el porcentaje de crecimiento del presupuesto. Determinaron que aquellos contratos en los que había existido mayor diferencia entre ambos presupuestos, tenían mayor propensión a tener tasas de crecimiento de costes por encima del 5%, además de comprobar que la probabilidad de desviación crecía con el incremento del tamaño del proyecto.

Uno de los estudios más extensos es el realizado por Bacon & Besant-Jones (1998) que analizaron 135 proyectos financiados por el Banco Mundial y ejecutados entre 1965 y 1986; La investigación aborda el crecimiento de costes considerado como la comparación entre los costes estimados en el momento de

la aprobación del proyecto con el coste real de la ejecución del proyecto determinado a la finalización del proyecto. Sus conclusiones encuentran sesgos significativos en las estimaciones realizadas para la determinación del presupuesto inicial, estableciendo la subestimación entre los costes reales y estimados promedio del 21% y correlaciones significativas R^2 del 76 %, y una desviación estándar del 34%. Propusieron además, un modelo obtenido por regresión lineal para la predicción de las desviaciones de los proyectos del Banco Mundial con las variables independientes determinables al inicio del proyecto que señalan a continuación:

- Coste estimado
- Tipología de proyecto
- Divisa
- País de Localización del proyecto
- Índice de costes
- Agencia de financiación

El trabajo de Dissanayaka & Kumaraswamy (1999), en el que se utiliza un análisis de regresión múltiple para analizar los datos de 32 proyectos de edificios construidos en Hong Kong, para predecir el crecimiento del presupuesto como la relación de coste final pagado por el promotor respecto del presupuesto oferta del contratista. El modelo desarrollado utiliza el crecimiento del presupuesto como variable dependiente y cuatro variables independientes:

- La complejidad del proyecto
- Las características de los clientes
- La calidad de la estimación original
- Las características del contratista

El coeficiente de determinación R^2 explicativo del modelo obtenido fue del 0,79.

También en Hong Kong, Dissanayaka & Kumaraswamy (1999) realizaron un estudio mediante encuestas sobre los factores relevantes que tienen influencia en el desempeño del presupuesto de los proyectos; Con una muestra de 30 individuos, en la que se incluía perfiles característicos de promotores, contratistas y consultores del sector de construcción, realizaron un análisis multivariante para identificar las variables independientes que tienen una asociación significativa con la variable dependiente establecida como la relación entre el presupuesto final pagado por el promotor y el presupuesto oferta. El análisis de regresión lineal, utilizando las siguientes variables independientes:

- El nivel de confianza del promotor en la constructora
- El riesgo asumido por el promotor en contrato

- La complejidad del proyecto relacionada con las nuevas tecnologías
- La modalidad de pago

El modelo final ofreció un coeficiente de determinación R^2 de 0,84.

También con la técnica de regresión lineal, Oberlender & Trost (2001) desarrollaron un modelo para predecir la desviación presupuestaria de un proyecto, en función de la calidad y exactitud de las estimaciones iniciales, que les permitiera la determinación del amortiguador económico de contingencia a asignar en el presupuesto de adjudicación. Utilizando para la modelización los datos de 67 proyectos completados en los EE.UU, ejecutados por 22 empresas constructores, que involucraban a 16 promotores distintos. La investigación identificó 45 elementos para medir la calidad de las estimaciones iniciales, divididas en cuatro factores latentes:

- Autoría de la estimación
- Método de redacción del presupuesto
- Nivel de información del proyecto
- Factores considerados en la estimación
-

La Regresión multivariante mediante mínimos cuadrados constituyó la base para la predicción, generando un modelo del tipo (ecuación [28]):

$$Y = m \cdot x + b \quad [28]$$

Dónde:

Y= Porcentaje de contingencia
 X= Puntuación de estimación
 m es la pendiente
 b es la intersección con el eje Y

Para obtener una predicción de presupuesto, cada elemento es clasificado de 1 (mejor) a 5 (peor) y entra en el modelo para asignarle una puntuación global de la calidad de estimación que se deriva. Esta puntuación predice la exactitud de la estimación.

Los resultados demostraron una correlación significativa entre la puntuación de cálculo y la precisión de la estimación.

La publicación de Trost & Oberlender (2003), en la que se propone un modelo obtenido por análisis factorial y regresión lineal denominado por ellos mismos como procedimiento de estimación de puntuación, que permite que un equipo de proyecto realice una estimación prediciendo su exactitud en función de la puntuación obtenida.

Chan (2001) modeliza la relación tiempo - coste de los proyectos basándose en la formulación del modelo propuesto por Bromilow (1988), y el estudio de 51 proyectos de los que obtienen datos mediante cuestionario y aplicación de la técnica de regresión lineal.

La investigación realizada por Setyawati, Sahirman, & Creese (2002), quienes utilizando los datos de 41 proyectos de edificios escolares terminados entre 1998 y 2001, recurrieron al análisis de regresión para crear un modelo de predicción, basado en dos variables independientes:

- Superficie total del proyecto
- Altura del edificio

El modelo final ofreció un coeficiente de determinación R^2 del 0,927.

Williams (2003) desarrolla un modelo de regresión para la predicción del coste final de proyecto a su conclusión, utilizando como dato de entrada el presupuesto de licitación y la oferta de adjudicación (Variables independientes). Utiliza la transformación logarítmica natural de las variables independientes y linealiza la relación entre ellas. El análisis evidencia la existencia de correlación entre la variación en el coste final y la baja de la oferta respecto del presupuesto de licitación.

El trabajo elaborado por Attala & Hegazy (2003), utiliza el método de encuesta, realizada a 32 equipos de empresas de rehabilitación (jefes de obra y administradores de proyectos) intervinientes en otros 50 proyectos, para la determinación causal de la desviación de presupuestos de proyectos, desarrollando un modelo de predicción de la desviación de costes para proyectos de restauración, previa identificación de 36 causas de impacto como variables independientes en el desempeño del presupuesto y dos variables dependientes; el aumento del valor del contrato, debido a las órdenes de cambio, y el coste de las reejecuciones.

Lowe, Emsley, & Harding (2006) utilizan una base de datos correspondiente a 286 proyectos terminados en el Reino Unido, recurriendo a la técnica de regresión lineal para predecir el coste de proyecto a su finalización, en la que las dos variables dependientes son el coste final de construcción y los costes finales de gastos complementarios. Las 41 variables independientes corresponden a atributos de los proyectos (superficie, acabados, instalaciones, etc.). La técnica de regresión utilizada es del tipo back-forward.

Un análisis de componentes principales correlacionó las variables en 18 factores cuyas puntuaciones fueron utilizadas para el desarrollo del modelo utilizando la técnica de regresión por pasos (backward- stepping), y ofreciendo un modelo predictivo con cinco variables independientes:

- Ajuste de los planos a obra
- Existencia de precios unitarios
- Existencia de programación por ruta crítica
- Precalificación del contratistas
- Inspección del usuario final

El modelo final ofreció un coeficiente de determinación R^2 del 0,897 y la validación del rendimiento del modelo realizado con nueve casos excluidos en el desarrollo ofreció una correlación r del 0,9031.

Skitmore & Ng (2003) desarrollan varios modelos de predicción de costes de construcción por técnica de regresión lineal, desde los datos de 93 proyectos concluidos. Las variables independientes utilizadas corresponden a características de la selección contratistas, la modalidad del contrato y el tipo de proyecto; Las variables dependientes, el coste final y el plazo de ejecución.

La investigación publicada por Odeck (2004), utilizó el análisis de regresión para determinar la relación estadística entre el coste final y los costes estimados en la etapa de diseño de detalle de los proyectos de construcción, a partir de los datos de 620 proyectos de construcción en Noruega ejecutados en el periodo entre 1992-1995 y promovidos por la Administración pública. Los resultados revelaron un crecimiento medio del presupuesto final respecto del estimado del 7,9%. La técnica utilizada fue la regresión por pasos, identificando dos variables independientes significativas: el coste final estimado y el tiempo de finalización. El modelo final ofreció un coeficiente de determinación R^2 del 0,21.

En el mismo año Kim, An, & Kang (2004), publican un trabajo que utiliza los datos de proyectos de 530 edificios residenciales construidos en Corea del Sur en el periodo comprendido entre 1997 y 2000, utilizando el análisis de regresión para predecir los costes finales reales de los proyectos, utilizando 490 de ellos para el propio análisis y los 40 proyectos restantes para comprobar el rendimiento del modelo. La variable dependiente fue el presupuesto al final del proyecto y las siguientes variables independientes asociadas a los atributos de los proyectos:

- Superficie del solar
- N° total de plantas
- Plazo de ejecución
- Tipo de estructura
- Tipología de cimentación
- Existencia de sótano
- Niveles de acabados

El error medio del modelo para los 40 proyectos de prueba fue del 6,95 %.

La investigación presentada por Lowe, Emsley, & Harding (2006) en el Reino Unido, utilizando una base de datos de 286 proyectos, desarrollan seis modelos

de predicción del presupuesto final utilizando como variable dependiente el coste por metro cuadrado, e identifican cuarenta y una potenciales variables independientes. Los resultados, señalan cinco variables influyentes en los principales factores de desviación de coste. Las variables que aparecen en cada uno de los seis modelos son:

- La superficie total del proyecto
- La tipología
- El plazo de ejecución
- La dotación de instalaciones
- El montante del presupuesto

El modelo final ofreció un coeficiente de determinación R^2 del 0,661 y la validación del rendimiento del modelo arrojó un porcentaje de error absoluto medio de 19,3% .

El estudio de Burroughs & Juntima (2004), elaborado a partir de los datos de 1500 proyectos industriales en los EE.UU., cuyo tamaño computado en unidades económicas estaba en el intervalo 1 millón de dólares a 1.5 millones de dólares, utilizó la técnica de análisis de regresión para predecir el Indicador de Rendimiento de Contingencia (CPI), es decir, el valor del porcentaje de desviación de presupuesto final, menos el tanto por ciento de contingencia estimada. Las variables independientes significativas utilizadas, fueron las siguientes:

- El nivel de definición del proyecto
- La utilización de nuevas tecnologías
- La complejidad del proyecto
- El modelo de contratación
- La organización de la ejecución
- La intensidad de recursos asignados

El modelo de regresión arrojó valores del IPC con una mediana de 7% .

La mayoría de trabajos que utilizan regresión lineal multivariante, obtienen rendimientos más que aceptables de los modelos, y su validez queda avalada por la cantidad de autoridades en la materia, que la han aplicado para dar explicación del fenómeno. No obstante, existen voces que consideran que la debilidad de estos modelos reside en que su utilización solo es aceptable para pronósticos a corto plazo debido a su dependencia de las condiciones pasadas asociadas a las bases de datos utilizadas, y esto, en un entorno cambiante en el que las circunstancias no siempre se mantienen en el futuro, hace desaconsejable la técnica (Skitmore & Ng, 2003).

Otro enfoque posible para la determinación de la desviación esperada del presupuesto, es el estocástico o probabilístico, mediante la utilización de técnicas de programación lineal, optimización y simulación, que pueden compensar las deficiencias de datos propios, recurriendo a bases de datos históricos o a la experiencia de expertos para estimar subjetivamente los costes finales del proyecto.

Como se ha visto, el concepto de incertidumbre implícito en el sistema complejo de la desviación de presupuestos, refleja en sí el grado de desconocimiento de una condición futura, la duda acerca de la veracidad de los datos utilizados que condicionan el resultado a obtener, y que incluye todas las posibles fuentes de error. Puede, sin embargo, ser representada por medidas cuantitativas (por un rango de valores calculados) o por afirmaciones cualitativas (por ejemplo, al reflejar el juicio de un grupo de expertos).

Estadísticamente, la incertidumbre refleja "la aleatoriedad", o error proveniente de diversas fuentes; "La probabilidad". En este sentido, es posible cuantificar la incertidumbre, y utilizarla para calcular la probabilidad de lograr el objetivo deseado y/o de pronosticar los eventos indeseables.

El enfoque clásico para hacer frente a la incertidumbre es la teoría Bayesiana de la probabilidad (Baloi & Price, 2003); El supuesto básico de la teoría clásica de la probabilidad es que todas las incertidumbres son medidas de aleatoriedad o medidas subjetivas de confianza, y la herramienta principal de los procesos aleatorios es la estadística.

Shafer (1976) define dos tipos de probabilidades. La primera, la probabilidad aleatoria, relacionada con el resultado de una situación intrínsecamente incierta y la segunda, la probabilidad epistémica (también conocida como la Dempster - Shafer o Teoría de la evidencia) que se refiere a una medida de la creencia en una proposición, o más generalmente a la falta de un conocimiento completo (Shafer, 1976). En general, el riesgo epistémico constituye el mayor problema de la planificación de un proyecto cuando existe escasa evidencia histórica sobre la que basar las predicciones (de Cano & de le Cruz, 2002).

La fuerte implantación de la teoría de la probabilidad como metodología eficaz y fiable para hacer frente a la incertidumbre tiene raíces históricas, con sólidas bases científicas y sanción por la experiencia durante siglos. En el campo de la evaluación de riesgos de proyectos, es utilizada tradicionalmente para representar la incertidumbre de los acontecimientos que aunque desconocidos, ocurren con frecuencia (Mak & Picken, 2000). Este enfoque no trata de predecir los eventos inciertos específicos que afectarán a un proyecto, sino de asignarle una distribución estadística de los resultados (Flyvbjerg, 2008); Los proyectos de características similares, tendrán grados similares de sesgo optimista y de

sobrecostes (Love P. , 2002) (Odeck, 2004) (Love P. , Edwards, Smith, & Walker, 2009), por lo tanto, es posible determinar las probabilidades genéricas de ocurrencia de sobrecostes del proyecto sobre la base de la distribución de probabilidad que mejor se ajuste; Con datos suficientes de un conjunto de proyectos, puede determinarse la probabilidad de ocurrencia del sobrecoste en un contrato de adjudicación (Jahren & Ashe, 1990) (Birnie & Yates, 1991) (Gkritza & Labi, 2008).

La implementación de la teoría bayesiana en el campo de la presupuestación, fue planteada por primera vez como un medio para reducir la incertidumbre por Hertz (1964), concretamente para la determinación de los valores de probabilidad para diferentes elementos de costes estimados en un presupuesto. Más tarde, su utilización fue recomendada por el Banco Mundial, como una parte integrante de la evaluación de sus proyectos (Reutlinger, 1970). Como herramienta, permite tanto cuantificar el rango de un cálculo de coste cualesquiera, como su utilización en el contexto de la estimación de costes, para la asignación de los valores estimados para cada elemento de coste y su análisis del riesgo asociado; La distribución de probabilidad individual de cada componente de coste se agrega después para obtener la distribución de probabilidad global del coste total.

En el ámbito de las desviaciones de presupuestos, un sobrecoste se puede clasificar como una variable aleatoria continua, ya que puede tener una infinita gama de valores (Jahren & Ashe, 1990). Sus probabilidades de ocurrencia pueden ser representadas en un gráfico de densidad de probabilidad de los posibles resultados, en el que la curva de distribución normal es la más común (Fellows, Langford, Newcombe, & Urry, 2002). Habitualmente se ha adoptado la función de densidad de probabilidad de distribución normal para determinar los excesos de costes del proyecto (Flyvbjerg, 2007), presentando el inconveniente por su simetría respecto al valor medio, de no permitir modelar con precisión los sesgos de los datos de izquierda o de derecha.

No obstante, el ajuste de distribución empírica de los datos puede ser una tarea difícil teniendo en cuenta la gran variedad de opciones de distribuciones estadísticas posibles; La selección de una distribución estadística inadecuada puede producir probabilidades incorrectas que pueden afectar negativamente a la toma de decisiones y por lo tanto dar lugar a resultados erróneos, en esa línea en los últimos tiempos, algunos autores proponen distribuciones alternativas a la normal como la distribución lognormal o las distribuciones Cauchy o Fréchet (Ilustración 16), con las que se persigue una mejor bondad de ajuste de las colas o sesgos de la gráfica a los datos empíricos disponibles; Se examinan los conjuntos de datos para determinar el mejor ajuste de distribución de probabilidad, utilizando habitualmente las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov o Anderson-Darling (Raftery, 1994).

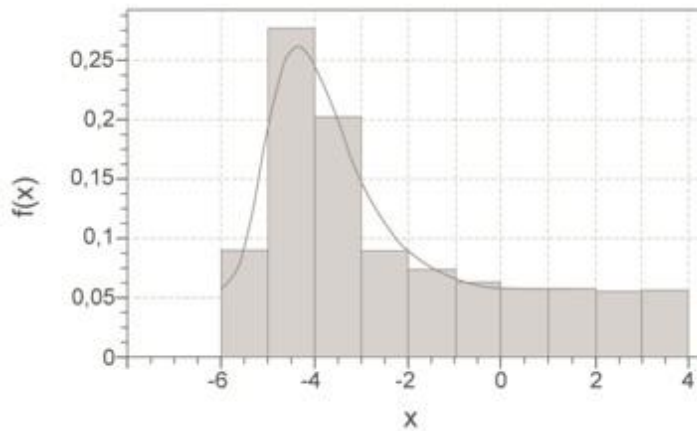


Ilustración 16: Distribución Fréchet

Los datos empíricos pueden proceder de registros históricos o en su ausencia de paneles de expertos. Las bases de datos históricas son probablemente la mejor fuente para evaluar la probabilidad de los eventos de riesgo que generan desviaciones en los presupuestos, sin embargo, en muchos casos, estas bases de datos son inadecuadas, están desestructuradas, o se han generado desde la subjetividad de sus autores con sesgos importantes (Al-Bahar & Crandall, 1990). Habitualmente, el enfoque cuantitativo no resulta fácil abordarlo por dos cuestiones, la primera es la obtención de documentación, que suele resultar dificultosa por la escasez de registros de proyectos concluidos; la segunda es que la singularidad de cada proyecto puede hacer que los datos disponibles obtenidos de bases de datos, ya sean formales o informales, que existen por lo general, para dominios específicos, no resulten de aplicación para el proyecto analizado; Los datos que se basan en proyectos anteriores pueden contener una incertidumbre significativa cuando se aplica a circunstancias concurrentes distintas (kumamoto & Henley, 1996). Aún con todo ello, en un escenario de riesgo perfecto, puede ser determinada perfectamente la evaluación objetiva de las probabilidades y sus consecuencias. Por lo tanto, el mejor método para establecer la distribución de las probabilidades de la desviación de costes, es a través del uso de registros históricos de datos de proyectos similares, aun considerando, que en construcción no resulta fácil obtener las bases de datos que se ajusten a la singularidad de cada proyecto en cuanto a su forma, función y los recursos utilizados en su ejecución (kumamoto & Henley, 1996).

Desde la teoría de la probabilidad, la modelización del sistema de desviación de presupuestos se acomete con dos técnicas diferenciadas en función de la evidencia empírica sobre la distribución de la variable aleatoria que genera la desviación de costes; Los modelos paramétricos y los modelos de simulación.

Cuando puede estimarse una distribución confiable de la variable desviación de presupuesto, por medio de parámetros estadísticos simples como la media y la varianza, es posible la utilización de **modelos paramétricos** (por parámetros estadísticos sencillos), con la determinación de una de las funciones de densidad de probabilidad estándar de la frecuencia acumulada del sobrecoste (Skitmore, 1996). Por el contrario, cuando se conocen las distribuciones individuales de las diversas variables causales, pero no se conoce la distribución resultante, ó la distribución depende del tiempo, es necesario realizar un modelo de simulación.

Los modelos paramétricos se aplican generalmente a los riesgos de sobrecostes que se presentan en etapas concretas del proyecto y pueden ser valorados a partir de distribuciones sencillas y parámetros conocidos (como la media o desviación esperada y la desviación estándar), utilizando por simplicidad y versatilidad, una distribución de referencia normal $N(\sigma, \mu)$.

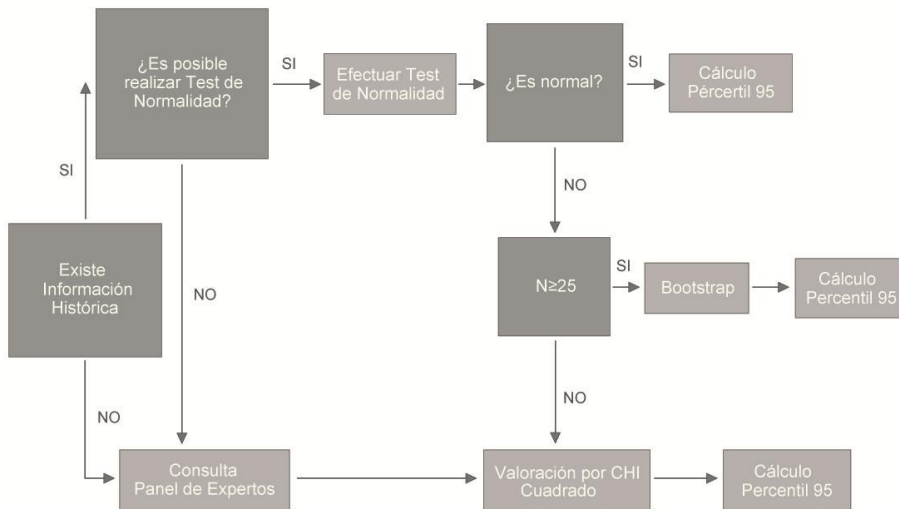


Ilustración 17: Proceso para la determinación paramétrica

El proceso para la determinación de la desviación del presupuesto (Ilustración 17), dependerá de si se dispone de información histórica acerca del riesgo a valorar o no. En el primer supuesto, deberá analizarse la posibilidad de aplicar un test de normalidad a los datos disponibles (Test de Kolmogorov–Smirnov, Test de Shapiro–Wild, Test de Chi–Cuadrado, Test de Jarque–Bera, Test de Anderson–Darling). Si es posible aplicar dichos test, y se concluye que la información histórica sigue una distribución normal, puede procederse a calcular el percentil P_{95} de manera directa, aplicando la siguiente fórmula [29]:

$$P_{95} = \mu + 1,64 \times \sigma \quad [29]$$

donde μ es la media (la desviación de presupuesto esperada) y σ la desviación estándar de la distribución. Esto quiere decir que sólo el 5% de los datos históricos de sobrecostos se encuentra a más de 1,64 desviaciones estándar de la media.

En el caso de que no se verifique una distribución normal para los datos disponibles, se debe constatar si el número de datos disponibles de información histórica es mayor o igual a 25 (Efron & Tibshirani, 1986) (Efron & Tibshirani, 1993). Si se verifica tal condición, entonces se procede a aplicar la metodología Bootstrap para la obtención del percentil 95; La construcción de cada uno de los elementos de la muestra se da realizando extracciones con reemplazo de la muestra original, hasta completar n elementos, donde es posible que se repitan algunos de los elementos que la conforman. Este proceso se repite una cantidad finita de veces. Para cada muestra Bootstrap se procede a calcular su media y desviación estándar.

Para la cuantificación de la desviación, se procede a realizar el cálculo del valor promedio de las media y las varianzas, es decir, μ y σ . Con estos valores, se calcula directamente el percentil 95 de la distribución de la forma [30]:

$$P_{95} = \mu + 1,64 \times \sigma \quad [30]$$

Siendo:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i}{m} \quad \text{Y} \quad \sigma = \frac{\sum_{i=1}^m \sigma_i}{m}$$

Dónde:

μ : Media de la muestra Bootstrap

σ : Volatilidad de la muestra Bootstrap

m : Número de muestras Bootstrap

Por el contrario, si no se cuenta con información histórica o se cuenta, pero el número de datos disponibles es menor a 25 o no es posible realizar un test de normalidad, la solución puede ser consultar un panel de expertos para determinar el valor esperado del sobrecoste y el número de factores independientes involucrados. Con estos datos se aplica la metodología Chi Cuadrado, para encontrar el valor máximo de los sobrecostos al x% para el nivel

de confianza deseado, obteniendo el valor de los sobrecostos $COC_{xx\%}$ al tanto por ciento de confianza deseado mediante la expresión [31]:

$$COC_{xx\%} = \left(\frac{\mu}{\kappa}\right) * x_{\kappa, x\%}^2 \quad [31]$$

Dónde:

μ : Media de los sobrecostos

κ : Números de factores causales independientes

$x_{\kappa, x\%}^2$: Es el percentil x% de una distribución Chi Cuadrado con κ grados de libertad.

El método implica “re-escalar” la media de los sobrecostos para analizar escenarios extremos.

La diferencia fundamental entre los modelos paramétricos y los de simulación, es que para los primeros existe una función de distribución definida a partir de parámetros simples deducidos de los datos históricos, y en los modelos de simulación, no es posible llegar a una forma funcional para la distribución, lo cual implica generar múltiples escenarios para analizar el comportamiento empírico de la distribución.

La utilización de la teoría de la probabilidad como herramienta en la modelización del sistema de desviación de presupuestos, goza de larga tradición en la literatura, sin que por ello haya decaído su uso en los últimos tiempos, como ejemplifica la investigación presentada por Khayani (2011), quienes con base en datos de rendimiento históricos disponibles, proponen un modelo probabilístico para el cálculo de la contingencia económica de desviación presupuestaria para proyectos de construcción, utilizando un enfoque bayesiano que obtiene un nivel de confianza aceptable para la evaluación de riesgos de cada proyecto, en relación con el nivel de confianza deseado para los presupuestos de la cartera. El trabajo, utiliza una distribución de probabilidad normal híbrida para el coste de los proyectos y usa los datos históricos de proyectos para calcular los parámetros principales del modelo, obteniendo la contingencia económica de la cartera de proyectos en función del nivel de confianza deseado.

Otros ejemplos de aplicación de la técnica en la literatura, lo constituyen trabajos como el de Wang & Huang (2000), en el que suponiéndose la existencia de correlación entre los costes y la duración de las actividades, calcula la estimación probabilística (varianza, covarianza y matriz de correlaciones); Touran (2003) propone un modelo probabilístico que considera el carácter aleatorio de los cambios en el proyecto y su impacto en el presupuesto final y en el plazo de

ejecución, incorporando la incertidumbre. Se calcula la contingencia económica del proyecto para el nivel de confianza deseado partiendo de una distribución de probabilidad Poisson; Flyvbjerg (2007) presenta la evidencia empírica de la evaluación del riesgo económico de los proyectos, analizando estadísticamente las desviaciones de proyectos en función de algunos de sus atributos como la ubicación, la tipología, el continente etc., y las cuantifica por clasificaciones de promedios por cuartiles, justificando empíricamente la correlación entre sobrecoste y tipología de proyecto y la no existencia de infradesviaciones económicas o empotramiento de presupuesto; Love, Wang, Sing, & Tiong (2013) analizan las características estadísticas de los excesos de costes experimentados en proyectos, determinando la mejor distribución de probabilidad desde una distribución empírica (distribución Fréchet) para calcular la probabilidad de sobrecoste. La bondad de ajuste se determina con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y la prueba no paramétrica Chi-cuadrado.

Simulación

"La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema" (Shannon & Johannes, 1976). El concepto estadístico, refiere a una forma de modelar los acontecimientos al azar, de manera que los resultados simulados sean muy parecidos a los resultados del mundo real. Mediante la observación de los resultados simulados, los investigadores obtienen una visión sobre el mundo real (Ang & Tang, 1984), reproduciéndolo en un conjunto de supuestos y modelos concebidos de la realidad.

La simulación puede ser aplicada al sector de la construcción como método para evaluar cuantitativamente los riesgos de los proyectos de arquitectura (Banks, Carson, & Nelson, 1996), especialmente para representar grandes proyectos, o sistemas complejos, ya que es mucho menos caro de experimentar con modelos que con los sistemas reales, y es particularmente útil para estudiarlos en la etapa de diseño en la que resulta necesario predecir su coste. Además, la simulación permite experimentar las operaciones de construcción para evaluar los impactos potenciales o las mejoras de costes y tiempos (Halpin D. W., 1985); Pueden realizarse suposiciones a través de modelos de simulación intercambiables para investigar el "qué pasaría si" preguntado sobre el verdadero proyecto o proceso.

Los modelos de simulación se utilizan para analizar el comportamiento de variables con componente aleatorio y sin distribución probabilística con forma funcional definida. En términos generales, el riesgo posee un alto impacto y una probabilidad variable que dependerá en gran medida de la variabilidad del proceso. Otros riesgos modelables a partir de esta metodología son aquellos

que dependen de variables exógenas al proyecto, como volatilidad en los precios.

Para simular la variable de riesgo como la desviación de presupuesto, es usual considerar que sigue un movimiento Browniano de la forma [32]:

$$dx = \mu \cdot x \cdot dt + \sigma \cdot x \cdot dt \cdot z \quad [32]$$

Donde μ es el valor esperado del crecimiento de x , dt es un incremento en el tiempo, σ es la varianza de los cambios porcentuales de x , z es una variable aleatoria obtenida de una distribución normal estándar. La representación de este proceso, en niveles, es (ecuación [33]):

$$x_1 = x_{t-1} \exp \left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} z \right) \quad [33]$$

Puesto que se está midiendo un factor de riesgo que depende de n variables, habría que crear una función de movimiento Browniano [34] para cada variable, de la siguiente manera:

$$x_{t,i} = x_{0,i} \exp \left(\left(\mu_i - \frac{\sigma_i^2}{2} \right) t + \sigma_i \sqrt{t} z \right), \text{ para } i = \{1, 2, \dots, n\} \quad [34]$$

No obstante, la anterior ecuación supone que no hay correlación entre las variables que determinan el factor de riesgo. Para tener este elemento en cuenta, es necesario modificar el valor aleatorio z , de una distribución normal estándar univariada a una distribución normal multivariada.

Suponiendo que la matriz de correlación entre variables es C de tamaño $n \cdot n$ (donde n es el número de variables). Por medio de la descomposición de Cholesky, se obtiene una matriz triangular inferior L tal que $C = L^T \cdot L$. Paralelamente se obtiene un vector W de tamaño $n \cdot 1$ cuyas entradas son valores aleatorios extraídos de una distribución normal estándar. Con estas matrices se puede reescribir el movimiento Browniano para cada una de las variables que determinan el factor de riesgo de la siguiente forma [35]:

$$x_{t,i} = x_{0,i} \exp \left(\left(\mu_i - \frac{\sigma_i^2}{2} \right) t + \sigma_i \sqrt{t} * f_i(LW) \right) \quad [35]$$

Utilizando el método de Montecarlo se realiza un número suficientemente grande de iteraciones del proceso anteriormente descrito. Con el resultado de dicha simulación se construye el perfil de la variable aleatoria.

Desde del enfoque estocástico, la **simulación de Monte Carlo (MCS)** es una de las técnicas probabilísticas para la estimación de costes y la toma de decisiones, en el que se incluye la recolección de datos, la generación de números aleatorios, la formulación del modelo, el análisis y la presentación de resultados (Ilustración 18).

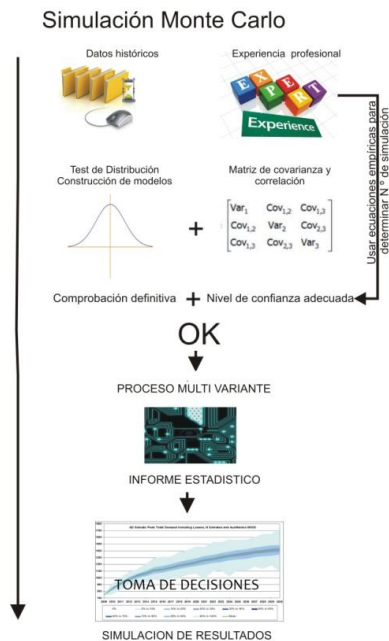


Ilustración 18: Proceso de simulación MCS

La Simulación de Montecarlo, es un proceso iterativo que da valores a las variables aleatorias haciendo un muestreo de la distribución respectiva de cada variable, utilizando estos valores para calcular el coste esperable, su desviación etc. Es por tanto una técnica cuantitativa para el análisis de riesgos y proporciona una forma estructurada para establecer el valor de la contingencia económica en la estimación de costes del proyecto (Clark D. , 2001). Su resultado de salida aplicado a la estimación del coste del proyecto es una distribución de probabilidad para el presupuesto final total del proyecto.

En la práctica, La Simulación de Monte Carlo se basa habitualmente en el muestreo aleatorio de variables, dentro de los patrones de distribución de probabilidad de los datos de los registros históricos, usando software para

producir números pseudoaleatorios y convertirlos en el escenario del mundo real a través de las respuestas de las funciones inversas existentes en ecuaciones matemáticas y en las distribuciones de probabilidad supuestas. El muestreo realizado de modo repetitivo se utiliza para simular posibles acontecimientos futuros, que producen una distribución respuesta del rango de coste frente a la probabilidad de ocurrencia.

Para el éxito del proceso de simulación, resulta fundamental determinar las distribuciones de probabilidad (Wall, 1997). Podemos suponer por ejemplo, que el coste esperado de un proyecto sigue una distribución beta; En cada operación de simulación, se establecerá el coste extrayendo un valor de su distribución respectiva (es más probable que se den los valores cercanos a la moda que los valores próximos a las colas de distribución).

Entre las distribuciones estadísticas utilizadas con más frecuencia en la estimación de costes de construcción, se incluyen la distribución normal, lognormal, beta, triangulares, Weibull, y otras distribuciones empíricas. La distribución lognormal y beta son las más utilizadas cuando se trabaja con costes cuya desviación se considera solo positiva. Wall (1997) demuestra que la distribución lognormal obtiene mejores rendimientos que una distribución beta, excepto cuando los datos se acotan a dos límites bien definidos.

Algunas investigaciones sugieren que la distribución log-normal (Ilustración 19) y la prueba Chi-cuadrado para la comprobación de su bondad de ajuste, constituye la mejor representación posible de la distribución de probabilidades del sistema desviación de presupuestos en proyectos de arquitectura. Afirman que, puesto que la desviación presupuestaria es casi siempre positiva, resulta más apropiado representar su distribución de probabilidad con una distribución log normal que el uso de una distribución normal.

En otra línea de argumentos, Chau (1995) propone que la distribución triangular ofrece un método más apropiado para representar la experiencia de expertos en construcción, y que esa opinión de expertos puede compensar la escasez de datos. Touran & Wiser (1992) consideran sin embargo, que la utilización de la distribución triangular para representar estas variables podría llevar a una sobreestimación del riesgo de desviación en proyectos, puesto que en el campo de la arquitectura, los valores de desviaciones presupuestarias extremadamente altos están típicamente asociados con megaproyectos ó eventos inesperados catastróficos que tienen menores probabilidades de ocurrencia que en los proyectos normales.

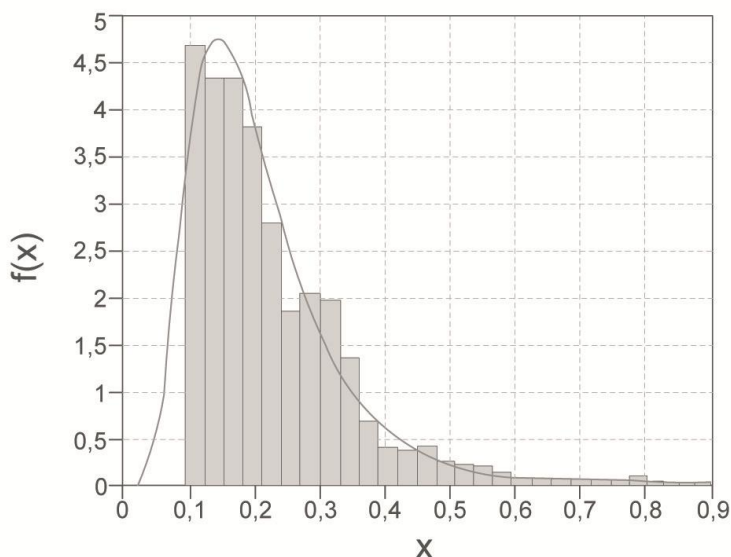


Ilustración 19: Distribución lognormal

Entre los cuatro métodos existentes para la selección de distribuciones de probabilidad: directo gráfico, varianza de expertos, muestras estadísticas y la extracción de datos históricos (Chung, 2004) (Wall, 1997), la mayor parte de las investigaciones proponen la utilización de registros históricos de proyectos, para aplicar pruebas estadísticas que optimizan la distribución objetivamente. Estas pruebas se basan en la comparación entre la distribución de los datos observados y una distribución teórica, utilizando métodos de prueba de bondad de ajuste como Chi-cuadrado de Pearson (PC) o la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S); El proceso de prueba consiste en determinar la distribución teórica subyacente para un conjunto de datos representativos.

En el ámbito científico, la técnica de análisis Monte Carlo ha sido utilizada con frecuencia en la simulación y análisis de sensibilidad para determinar la importancia de las fuentes individuales de riesgo del proyecto y otros factores como el sobrecoste (Flanagan & Norman, 1993).

En la actualidad, la utilización de la técnica para la determinación de tiempos y costes de proyectos en fases tempranas, ha superado el ámbito científico, y se ha extendido a la práctica de la dirección de proyectos con el desarrollo y comercialización de varios productos de software para su utilización en la simulación de grandes proyectos como el @Risk que es capaz de simular varios miles de cálculos de coste total, generando costes de las unidades de obra a partir de un gran número de distribuciones de probabilidad posibles y ofreciendo los estadísticos de interés según el caso.

Algunos ejemplos de interés de aplicación de la técnica en la literatura, lo constituyen investigaciones como Elkjaer (2000), quien utiliza el método estocástico de simulación de presupuesto (SBS), mediante una aplicación de software al que se le introducen la cuantificación de los intervalos de coste para las partidas que conforman el presupuesto del proyecto; Barraza, Back, & Mata (2004), desde el enfoque de la simulación, proponen una metodología para evaluar el resultado económico del proyecto a su finalización, sustituyendo como alternativa el uso de curvas S deterministas por el concepto de curvas S estocásticas generadas desde la definición de la variabilidad del coste y la duración de las actividades del proyecto; Chou, Yang, & Chong (2009), utilizando una base de datos de proyectos del Departamento de transporte de Texas, presentan un modelo en el que se combina la simulación y la eurística que utilizan el muestreo Hypercube para evaluar los riesgos de desviaciones económicas del proyecto durante la etapa preconceptual; Chou (2011) modeliza mediante racionalización de Monte Carlo el sistema de costes de construcción con el objeto de poder predecir la asignación de contingencia económica del proyecto, apoyado en el juicio experto de gestores de proyectos y los datos de proyectos históricos concluidos.

Lógica Fuzzy

En un sistema enfocado desde el punto de vista estocástico, cuando los parámetros que intervienen están sometidos a influencias aleatorias, nos encontramos ante un ambiente de **incertidumbre**; Las variables aleatorias toman valores en un espacio probabilístico o conjunto en el que se encuentran todas las posibilidades, y en el que la decisión está regida por el azar. Cuando no puede darse un valor exacto a esos parámetros, la información no es cuantificable, no es completa o no puede obtenerse, se dice que se está en un contexto de **imprecisión** o de falta de precisión. Como señala Ponz-Tienda (2010), para la programación (en este caso la presupuestación) de un proyecto se harán estimaciones que estén muy próximas a la realidad, sin embargo, siempre habrá un margen de imprecisión.

La capacidad de pensar del hombre y su interés por reflejar el mundo real ha contribuido a buscar una lógica que fuese más allá del clasicismo aristotélico (González Redondo, 2013), en el cual los umbrales de decisión quedan bien definidos. En esa línea, la lógica fuzzy hace uso de la imprecisión para enfrentarse a los problemas de la realidad logrando una mayor eficiencia que la lógica clásica.

Como en su momento propuso el profesor Zadeh (1979):

“Uno de los objetivos de la teoría de conjuntos difusos es el desarrollo de una metodología para la formulación y solución de los problemas que son demasiado

complejos o que están mal definidos y que no se pueden analizar mediante técnicas convencionales... La teoría de los conjuntos borrosos se reconocerá como un desarrollo natural en la evolución del pensamiento científico. El escepticismo sobre su utilidad será visto como una manifestación del apego humano a la tradición y la resistencia a la innovación”.

La Teoría de conjuntos difusos es una rama de la matemática moderna formulada por Zadeh (1996a), que intenta acomodarse a la vaguedad intrínseca de los modelos de los procesos cognitivos humanos. Desde su formulación, se ha utilizado para hacer frente a problemas mal definidos y complejos asociados a la información incompleta e imprecisa que caracterizan a los sistemas del mundo real. Está por lo tanto adecuada al razonamiento impreciso o aproximado que involucran pensamiento intuitivo humano.

Zadeh indicó que *"cuando la complejidad de un sistema aumenta, la capacidad humana para hacer afirmaciones precisas pero significativas sobre su comportamiento disminuye, hasta que se alcanza un umbral más allá del cual, la precisión y la significación se excluyen mutuamente"*. De esta aseveración denominada como principio de incompatibilidad, se deduce que el modelado de los sistemas complejos o mal definidos, no se pueden realizar con precisión.

La Teoría de conjuntos difusos no está destinada a sustituir a la teoría de las probabilidades, sino a proporcionar soluciones a los problemas que carecen del rigor matemático inherente a esta última. Mientras que la incertidumbre se acomete desde la teoría de probabilidades, que permite modelar el conocimiento incompleto del ambiente, la imprecisión suele modelarse con la teoría de conjuntos difusos o teoría fuzzy. Zadeh (1996a) defiende que aunque la teoría de probabilidades y la lógica difusa son diferentes, la teoría de probabilidades no es suficiente por sí sola para hacer frente a la incertidumbre, y que la teoría de probabilidades y la lógica difusa se complementan y no se contraponen. Ambas tienen programas y dominios de aplicación diferentes, si bien la teoría de probabilidades puede representar de forma restringida un conjunto difuso como un conjunto aleatorio o combinación de conjuntos no-fuzzy; asimismo hay muchas aplicaciones de la teoría de probabilidades donde la lógica fuzzy se ha utilizado con éxito. No obstante, la teoría de probabilidades tiene limitaciones para analizar los problemas descritos con términos fuzzy, no es lo suficientemente expresiva para representar el lenguaje humano, no posee métodos para estimar probabilidades o cuantificadores fuzzy; sin embargo es mucho más eficaz cuando las dependencias entre variables no están bien definidas. En el enfoque descrito por Zadeh (1996a), se demuestra cómo las probabilidades se pueden estimar a partir de datos difusos. La manipulación de las probabilidades difusas en general requiere el uso de la aritmética difusa, y muchas de las propiedades de las probabilidades difusas son generalizaciones simples de las propiedades de las probabilidades de valor real. En estas cuestiones es donde deben complementarse.

La Lógica fuzzy, borrosa o difusa es el razonamiento matemático que permite calcular de forma exacta las magnitudes correspondientes a conceptos vagos o situaciones poco previsibles para poder tener control sobre ellas (Hernández Negrín & I., 1997). La lógica difusa facilita la modelización de situaciones relacionales, que presentan vaguedad de forma intrínseca; Es la modelización del razonamiento del sentido común, reflejando su carácter cualitativo, (Trillas, et al., 1994). Es capaz además, de representar las proposiciones del lenguaje humano con innumerables matices que no tienen un significado preciso, que no responden a un SI/NO o a un VERDADERO/FALSO, permitiendo llevar la riqueza de las expresiones semánticas a ámbitos científicos como la informática, las matemáticas, la física, etc., con la intención de describir las situaciones complejas y dinámicas, haciendo uso de razonamientos cualitativos. De este modo la ciencia se acerca al pensamiento humano. La lógica difusa permite el uso de variables lingüísticas como " de alta experiencia " o " mal tiempo " y permite calificación o clasificación subjetiva de los factores.

Un conjunto difuso se define como un conjunto cuyos elementos tienen distintos grados de pertenencia, expresados por una función de pertenencia que juega un papel similar al de las funciones de distribución en teoría de probabilidad, con la particularidad de que estas funciones de pertenencia se utilizan para representar la imprecisión. Se considera que el grado de pertenencia es un número entre 0 y 1, de manera que dado un elemento de un conjunto difuso, el 1 representa la pertenencia total al conjunto y el 0 la no pertenencia total. Entre el 1 y el 0 va reduciéndose de manera continua el grado de pertenencia que pueden tener los elementos. Cualquier elemento puede pertenecer a varios conjuntos en distintos grados.

En su formulación matemática, siendo Ω un conjunto, un subconjunto fuzzy \tilde{A} de Ω queda definido por una función de pertenencia designada como $\tilde{A}(x)$ que tomará valores en el intervalo $[0, 1]$. Si $\tilde{A}(x)$ siempre es igual a 1 ó a 0, se obtiene un subconjunto nítido (no-fuzzy) de Ω , de la forma $\tilde{A} = \{(x, \tilde{A}(x)), x \in \Omega\}$,

Siendo:

$$\begin{array}{ll} \tilde{A}(x) : \Omega \rightarrow [0, 1] & \forall x \in \Omega \\ \text{Si } \tilde{A}(x_0) = 1 & x_0 \in \tilde{A} \\ \text{Si } \tilde{A}(x_1) = 0 & x_1 \notin \tilde{A} \\ \text{Si } \tilde{A}(x_2) = 0.6 & x_2 \text{ tiene un grado de pertenencia a } \tilde{A} \text{ de } 0.6 \end{array}$$

Un número difuso se define con un conjunto difuso en el mundo de los números reales, y suele representarse con una función de pertenencia de forma triangular o trapezoidal, quedando definido si es difuso triangular \tilde{A} por tres valores [36] $a_1 \leq a_2 \leq a_3$, siendo la base el intervalo $[a_1, a_3]$ (con un grado de pertenencia de 0) y su vértice está en a_2 (con un grado de pertenencia 1). El núcleo del número difuso sería a_2 , el soporte inferior a_1 y el superior a_3 .

$$\tilde{A}(x) = (a_1, a_2, a_3) \quad [36]$$

Es posible determinar el rango o conjunto de valores que conforman un determinado grado de dependencia por el Alfa-corte $\tilde{A}[\alpha]$, que establece la precisión o robustez del resultado, determinando por ejemplo, entre que valores se encuentran los costes. Lo que se hace es ir tomando distintas “rebanadas” de alfa-cortes para aproximarse al valor 1, en el cual no hay incertidumbre.

Se define alfa-corte (α) de un subconjunto difuso \tilde{A} al subconjunto de \tilde{A} en el que sus elementos tienen una función de pertenencia mayor o igual que α . La fórmula [37] muestra con que se obtiene el Alfa-corte de un número triangular difuso (Ilustración 20).

$$\begin{aligned} \tilde{A}[\alpha] &= \{x \in \Omega \mid \tilde{A}(x) \geq \alpha\} & 0 \leq \alpha \leq 1 \\ \tilde{A}[\alpha] &= (Si[\alpha], a_2, Ss[\alpha]) = (a_1 + \alpha(a_2 - a_1), a_2, a_3 - \alpha(a_3 - a_2)) \end{aligned} \quad [37]$$

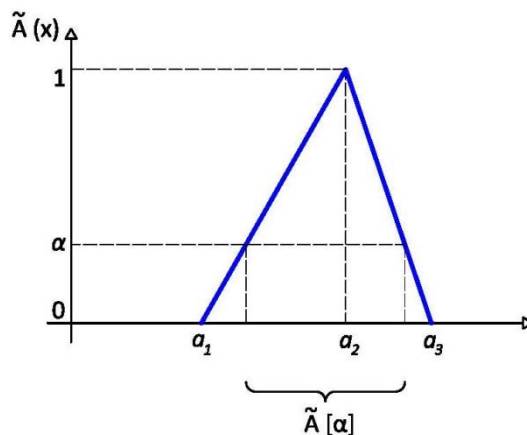


Ilustración 20: Número Difuso Triangular y Alfa-corte del número difuso.

Un número difuso trapezoidal \tilde{M} queda definido por cuatro valores [38] $a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4$, donde la base mayor del trapecio es el intervalo $[a_1, a_4]$ (con un grado de pertenencia 0) y la base menor es el intervalo $[a_2, a_3]$ (con un grado de pertenencia 1) (Ilustración 21).

$$\tilde{M}(x) = (a_1, a_2, a_3, a_4) \quad [38]$$

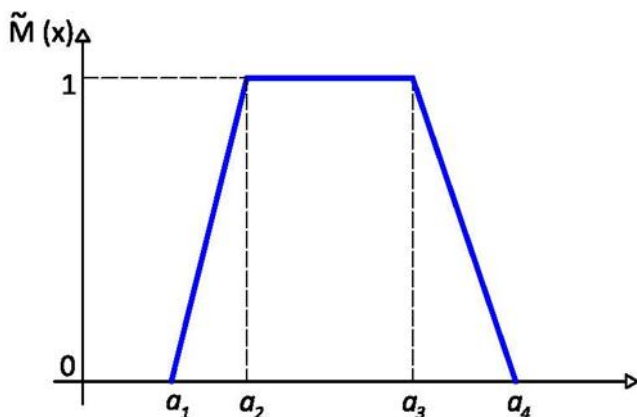


Ilustración 21: Número Difuso Trapezoidal \tilde{M}

Con los números difusos se pueden hacer las mismas operaciones aritméticas para resolver problemas que con los números nítidos, haciendo uso del procedimiento de los Alfa-cortes e intervalos aritméticos (Moore, 1979) (Neumaier, 1990), ya que con el método del “principio de extensión” de Zadeh resulta bastante complicado realizar los cálculos. Las operaciones aritméticas se representan con el símbolo # (Ponz Tienda, et al., 2012) (Ponz Tienda, 2010).

La experimentación ha demostrado, como la aplicación de la lógica Fuzzy se adecúa perfectamente al campo de los proyectos de arquitectura, en tanto que muchos de los factores de participación en el sistema, se asientan en la imprecisión, y en una falta general de datos que permitan la cuantificación exacta de estos factores; La medición de estos factores es menudo subjetiva e incierta, los datos reales no están disponibles o bien proceden de la experiencia histórica o el juicio de los expertos. Algunos autores como Wadia-Fascetti & Gunes (2000) y Knight & Robinson (2002) sostienen que la lógica difusa es una excelente técnica de modelado en la predicción de sobrecostos. La lógica difusa y los sistemas expertos difusos, se han convertido cada vez más en una herramienta popular en la investigación, aplicándose cada vez más en situaciones en las hay disponibles pocos datos deterministas; "La teoría de conjuntos difusos fue originalmente ideada para la incertidumbre asociada con el

modelo de la percepción humana o juicios de probabilidad subjetivas" (Goodman & Nguyen, 1985).

Así, la literatura evidencia como los factores globales de riesgo que afectan al rendimiento de los costes de los proyectos, se puede modelar usando la teoría de conjuntos difusos o técnicas fuzzy. Los trabajos publicados atienden a una metodología general común que habitualmente comprende las fases de determinación de los factores de desviación más importantes, definición de las variables, la definición de las funciones de pertenencia para cada variable y la construcción de la base de conocimientos.

La primera aplicación de la teoría de conjuntos difusos a la modelización de un sistema complejo, la encontramos en la publicación de Sugeno & Tanaka (1991), quienes proponen que los parámetros utilizados para hacer ajuste difusos, se derivan de las implicaciones difusas de un modelo y se extienden a la aplicación de reglas, mediante el uso de un concepto ampliado de la intensificación de contraste con el sistema complejo, mostrando mediante ejemplos, que el método es muy útil para modelar dichos sistemas complejos. Yoshinari, Pedrycz, & Hirota (1993), publican una investigación con base en los sistemas difusos, que persigue obtener resultados que permitan medir la accesibilidad con base en datos numéricos, como ayuda en la elaboración de proyectos; *“Los Modelos difusos diseñados con conjuntos difusos, es un método de agrupación en función de objetivos, que implicando una colección de relaciones lineales de variables, permite obtener resultados de utilidad para la determinación de sistemas”*.

La utilización de la lógica Fuzzy como herramienta en la modelización del sistema de desviación de presupuestos, goza de una importante presencia en los últimos tiempos, como manifiestan investigaciones como la presentada por Klir & Yuan (1995), que proponen un modelo utilizando relaciones binarias difusas de relaciones entre las características del proyecto y los eventos de riesgo con el fin de predecir el sobrecoste esperado al final del mismo. Dichas relaciones implican la aproximación de la relación entre dos conjuntos de datos dado el grado de asociación entre las series. En esta investigación, resalta la ventaja de la utilización de relaciones que no se basan en la pertenencia funciones, que pueden requerir de importantes conjuntos de datos, sino que puede utilizar opiniones de expertos representadas por una matriz cuyos valores corresponden a los grados de pertenencia entre conjuntos. Esta relación difusa permite la adhesión parcial, en oposición a la relación binaria, que sólo permite la presencia o ausencia de asociación con la asignación de valores de 0 ó 1.

Años después, Knight & Robinson (2002) describen un modelo para su uso en la predicción de los sobrecostes de proyectos, con el que evalúan la potencialidad de los riesgos de un proyecto y la probabilidad de desviación presupuestaria, utilizando la lógica difusa para modelar las relaciones entre sus atributos, los eventos de riesgo potenciales que pueden producirse, y los sobrecostos

asociados, causadas por la combinación de las características y los eventos de riesgo.

Li, Moselhi, & Alkass (2006) describen un método de predicción de sobrecostes y retrasos en el programa de proyectos de construcción, utilizando la lógica difusa, en el que se implementa un prototipo que funciona en el entorno de la World Wide Web, con una arquitectura abierta que permite a los usuarios interactuar de forma activa en el proceso de pronóstico, haciendo uso de su propia experiencia y conocimientos. También, Dikmen, Birgonul, & Han (2007) proponen un modelo para la evaluación del riesgo difuso de rebasamiento presupuestario, mediante el desarrollo de un sistema informático que es experimentado en una empresa de construcción internacional en la etapa de licitación de proyectos.

Desde la teoría conjuntos difusos, Nieto-Morote & Ruz-Vila (2011) presentan una metodología de evaluación de riesgos que combina la técnica del Análisis Jerárquico (AHP) y la lógica difusa en el intento de hacer frente a la subjetividad de los juicios de expertos; Incorpora el conocimiento y la experiencia adquirida de muchos expertos, que llevan a cabo la identificación y estructuración de los riesgos del proyecto, así como los juicios subjetivos de los parámetros que se consideran para determinar el factor de riesgo global: el impacto del riesgo, su probabilidad y la discriminación del tipo de riesgo. Todos estos factores se expresan por escalas cualitativas que están definidas por números difusos trapezoidales para determinar la imprecisión de las variables lingüísticas. Las diferencias más notables con otros métodos de evaluación de riesgos difusos, consisten en el uso de un algoritmo para manejar las inconsistencias en la relación de preferencia difusa cuando son necesarios los juicios de comparación por pares, y el uso de números difusos trapezoidales.

Otros estudios plantean como objetivo la determinación de la contingencia económica del proyecto. En esa línea de trabajo, la investigación presentada por Idrus, Nuruddin, & Rohman (2011), propone un enfoque flexible y racional que pretende utilizar el juicio subjetivo de los contratistas basado en análisis de riesgo y en el concepto del sistema experto difuso. En su validación, se comprueba que las predicciones dadas por el sistema ofrecían una precisión del 20% entre las contingencias calculadas y la diferencia entre el coste final y el presupuesto de proyecto.

El uso de lógica matemática como un formalismo para la inteligencia artificial, fue formulado por John McCarthy (1959), en su libro sobre programas con sentido común y en una serie de publicaciones posteriores en la década de los 60. Sin embargo, las relaciones entre lógica filosófica y la lógica artificial, son parte de una historia más larga. Es difícil encontrar una tema filosófico que no se imbrique con cuestiones que tienen que ver con la toma de decisiones, en las que quedan implicadas las deducciones llevadas a cabo por un proceso de discurso racional; Cualquier relación causal es inmanente del sentido común cotidiano; Cualquier postulado propuesto para ser plausible, debe ser susceptible de ser inferido por procesos racionales realizados por agentes distintos de los postulantes. No obstante, aunque la lógica artificial surgió a partir de la lógica filosófica, en la actualidad no se entenderían la una sin la otra en su nuevo establecimiento, en el que se han producido nuevas teorías que no habrían sido posibles fuera de una comunidad dedicada a la construcción de modelos computacionales a gran escala.

La **Inteligencia Artificial** (AI) constituye hoy un subcampo de la informática, dedicada al desarrollo de programas, que permiten a los ordenadores mostrar comportamientos que pueden (en términos generales) caracterizarse como inteligentes. La disciplina se apoya en un conjunto ecléctico de herramientas conceptuales, para la resolución de problemas por razonamiento idealizado en entornos realistas, y el uso de computadoras para modelar y probar sus teorías (Russell & Norvig, 2010).

Aunque las teorías de la lógica artificial, sean independientes de las implementaciones, puesto que es posible generar un razonamiento lógico artificial sin implementación computacional, la aplicación generalizada se realiza por aplicaciones de las ideas de la lógica en desarrollos que atienden a uno de los tres modelos de uso de la lógica artificial como herramienta de análisis, como base para la representación del conocimiento, y como un lenguaje de programación (Moore R. , 1985).

En los últimos años, las líneas de investigación en dirección de proyecto, han tratado de aplicar la inteligencia artificial para la predicción de los riesgos y en especial de los costes del proyecto, desde la suposición a priori de que cada proyecto se considera único y prototípico, y desarrollando modelos extremadamente complejos que incorporan una gran cantidad de factores de influencia y sus interacciones. Estos esfuerzos han dado software que requiere una potencia de cálculo considerable, un usuario sofisticado, la entrada de información subjetiva, e importantes datos de entrada (Blair, 1999).

El hecho de que la lógica artificial esté desarrollada para emular sistemáticamente la forma en que los seres humanos piensan, hace que su utilización sea especialmente adecuada para capturar el dominio cualitativo, a través de la opinión de expertos para el desarrollo de modelos de predicción de presupuestos. Aunque esta técnica no pueda sustituir a la planificación determinista y a los métodos de cálculo de costes, puede complementar los métodos de modelado en los casos en que la información del proyecto es vaga e incompleta (Hegazy & Ayed, 1998).

Entre las técnicas más extendidas en la aplicación de la inteligencia artificial al campo de la gestión de proyectos, están las redes neuronales artificiales.

Las redes neuronales (ANN) es una técnica de procesamiento de la información que simula el cerebro humano y la interconexión de sus neuronas (Chen & Hartman, 2000). La estructura de una ANN imita el sistema nervioso, por lo que permite que las señales viajen a fondo una red de elementos de procesamiento simples (similar a las neuronas) por medio de interconexiones entre estos elementos.

Muchos estudios, han utilizado la ANN para predecir los costes de construcción durante la fase de diseño de proyectos de arquitectura, dando resultados esperanzadores y ventajas destacables como su facilidad de aprendizaje, la rapidez de respuesta, o su tolerancia a datos imprecisos, ofreciendo según algunos autores, una mejor capacidad de predicción que los métodos estadísticos tradicionales.

La mayor ventaja sin duda de esta técnica, reside en la capacidad de aprendizaje de los modelos generados, empleando un mecanismo para adquirir las capacidades de resolución de problemas a partir de ejemplos "formación", mediante la detección de relaciones ocultas entre los datos y las soluciones obtenidas, de manera que estas pueden ser generalizadas a nuevos problemas. Además, las ANNs son especialmente adecuadas para el modelado no lineal de los datos, lo que la convierte en una técnica complementaria ideal al enfoque lineal de técnicas como la regresión multivariante.

El desarrollo de un modelo ANN atiende por lo general a los siguientes procesos:

- Los datos históricos o la baremación de los datos de expertos se normalizan mediante el uso de índices
- Se determinan las variables que se van a utilizar como insumos en el proceso de modelado
- Se fracciona la base de datos, utilizando un porcentaje de casos para la formación del modelo y el resto para probar la red neural

- Se configuran las capas de activación; Habitualmente una capa de entrada con las variables de entrada, una capa oculta con neuronas y capa de salida
- Se configura la alimentación de propagación (habitualmente forward-back y arquitectura de perceptrón multicapa)
- Se establecen las funciones matemáticas de activación de neuronas para la capa oculta y la capa de salida (Ejemplo: función hiperbólica tangente y función sigmoidea logística)
- Se formula la función de salida de cada neurona de la capa oculta
- Se formula la función de salida de la neurona
- Se entrena el modelo con datos de entrada y salida de ejemplo
- Se entrenan simultáneamente varias arquitecturas de red con diferente número de nodos (Ilustración 22)
- Aprendizaje por ajuste iterativo de pesos de conexión entre neuronas iterativamente
- Los pesos finales se almacenan en una matriz de peso
- Se valida la formación con los datos reservados para ello

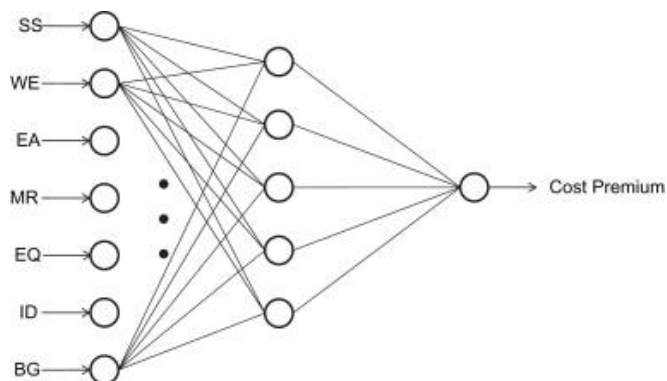


Ilustración 22. Ejemplo de Arquitectura de modelo ANN

Habitualmente, una vez que la red ha sido entrenada y probada, se realiza un Benchmarking del modelo ANN con herramientas estadísticas para comprobar la validez de predicción del modelo desarrollado.

El primer antecedente que se encuentra en la literatura de aproximación en la utilización de ANN a desviaciones de proyectos, lo encontramos en la publicación de Ashley (1989), quien generó un modelo de predicción del rendimiento general asociado a riesgos, para el análisis de proyectos de construcción, implicando la participación de muchos factores como la productividad, el diseño, la calidad, la adquisición y la interacción entre todos estos factores.

Durante la última década, el uso de redes neuronales para la estimación de costes, se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas para la generación de modelos de predicción de desviaciones de costes y la determinación de contingencias económicas que actúen como amortiguador del presupuesto; Chen & Hartman (2000) utilizan en su investigación técnica ANN para predecir el coste final de los proyectos, utilizando 19 factores de riesgo como datos de entrada, obteniendo un ajuste del 75 % entre coste final predicho con la variación real de rebasamiento o empotramiento del presupuesto final al proyecto concluido.

Otros ejemplos de interés de aplicación de la técnica en la literatura, lo constituyen investigaciones como la realizada por Attala & Hegazy (2003), quienes proponen un modelo predictivo de desviación de costes, basado en una encuesta a profesionales por la que se identifican 36 factores de influencia en el fenómeno. Presentan un benchmarking comparativo entre las técnicas de redes neuronales artificiales y el análisis estadístico por regresión multivariante; Günaydin & Doğan (2004) centran el estudio en la importancia de la estimación de costos en fases tempranas del proyecto, especialmente en la fase de diseño. Utilizan los datos de coste y atributos de treinta proyectos con ocho parámetros de diseño, para estimar el costo del metro cuadrado de edificios residenciales en Turquía. La precisión obtenida es del 93% del costo promedio; Especialmente interesante para en relación con esta Tesis resulta el trabajo de Calisir & Gumussoy (2005), que desarrolla un modelo de red neuronal en predicción de desviación presupuestaria expresada como porcentaje del presupuesto original; Cheung, Wong, Fung, & Coffey (2006) utilizan redes neuronales para desarrollar un modelo de predicción basado en una base de datos del Departamento de Vivienda de Hong Kong. Utiliza como variables de entrada los datos económicos de las licitaciones y los registros de finalización de proyectos. Demuestran que las dos variables económicas de entrada más sensibles en la predicción son la diferencia entre la licitación y la adjudicación, y la diferencia entre las ofertas extremas; La publicación de Tatari & Kucukvar (2011), presenta un modelo de red neuronal artificial para predecir el sobrecoste de construcción de edificios ecológicos, partiendo de los datos de casos concluidos publicados en la red. Los datos extraídos de cada edificio constan de año de construcción, tipo de edificio, ciudad y coste de construcción real. Todos los costes se normalizan en función del año y la ubicación mediante el uso de índices de coste espaciales y

temporales. Utiliza un total de siete variables como insumos en el proceso de modelado. El 70% de los casos se utilizan para la formación del modelo y el 30% se utilizan para probar la red neural. Además, se utilizan los casos de prueba, para medir el rendimiento del modelo seleccionado ANN; Wang, Yu, & Chan (2012) plantean la combinación de la técnica de redes neuronales artificiales y la clasificación “support vector machines”. Utilizan una encuesta de opinión realizada a los intervinientes de un total de 92 proyectos de construcción. Los resultados señalan que el nivel de planificación del proyecto, puede ser utilizado como indicador del desempeño económico final del proyecto.

CBR

En los últimos años, el **Razonamiento Basado en Casos** (CBR), ha experimentado un rápido crecimiento como paradigma de resolución de problemas, gracias a su diferenciación con el resto de los acercamientos de la inteligencia artificial; En lugar de confiar únicamente en el conocimiento general del dominio del problema, o realizar asociaciones a lo largo de relaciones entre descripciones del problema y conclusiones, este paradigma es capaz de utilizar conocimiento específico de experiencias previas, es decir, situaciones de un problema concreto (casos). Un problema nuevo es resuelto cuando se encuentra un caso pasado similar y se reutiliza en la situación del problema nuevo.

Su funcionamiento se basa en analogías apoyadas en el axioma que sostiene que “*problemas similares tienen soluciones similares*”, y su aplicación se ayuda de la minería de datos que procesa las situaciones similares asociadas a la solución de los problemas anteriores, utilizando la información y el conocimiento de este tipo de situaciones para resolver un problema nuevo (Aamodt & Plaza, 1994).

Se trata desde el enfoque de la inteligencia artificial, de un sistema experto; es un sistema que intenta imitar el comportamiento de un ser humano experto en el tema en cuestión, es decir imitan las actividades de un ser humano experto para intentar resolver los problemas de distinta índole.

Sus métodos básicos de representación del conocimiento son, en primer lugar las bases de datos estructuradas de modo que el significado no esté en un único nivel sino que se encuentre contenido en las relaciones entre datos, tanto relacionales como orientados a objetos; En segundo lugar, la lógica de predicados y los sistemas basados en reglas. En las BD relacionales, los datos se almacenan una única vez para que sea consistente, las relaciones entre datos se definen usando tablas relacionales y claves primarias y foráneas. En las BD orientadas a objetos, ciertos registros individuales son almacenados como instancias de clases. La clasificación de las entidades del mundo real en jerarquías de objetos y el uso de herencia, proporcionan a estas BD una potencia de representación del conocimiento mayor que las BD relacionales.

Aamodt y Plaza (1994), describen CBR como un proceso que consta de cinco pasos (Ilustración 23):

- Establecer una BASE DE CASOS
- RECUPERAR el caso o casos más similares
- REUTILIZAR la información y el conocimiento de este caso para resolver el problema
- REVISAR la solución propuesta
- GUARDAR la experiencia que se considere útil para resolver futuros problemas

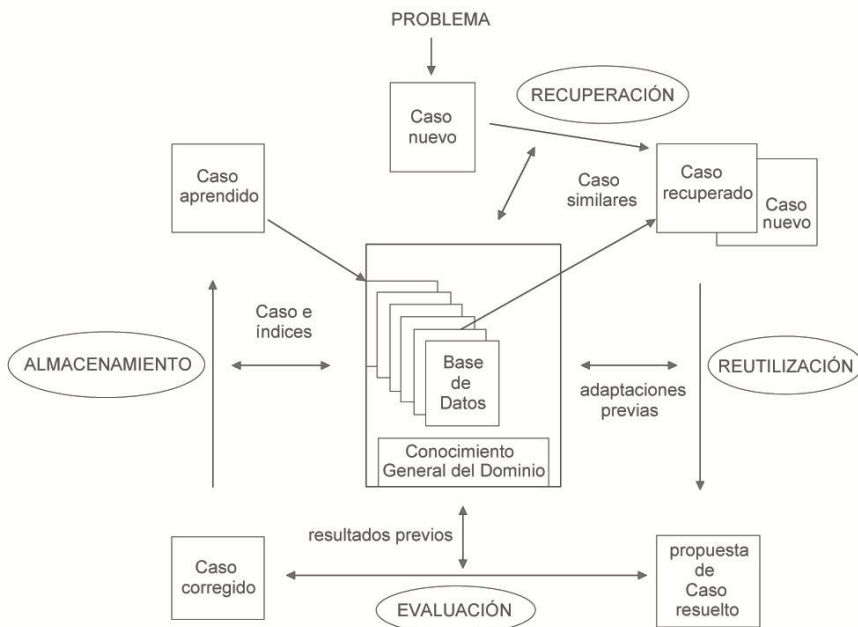


Ilustración 23: Ciclo de un sistema CBR

El desarrollo de un modelo de predicción de costes CBR requiere la recopilación de casos existentes y el **establecimiento de una base de casos**. Cada caso de la base, incluye información de colección de los atributos que pueden ser seleccionados por tres métodos:

- Atributos a partir de estudios anteriores (Kim & Kang, 2004)
- Atributos derivados de entrevistas con expertos (An & Kang, 2005)
- Atributos de mayor frecuencia en la literatura (Koo, Hong, Hyun, & Koo, 2010)

Para la determinación de los pesos de los atributos es necesario realizar una evaluación de similitud, que implica una comparación sistemática de los atributos del caso de prueba y las de los casos en la base de casos. Su eficacia depende principalmente de que los pesos reflejan la importancia relativa de los atributos en función de su influencia en la precisión de la predicción (Doğan, Arditi, & Günaydin, 2006).

El segundo paso en el ciclo CBR es **la recuperación de uno o más casos** similares de la base de casos donde está almacenada la experiencia pasada. Un caso está formado por varios atributos que dan una descripción del problema y una solución para el caso. Para poder llevar a cabo la tarea de recuperación es necesario tener un algoritmo de recuperación y una medida de similitud que permiten la selección de un conjunto de casos similares.

Hay tres métodos de recuperación de un caso similar; El método de recuperación inductivo, el método de recuperación basado en el conocimiento, y el utilizado con mayor frecuencia; el algoritmo del vecino más próximo (Barletta, 1991). En este último, se procede como sigue:

- Se selecciona el atributo que mayor coincidencia presente entre el caso y el valor de atributo en la base de casos
- Las similitudes de atributo se calculan comparando el valor entre los atributos. Si los atributos son variables nominales, se asigna una puntuación de 1 a los atributos que son idénticos, y 0 a los distintos. Si los atributos son variables numéricas, la puntuación de la similitud atributo se calcula utilizando la ecuación [39] (Kim & Kang, 2004):

$$AS = \frac{\text{Min}(AV_{nc}, AV_{rc})}{\text{Max}(AV_{nc}, AV_{rc})} \quad [39]$$

Dónde:

- AS Es la similitud del atributo
- AV_{nc}: Es el valor del atributo del nuevo caso de prueba
- AV_{rc}: Es el valor del atributo del caso recuperado

- La similitud caso se calcula sumando los valores resultantes de la multiplicación de la similitud de atributo y el peso de cada atributo. Siguiendo este procedimiento, se selecciona el caso más similar al problema. Las similitudes de casos se puede calcular mediante el uso de las similitudes de atributo y el peso de cada atributo, tal como se muestra en la ecuación [40] (Watson, 1997):

$$CS = \frac{\sum_{i=1}^n (AS_i \cdot AW_i)}{\sum_{i=1}^n AW_i} \quad [40]$$

Dónde:

- CS Es la similitud del caso
- AS Es la similitud del atributo
- AW_i Es el peso del atributo

Generalmente, el caso con la mayor similitud de la base de casos es seleccionado para resolver el problema del caso de prueba (Doğan, Arditi, & Günaydin, 2006).

El siguiente paso del ciclo es la tarea de **reutilización**. Aamodt & Plaza (1994) describen esta tarea centrada en dos aspectos: El primero, las diferencias entre el caso pasado y el actual; el segundo, qué parte o partes del caso recuperado pueden ser transferidas al nuevo caso. En algunos casos la tarea de reutilización se reduce a copiar la solución pasada al nuevo caso, pero en otros, la solución no puede ser aplicada directamente y tiene que ser adaptada. Se pueden distinguir dos tipos de adaptaciones (Watson, 1997):

- La adaptación estructural, que consiste en aplicar reglas de adaptación a la solución recuperada.
- La adaptación derivacional, que consiste en reutilizar fórmulas que generaron la solución pasada para conseguir una nueva solución para el problema actual.

Una vez finalizada la tarea de reutilización, la solución del nuevo problema tiene que ser probada; este proceso de prueba se hace durante la tarea de **revisión**. En este paso, la solución generada en la tarea de reutilización se evalúa, y si el resultado es satisfactorio, el nuevo caso y la nueva solución para el caso se almacenan. En la predicción de desviación de costes, si la similitud entre el caso de caso de prueba y el caso recuperado se aproxima a 1, el coste presentado desde el caso recuperado será más adecuado como solución del caso de prueba. Si la similitud se aleja del valor 1, la desviación incluirá incertidumbre tanto como la asociada al error similitud del caso, puesto que este error similitud del caso, se calcula a partir de la suma de los errores en cada atributo.

La última tarea del ciclo es el **almacenamiento**. En este paso, el nuevo caso y la solución para este caso (obtenida en la fase de reutilización) son almacenados con vistas a un posible uso futuro. Durante este proceso de aprendizaje, el sistema tiene que seleccionar qué información almacena del caso, la forma en la

que almacena esta información y cómo indexar el caso en la estructura de memoria para una posterior recuperación.

En el balance de idoneidad de la técnica CBR para la predicción del sistema de desviación presupuestaria, hay que señalar dos ventajas cualitativas respecto a otras técnicas. Una es su acercamiento al aprendizaje incremental sostenido, ya que se guarda una experiencia nueva cada vez que se resuelve un problema, pasando a estar disponible para futuros problemas desde ese mismo momento; una situación previamente experimentada, que ha sido capturada y aprendida de manera que pueda ser reutilizada para resolver futuros problemas, se almacena como caso previo o caso guardado. Así, un caso nuevo o un caso sin resolver no es más que la descripción de un problema nuevo a resolver, donde “resolver” puede ser desde justificar o criticar una solución propuesta, a interpretar el problema, generar un conjunto de soluciones posibles o generar expectativas de datos observados. La segunda ventaja es que no requiere de un modelo claro para la resolución de problemas, puesto que el modelo se puede establecer mediante la definición de atributos clave que expresan los casos. Esta técnica hace que sea fácil de establecer un modelo, y por ende permite un sencillo mantenimiento y el control de una gran cantidad de información mediante el uso de una técnica de base de datos (Kim & Kang, 2004).

Como técnica aplicable a la gestión de proyectos, CBR ha quedado sancionada en diversas áreas además de la estimación de costes (Doğan, Arditi, & Günaydin, 2006), como la gestión del diseño, la planificación y programación (Yau & Yang, 1998), la pre-calificación (Ng, 2001), y la licitación (Chua, Li, & Chan, 2001) (Luu, Ng, & Chen, 2003).

Diversos estudios han utilizado la técnica CBR para predecir los costes de construcción en la fase inicial de un proyecto. Marir & Watson (1995) utilizan CBR basado en experiencias históricas; Yau & Yang (1998) demostraron que la técnica CBR resultaba útil en la predicción de la duración y el coste de construcción en la etapa de diseño de proyecto. Otros ejemplos los encontramos en los trabajos de Marir & Watson (1995), Perera & Watson (1998), Yau & Yang (1998), Karshenas & Tse (2002), Kim & Kang (2004), Kim, An, & Kang (2004), An & Kang (2005), Doğan, Arditi, & Günaydin (2006) (2008), y Koo, Hong, Hyun, & Koo (2010). La mayoría de ellos, sin embargo, se han centrado en la fase de recuperación del ciclo de CBR en términos de cómo la técnica se pueden aplicar en la predicción de los costes de construcción, y sólo unos pocos han dirigido su objetivo a la predicción de la desviación de presupuesto a la conclusión del proyecto.

Desde que se extendió la utilización de la técnica CBR, los estudios han continuado para mejorar la calidad de las predicciones combinando su utilización con técnicas que se integran en el proceso de ponderación de pesos de casos y similitudes como: a) el conteo de funciones (FC), b) el método de gradiente de descenso (GDM), c) los algoritmos genéticos (GA), d) el proceso analítico

jerárquico (AHP), e) el análisis de regresión múltiple (ARM), y f) los árboles de decisión. Kim, An, & Kang (2004) desarrollan tres modelos de predicción de costes basado en CBR, MRA, y ANN, comparando el rendimiento de la predicción del cada uno de ellos. El resultado mostró que mientras que el modelo ANN es algo mejor que los otros modelos en términos de rendimiento de predicción, el modelo CBR es superior a los otros dos modelos en términos de utilización a largo plazo y el rendimiento en función de la información disponible.

Algoritmos genéticos

Los **Algoritmos Genéticos** (AGs), son métodos adaptativos constituidos por conjuntos ordenados y finitos de operaciones incluidas en el ámbito de la inteligencia artificial, que inspirándose en la evolución biológica e intentando replicar su comportamiento, permiten resolver problemas de búsqueda y optimización.

Están basados en el proceso genético de los organismos vivos; A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin en 1859. Por imitación de este proceso, los algoritmos genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

Los objetivos que perseguía su promotor John Holland (1975) y sus compañeros de la Universidad de Michigan cuando concibieron los AG eran dos: abstraer y explicar rigurosamente el proceso adaptativo de los sistemas naturales; y diseñar sistemas artificiales que retuvieran mecanismos más importantes de los sistemas naturales (Tolmos Rodríguez-Piñero, 2003). En este sentido se puede afirmar que los AG son:

“Algoritmos de búsqueda basados en los mecanismos de selección natural y genética natural. Combinan la supervivencia de los más compatibles entre las estructuras de cadenas, con una estructura de información ya aleatorizada, intercambiada para construir un algoritmo de búsqueda con algunas capacidades de innovación de la búsqueda humana” (Goldberg, 1989)

La concepción general de este método utiliza una analogía directa con el comportamiento natural; Trabaja como una población de individuos en la que cada uno de los cuales, representa una solución factible a un problema dado y en la que a cada individuo se le asigna un valor relacionado con la bondad de dicha solución. En la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir con unos determinados recursos, esto es, cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la probabilidad

de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma. Este cruce producirá nuevos individuos (descendientes) los cuales comparten algunas características de sus padres. Cuanto menor sea la adaptación de un individuo, menor será la probabilidad de que sea seleccionado para la reproducción y por tanto, de que su material genético se propague en sucesivas generaciones.

De esta manera se produce una nueva población de posibles soluciones, la cual reemplazará a la anterior y verificará la interesante propiedad de que contiene una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. Así, a lo largo de las generaciones, las buenas características se propagan a través de la población favoreciendo el cruce de los individuos mejor adaptados, al tiempo que van siendo exploradas las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda. Si el Algoritmo Genético ha sido bien diseñado, la población convergerá hacia una solución óptima del problema.

El Algoritmo Genético necesita para su aplicación de una codificación (conjunto de parámetros-genes) o representación del problema que resulte adecuada al mismo, y una función de ajuste (función objetivo) o adaptación al problema, la cual asigna un número real a cada posible solución codificada. Durante la ejecución del algoritmo, los padres deben ser seleccionados para la reproducción, a continuación dichos padres se cruzarán generando hijos sobre los que actuará un operador de mutación de forma aleatoria. El resultado de la combinación de las anteriores funciones será un conjunto de individuos (posibles soluciones al problema), los cuales en la evolución (iteración) del Algoritmo Genético formarán parte de la siguiente población (Ilustración 24).

```

BEGIN /* Algoritmo Genetico Simple */
  Generar una poblacion inicial.
  Computar la funcion de evaluacion de cada individuo.
  WHILE NOT Terminado DO
    BEGIN /* Producir nueva generacion */
      FOR Tamaño poblacion/2 DO
        BEGIN /*Ciclo Reproductivo */
          Seleccionar dos individuos de la anterior generacion,
          para el cruce (probabilidad de seleccion proporcional
          a la funcion de evaluacion del individuo).
          Cruzar con cierta probabilidad los dos
          individuos obteniendo dos descendientes.
          Mutar los dos descendientes con cierta probabilidad.
          Computar la funcion de evaluacion de los dos
          descendientes mutados.
          Insertar los dos descendientes mutados en la nueva generacion.
        END
      END
    END
  IF la poblacion ha convergido THEN
    Terminado := TRUE
  END
END

```

Ilustración 24: Pseudocódigo de Algoritmo Genético Canónico
fuente: T.Olmos Rodríguez-Piñero (2003)

El poder de los Algoritmos Genéticos reside en el hecho de que se trata de una técnica robusta (Leu & Yang, 1999), que pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que no existan conocimientos específicos sobre el problema a resolver (realizan cambios aleatorios en las soluciones candidatas y después utilizan la función de aptitud para determinar si esos cambios producen una mejora o no). Entre las ventajas de la metodología (Mohan, 1997), está que puedan operar simultáneamente con muchos parámetros y varias soluciones; que usen operadores probabilísticos, en lugar de los operadores determinísticos, y que cuando se usan para problemas de optimización no se encierran alrededor de los óptimos locales como sucede en las técnicas tradicionales.

En cuanto a su utilidad, si bien los Algoritmos Genéticos no garantizan soluciones óptimas del problema, si existe la evidencia empírica de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria.

La utilización de algoritmos genéticos como herramienta en la modelización del sistema de desviación de presupuestos, tiene una relativa presencia en la literatura de los últimos tiempos, y se presenta habitualmente como técnica de combinación asociada a otras herramientas de predicción; Kim et al. (2004) incorporan algoritmos genéticos en un modelo de predicción para la estimación del coste de edificios residenciales a partir de los datos de 530 proyectos concluidos entre 1997 y 2000; Villanueva et al. (2008) combinan la técnica de cuestionarios y algoritmos genéticos presentando un modelo de estimación de coste en entornos de incertidumbre; Reyes et al. (2011) identifican los factores de riesgo que pueden provocar el desbordamiento del presupuesto de proyecto utilizando algoritmos genéticos; Lee et al. (2013) centran su investigación en la etapa de diseño de proyectos de construcción, recurriendo a la combinación de las técnicas case-based reasoning (CBR) y algoritmos genéticos (gas) con un modelo de predicción de coste, alimentado por once de los atributos de cada uno de los proyectos históricos utilizados.

Obtención de Expertos

El procesamiento de la información en la materia objeto de estudio, obtenida de expertos, es una alternativa interesante en ausencia de registros históricos de datos, muy utilizada para el conocimiento de sistemas, especialmente los complejos, que permite la creación de modelos de predicción.

Trabajar con expertos, es por tanto, un método perfectamente válido para desarrollar evaluaciones de factores de influencia en el sistema de desviación de presupuestos, desde valoraciones subjetivas, siempre que el proceso de

obtención experto sea sistemáticamente estructurado para su utilización en un proceso participativo (como el método Delphi). “Consultar a expertos es un modo formal de obtener información valiosa o respuestas a preguntas específicas sobre determinadas cuestiones, cuya información es subjetiva” (de *Cano & de la Cruz, 2002*).

Existen diversas técnicas disponibles, que proporcionan la posibilidad de evaluar el conocimiento sedimentado, basándose en la experiencia personal y subjetiva de profesionales. Las técnicas más utilizadas son:

- Entrevistas de investigación
- Grupos de enfoque
- Técnica Delphi
- Técnica de Grupo NOMINAL (T.G.N.)

Las técnicas de obtención de expertos, utilizada en una gran diversidad de disciplinas, atienden por lo general a un proceso en el que se distinguen los siguientes pasos (*Ayyub & McCuen, 1997*):

1. Selección de tema
2. Selección de expertos
3. Cuestión de familiarización de los expertos
4. Formación de expertos
5. Obtención de datos
6. Agregación y presentación de resultados
7. Discusión y revisión por expertos
8. Revisión de los resultados y presentación de informes.

El propósito de las **entrevistas** (estructuradas o semi-estructuradas) es ampliar el alcance de un estudio, obteniendo una gama más amplia de los exponentes y poner a prueba las conclusiones extraídas de los trabajos exploratorios (*Steward & Steward, 1981*). Esto se puede lograr mediante el desarrollo de un esquema de preguntas elaboradas para su consideración por el entrevistado con preguntas clave acerca de los temas que se investigan. Las entrevistas semiestructuradas pueden ofrecer la oportunidad de evaluar el conocimiento tácito, basado en la experiencia individual de los profesionales (*Bannister & Fransella, 1989*), entendiendo el conocimiento tácito como el que se expresa en las acciones humanas en forma de evaluaciones, actitudes, puntos de vista, compromisos y motivación (*Koskinen, Pihlanto, & Vanharanta, 2002*).

Esta técnica de obtención de conocimiento, formalizada habitualmente con la utilización de encuestas por cuestionarios a expertos, se presenta en la literatura con gran profusión, especialmente en investigaciones cuyo objetivo es la determinación de los factores de desviaciones de las variables coste y tiempo de los proyectos. Así, se encuentran ejemplos en trabajos como el presentado por

Chan & Kumaraswamy (1996), en el que mediante encuesta por cuestionario a expertos en Hong Kong, se identifican 83 factores causales de sobrecostes agrupados en ocho grandes categorías. El informe sugiere la existencia de consistencia en la percepción entre los clientes y los consultores, y un desacuerdo considerable entre los consultores y contratistas, así como entre clientes y contratistas, con respecto a la clasificación tanto de los factores individuales como las categorías de los factores.

Odeh & Battaineh (2002) presentan los resultados de un estudio por cuestionario, dirigido a identificar las causas de las demoras en los proyectos de construcción, revelando la existencia de consistencia entre la opinión de contratistas y consultores en la identificación de las diez principales causas; Frimpong, Oluwoye, & Crawford (2003) publican los resultados de una encuesta llevada a cabo a propietarios, consultores y contratistas para identificar y evaluar la importancia relativa de los factores que contribuyen a los sobrecostes en proyectos de construcción en Ghana; Zhao, Hwang, & Low (2011) encuestan a 36 expertos, identificando que la gestión del sitio, la coordinación entre las distintas partes intervinientes, y la disponibilidad de mano de obra, fueron los tres principales factores que afectaron el desempeño de la programación de tiempos y costes de los proyectos de vivienda pública en Singapur; Doloi et al. (2012), formulan un modelo estructural teórico basándose en los datos recogidos de encuestas y entrevistas personales realizadas a 77 a promotores, contratistas y diseñadores, detectando la influencia de cuatro variables latentes clave sobre las desviaciones en los proyectos de construcción en India; Park & Papadopoulou (2012) identifican las causas de los sobrecostos en los proyectos de infraestructuras en Asia y valoran su relación estadística con el tamaño del proyecto. En su metodología analizan los datos de un cuestionario para clasificar las causas de los excesos de costes en función de su frecuencia, gravedad e importancia; Chan, Scott, & Chan (2004) plantean el uso de herramientas aplicadas a modelos basados en los datos, obtenidos por encuestas a expertos en diferentes escenarios, con el objetivo de determinar los factores y causas que afectan el éxito presupuestario de los proyectos. Identifican cinco grandes grupos de variables independientes cruciales para el éxito del proyecto: los atributos del proyecto, los procedimientos de proyecto, la gestión del proyecto, los factores relacionados con el ser humano y el entorno externo.

El **método Delphi** (Linstone & Turoff, 1975), fue ideado con el fin de obtener el consenso de opinión fiable de un grupo de expertos, sometiéndolos a una serie de cuestionarios con la finalidad de controlar la opinión mediante la retroalimentación. La técnica Delphi, como se verá en el marco experimental, puede utilizarse para obtener la opinión anónima de los expertos acerca de los riesgos de proyecto, proporcionándoles información previa y obteniendo la forma de distribución de sus opiniones y razones cuya reconsideración posterior, a la vista de la primera información obtenida, convergerá en lo que puede considerarse un razonamiento colectivo y consensuado.

El **método del Panel**, es una metodología de investigación multidisciplinar para la realización de pronósticos y predicciones. Fue desarrollada en la Corporación Rand por Norman Dalkey (1969), con motivo de un proyecto sobre pronóstico militar de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América, y en la actualidad, es una técnica ampliamente difundida, estudiada y empleada como es el caso de los análisis realizados por Delbecq, Van de Ven, Gustafson (1986) y Linstone y Turoff (1975) entre otros.

Linstone & Turoff (1975) identificaron la técnica Delphi como una forma anónima de obtención de las opiniones de los expertos sobre los sucesos y el razonamiento que hay detrás de las opiniones. Su objetivo es conseguir un consenso basado en la opinión y discusión entre expertos mediante un proceso repetitivo. La técnica es utilizada para diversos fines, destacando entre ellos:

- Formulación de problemas
- Establecimiento de metas y prioridades
- Identificación de soluciones

El resultado de los juicios de los expertos, son provistos a estos mismos, como parte de una ronda siguiente en la que reevalúan sus opiniones a la luz de esta información.

Las principales ventajas de la técnica Delphi, son:

- Obtención de la respuesta del grupo en forma estadística.
- Repetitividad y realimentación controlada.
- El anonimato permite obtener información de personas antagónicas.
- Es recomendable cuando existe gran incertidumbre en los datos, se encuentran dispersos o se carece de ellos.
- La actitud del “experto” es de búsqueda de respuestas y no de resistencia como podría ocurrir al reunir a los encuestados en grupo.
- Dar un juicio por escrito obliga al experto a pensar seriamente en el problema y en la respuesta.

La desventaja más notable de esta técnica es la nula interacción cara a cara entre los expertos, así como la sensación de duda por la manera en que se interpretan las respuestas.

Hay que considerar para la correcta aplicación de la técnica, algunas de sus deficiencias señaladas por autores como Sackman (1974), quien identificó la dificultad para resumir y presentar una escala de evaluación común para un grupo que pueda interpretarse de manera uniforme, así como la pérdida de los beneficios logrables por sinergias que pueden aportar técnicas que incluyan el diálogo activo.

Como recomendación general, todos los autores manifiestan la necesidad de tratar la información, preguntas y revisión de respuestas, de los expertos cuidadosamente, para así garantizar la objetividad. En este sentido, Okoli & Pawlowski (2004) proporcionan pautas rigurosas para el proceso de selección de los expertos adecuados para el estudio y proporcionan principios detallados para la toma de decisiones durante el proceso de diseño que garanticen un estudio válido.

La **Técnica de Grupo Nominal** (TGN), fue originalmente desarrollada como una herramienta de planificación para organizaciones por Delbecq, Van de Ven y Gustafson (1975). Su objetivo es la priorización de cuestiones u objetivos por consenso dentro de la organización. Su utilización está dirigida a la obtención de un vínculo moderador entre los participantes, que permita la exploración de las ideas de un equipo de expertos respecto de una cuestión objetivo.

En la actualidad, La Técnica de Grupo Nominal es utilizada como una alternativa a las técnicas del grupo de enfoque y a la técnica Delphi. Presenta mayor estructura que la primera, pero aun así se aprovecha de la sinergia que se genera en la utilización de grupos de participantes. Respecto a la segunda, aunque implica un proceso similar al método Delphi (Dalkey, 1969), su objetivo es más exploratorio en tanto que se genera mayor flujo de ideas fruto de la comunicación más fluida entre los participantes (Adler & Ziglio, 1996); El proceso estructurado de generación de ideas independientes, la retroalimentación, la evaluación y la agregación de opiniones, aumenta la participación individual.

Para su desarrollo, los participantes se reúnen en una sesión de debate dirigido por un moderador. Después de que el tema ha sido presentado a los participantes de la sesión y han tenido la oportunidad de hacer preguntas o discutir brevemente el alcance del tema, se les pide que tomen unos minutos para pensar y escribir sus respuestas (Delbecq, Van de Ven, & Gustafson, 1975).

Delbecq et al. (Delbecq, Van de Ven, & Gustafson, 1986) resumen el proceso de toma de decisión NGT en los siguientes pasos:

1. Generación silenciosa de ideas.
2. "Round-robin" o comentarios de los miembros del grupo para registrar las ideas.
3. Discusión, aclaración y evaluación de cada elemento registrado.
4. Votación individual sobre la prioridad de los elementos de la decisión del grupo, para su valoración matemática por rangos de ordenamiento o clasificación.

En la selección de candidatos para la conformación del panel de expertos, se debe considerar la participación de al menos tres tipos de participantes (Keeney & von Winterfeldt, 1991) que atiendan a la siguiente clasificación:

1. Especialista: El especialista debe estar a la vanguardia del conocimiento en su campo, y ser reconocido como líder por sus semejantes. Debe tener control de conocimiento y flexibilidad de pensamiento para aplicar su sabiduría a la cuestión que ocupa. Además, debe ser capaz de traducir sus conocimientos en sentencias que guarden relación con el problema.

2. Analista: El analista lleva a cabo la obtención de la sentencia de los especialistas. Los analistas deben tener conocimientos y experiencia en estadística, teoría de probabilidad y análisis de decisión, así como tener experiencia en los procesos de licitación. Su tarea consiste en ayudar a los especialistas a formular las cuestiones, para descomponerlas, articular sus juicios, comprobar la consistencia y ayudar a documentar el razonamiento de los especialistas.

3. Generalista: Es importante incluir al generalista en la provocación de los problemas tecnológicos complejos en los que la aplicación de los conocimientos especializados en el problema no es obvio. Los generalistas son expertos con amplio conocimiento acerca de muchos o todos los temas objeto de estudio. No es necesario que los generalistas estén a la vanguardia de su campo, pero deben sobresalir en la comunicación con los especialistas, sobre todo en la traducción del proyecto que necesita un lenguaje especializado. Los generalistas facilitan la esencial vinculación entre diversos temas.

Además, la composición del grupo y sus características están determinadas por su tamaño en cuanto al número de miembros que lo conforman, cuestión en la que existen dos tendencias a considerar; Un aumento en el tamaño del grupo estará acompañado por un aumento de la diversidad de capacidades, experiencia y conocimiento. Sin embargo, un mayor tamaño de grupo, puede redundar en una disminución en la participación individual puesto que en un grupo numeroso, se obtienen más bajos umbrales de participación (Chapman R. J., 1998). Simultáneamente, con el incremento del grupo, la intimidación de interacción disminuye, puesto que se incrementa la sensación de estar amenazados o inhibidos para participar debido a la impersonalidad de la situación. Así mismo, el tamaño condiciona la sensación que sus miembros tendrán de pertenencia al grupo (Clemen & Winkler, 1985), que queda asociada a la cohesividad, de modo que cuanto mayor sea el tamaño del grupo, menor será la cohesión. Chapman (1998) sugiere un grupo ideal cuyo número quede por debajo de doce miembros, en el que participen al menos cinco especialistas para cubrir la mayor parte de los conocimientos específicos, y el que la amplitud de opinión la porten dos o tres generalistas adicionales y dos o tres analistas.

La evaluación del índice de importancia que el grupo concede de cada uno de los factores valorados, puede obtenerse, utilizando la siguiente fórmula [41] (Delbecq, Van de Ven, & Gustafson, 1975):

$$I_i = \frac{\sum w \cdot f}{W \cdot F} \quad [41]$$

Dónde:

- I_i es el Índice de importancia del factor
- w es la ponderación, que va desde 1 a 10, dada a cada factor
- f es la frecuencia de la respuesta
- W es el peso más alto ponderable (habitualmente 10)
- F es el número total de participantes en el taller TGN

En relación a su validez como método de obtención de conocimiento de un problema, algunos autores como Lifson (1972), consideran que proporciona el método más apropiado para la obtención de la opinión de expertos, puesto que tiene la ventaja de necesitar menos tiempo para el resultado buscado.

A la técnica de grupo nominal, se le reconocen tres ventajas principales:

- La anonimidad del voto.
- La existencia de oportunidades para la igualdad de participación de los miembros del grupo.
- La reducción de distracciones en la forma de "ruido" de comunicación que puede ser inherente a otros métodos de grupo.

Algunas de las desventajas de la técnica de grupo nominal son:

- Las opiniones no pueden converger en el proceso de votación.
- La fertilización cruzada de ideas puede verse limitada. El proceso puede parecer demasiado mecánico.
- Los problemas de consenso que pueden provocar las reuniones cara a cara, bien porque un miembro dominante del grupo pueda influir en las opiniones de una manera inconsistente, o bien porque existan personas que puedan no estar dispuestas a cambiar de opinión cuando declaran públicamente.

La obtención del conocimiento de expertos desde cualquiera de la técnicas descritas, ha sido utilizado por un gran número de disciplinas (Ayyub & McCuen, 1997), logrando la extracción del saber tácito que se expresa en las acciones

humanas en forma de evaluaciones, actitudes, puntos de vista, compromisos y motivación (Koskinen, Pihlanto, & Vanharanta, 2002). En el campo de la gestión de proyectos, los métodos de obtención de expertos resultan especialmente eficientes para la determinación de los riesgos inherentes, y como ayuda en su evaluación para la toma de decisiones de los gestores (Laufer, 1996).

Conviene ser conscientes también, de las carencias y peligros que aparecen asociados a la metodología, según señalan algunos autores que ponen en tela de juicio la obtención de expertos como fuente única de conocimiento; Freudenburg & Pastor (1992) sugieren que los expertos en riesgo pueden estar sujetos a las mismas debilidades y errores de juicio que afectan al público en general, pudiéndose incurrir cuando se realizan análisis basados exclusivamente en esa fuente de conocimiento, en “la tiranía de precisión ilusoria”, transmitiendo una impresión de mayor nivel de confianza y precisión, que la que realmente está justificada. Freudenburg (1988) señala los principales errores en los que la metodología pudiera incurrir:

- Exceso de confianza en la fiabilidad de los análisis
- Incapacidad de reconocimiento de las interrelaciones en el sistema
- Dificultad de predicción del impacto acumulativo de problemas menores
- Deficiente valoración de los aspectos no técnicos, de un sistema tecnológico o los aspectos externos a su área de especialización
- Insuficiente atención a la sensibilidad de los supuestos
- Problemas de escasez de tamaño de la muestra
- Simplificaciones de análisis conscientes, por exclusión de eventos de baja probabilidad de consideración

“Ignoramos, porque sabemos sin saber que sabemos”

3. MARCO EXPERIMENTAL

La estrategia de investigación adoptada en esta Tesis, así como su justificación metodológica, se ajustan al método científico; La investigación científica se refiere al estudio sistemático, controlado, riguroso, empírico y crítico, de una proposición hipotética sobre una presunta relación, con el fin de encontrar la solución a un problema o descubrir e interpretar nuevos conocimientos (McCuen, 1996).

En ese sentido, se pretende no solo abundar en el conocimiento de las correlaciones causales existentes entre la realidad de la desviación de presupuestos en proyectos de arquitectura y los factores de riesgo asociados a los mismos, sino que además persigue la modelización del fenómeno para obtener una herramienta de predicción utilizable en fases tempranas de proyecto.

La fuente de conocimiento para la investigación la constituye la literatura y los datos disponibles del fenómeno investigado. Respecto de estos últimos, conviene señalar que la utilización de registros de datos asociados a la realidad que se pretende estudiar, resulta cuando no imposible por inexistentes, dificultosa por la sensibilidad de su información asociada. Existe en España una suficiente tradición en la elaboración de bases de datos técnicas asociadas a la ejecución de proyectos, obtenidas por la elaboración de fichas estadísticas de edificación obligatorias administrativamente, pero cuando de datos económicos se trata, estos se limitan a estudios realizados para el seguimiento de precios de venta de construcción o de mercado de inmuebles terminados, y no así de registros de relación de costes/presupuestos previstos y costes/presupuestos finales.

Por otra parte, los datos existentes, tanto en lo referente a proyectos en el sector público como los del sector privado, resultan además de escasos, relativamente difíciles de conseguir. En el primer caso porque su solicitud siempre levanta recelos en el Administrador de “lo público”, que es susceptible de ser evaluado en su actuación cuando se producen aumentos de presupuestos sustanciales. No obstante, aún en el supuesto del acceso libre a la información, a menudo se hace difícil hacer un seguimiento de los cambios múltiples y complejos que se producen en los proyectos y por tanto en sus costes asociados a lo largo del tiempo. En el segundo de los casos, porque en los proyectos privados tales datos son a menudo clasificados como comerciales, y por ende confidenciales en el intento de mantenerlos alejados de las manos de sus competidores comerciales. Desafortunadamente, también existe una tendencia a mantener los datos de los proyectos privados lejos de las manos de los investigadores por parte de los promotores, debido a que las más de las veces, los costes reales revelan desviaciones sustanciales que se consideran a menudo una vergüenza en la admisión de una deficiente gestión, y en último término la

circulación de una información que muchas veces debiera haber originado retasaciones de cargas administrativas derivadas de la concesión de las licencias y autorizaciones administrativas correspondientes.

Así las cosas, la proposición hipotética de esta Tesis asume la realidad de la ausencia de registros de datos históricos suficientes que permitan el análisis de la realidad del proceso presupuestario de la construcción en España, y sostiene que resulta posible modelizar el comportamiento del sistema complejo “desviación de presupuestos” desde el estudio sistemático y empírico de los datos obtenidos de los juicios, referidos exclusivamente a la experiencia concreta en proyectos, de expertos y profesionales del sector, obteniendo la valiosa información de sus conocimientos tácitos adquiridos.

Siguiendo a Yin (2003), por tratarse esta de una investigación exploratoria, se opta por la metodología de encuestas para la obtención del conocimiento. Una encuesta es una estrategia que permite a un investigador recoger datos directamente a partir de fuentes de una manera sistemática (Stone, 1978).

En el marco experimental se recurre como principal herramienta a la estadística, mediante la confección de pre-test, cuestionarios a expertos, y cuestionarios a profesionales del sector, que se someten a validación y posterior aplicación de las técnicas del Análisis Factorial exploratorio, Análisis Factorial confirmatorio y Regresión Logística Multinomial.

Diseño metodológico

Se puede asimilar la metodología de la investigación con los métodos para crear conocimiento, con procedimientos racionales y lógicos sobre fenómenos del mundo y la interpretación de estos conocimientos a la luz de las posiciones ontológicas y epistemológicas (Reich, 1994).

En esta Tesis se aborda un diseño metodológico cualitativo mediante una Revisión Sistemática (RS), con un diseño de investigación observacional y retrospectivo, que sintetiza los resultados de múltiples autores.

La metodología cualitativa, propia de un diseño científico fenomenológico, es una de las dos metodologías de investigación que tradicionalmente se han utilizado en las ciencias empíricas para el abordaje de aspectos no susceptibles de cuantificación. Este acercamiento a la ciencia tiene sus orígenes en la antropología, donde se pretende una comprensión holística, esto es, global del fenómeno estudiado y no traducible a términos matemáticos. El postulado característico de dicho paradigma es que «lo subjetivo» no sólo puede ser fuente

de conocimiento sino incluso presupuesto metodológico y objeto de la ciencia misma (Kerlinger, 1986).

La metodología cualitativa de esta Tesis, pretende:

Ser inductiva; como consecuencia de ello, presenta un diseño de investigación creativo y flexible, con interrogantes vagamente formulados, que incluso puedan incorporar hallazgos que no se han previsto inicialmente, y que ayudan a entender mejor el fenómeno estudiado.

Tener una perspectiva holística, global del fenómeno estudiado, sin reducir los sujetos a variables. El estudio del fenómeno de desviación de presupuestos, como sistema complejo requiere de la metodología cualitativa que no se interesa por estudiar el fenómeno acotado, sino que lo estudia teniendo en cuenta todos los elementos que lo rodean.

Buscar, comprender, más que establecer puras relaciones de causa-efecto entre los fenómenos.

Considerar al experto como instrumento de medida. El experto puede participar en la investigación, incluso ser el sujeto de la investigación, puesto que se considera la introspección como método científico válido.

Llevar a cabo el estudio de manera intensiva a pequeña escala. No interesa estudiar una población representativa del universo estudiado, como plantea la metodología cuantitativa, sino analizar menos sujetos en mayor profundidad. En este sentido, cabe decir que no se busca la generalización, sino la especificidad de la realidad observada.

No limitarse a probar teorías o hipótesis, sino también generarlas para que se abran futuras líneas de investigación.

Ser sistemática y rigurosa. La crítica más común que se hace a la metodología cualitativa es su carácter subjetivo, polarizado, impresionista, idiosincrásico y falta de medidas exactas cuantificables. Estas críticas se hacen siempre desde el punto de vista de la validez interna (que el resultado de la investigación represente el hecho real estudiado) y de la validez externa (que el resultado de la investigación sea aplicable a otras situaciones). En ese sentido, esta investigación cualitativa ahonda en la interpretación de los datos: supone un estudio más profundo y detenido de los datos observados, y tiene sus propios medios de conseguir validez, como es el empleo de la triangulación, cotejando los datos desde diferentes puntos de vista de los profesionales, lo cual ayuda además a profundizar en la interpretación de los mismos.

Básicamente los procesos de la metodología de la investigación cualitativa que se plantea, coinciden con las de la investigación cuantitativa (*Sampieri, Collado, & Lucio, 2010*):

- Definición del problema de investigación
- Elección de las variables de estudio
- Definición de los objetivos o planteamiento de la hipótesis
- Elección y operacionalización de la unidad de estudio
- Elección, adaptación o construcción de técnicas e instrumentos
- Aplicación de instrumentos, recolección de datos o prueba de hipótesis
- Elaboración y discusión de resultados y elaboración de las conclusiones
- Elaboración del informe final y comunicación

Fases y etapas

Las fases seguidas en el estudio empírico del fenómeno son:

1. Observación: Cuestionamiento informado y crítico del fenómeno, que conduce al planteamiento del problema y la pregunta de investigación.
2. Hipótesis: Expresión formal de una relación preconcebida del hecho que proporciona una explicación provisional o solución al problema.
3. Experimentación: Técnicas de recogida de datos de la investigación cualitativa en tres grandes categorías; Observación directa, entrevistas en profundidad (panel de expertos), y cuestionarios. Estudios conducentes a un análisis sistemático y controlado de la hipótesis.
4. Inducción: Una generalización de los resultados experimentales que conduce a una conclusión acerca de la declaración formal de la teoría.

Atendiendo al esquema de fases planteado (*Ilustración 25*) se plantean 7 etapas de la investigación (*Ilustración 26*); En primer lugar se establece desde la literatura, el modelo conceptual del sistema que se ha denominado “desviación de presupuestos”. Para ello, se define su estructura jerárquica que organiza el conjunto de variables y genera el Constructo Teórico.

El resultado de dicho Constructo, se contrasta con la obtención de la consulta de juicios a un panel de expertos por aplicación de la técnica Delphi, generando un cuestionario a profesionales del sector, cuyos datos respuesta sirven para realizar el análisis factorial de componentes principales que lo valide.

También a partir de los datos del cuestionario a profesionales, se genera un modelo predictivo por aplicación de la técnica de regresión lineal y regresión logística multinomial. El modelo así obtenido es validado para el diagnóstico de su comportamiento.

Los resultados obtenidos pretenden de este modo, ser validados y calificados con el objetivo de confirmar o refutar la hipótesis planteada.



Ilustración 25: Esquema de Fases de la investigación

Siete etapas constituyen la base de la investigación como se indica en la Tabla 1, y están destinadas a proporcionar respuestas a las preguntas de investigación;

ETAPA	PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	
1	Revisión de la literatura:	
		Constructo: factores relevantes
		Factores: variables relevantes
2	Juicios de expertos:	
	2.A	Delphi 1: Determinación variables relevantes
	2.B	Delphi 2: Convergencia de juicios
3	Análisis Factorial exploratorio	
4	Cuestionario: Juicio de profesionales	
5	Análisis Factorial Confirmatorio	
6	Modelización: Regresión Logística Multinomial	
7	Validación modelo predictivo	

Tabla 1: Etapas de la investigación

En la **Etapa 1**, se realiza una exhaustiva **revisión de la Literatura** cuyo análisis permite un punto de partida en la comprensión del Constructo; desde la determinación de los factores y sus variables asociadas señalados como más comunes por los autores relevantes. Se establece así un Estado del Arte de la factorización del Sistema que es utilizado en la segunda etapa.

En la **Etapa 2**, se obtiene el **juicio de expertos** por desarrollo de la técnica Delphi.

2.a. En una primera ronda de entrevista – cuestionario semi estructurado, partiendo de la factorización obtenida de la revisión de la literatura, se obtiene por análisis de puntuaciones, un conjunto de variables respuesta.

2.b. En la segunda ronda se obtiene la convergencia de juicios de los expertos; Del contraste del puntuaciones de la primera ronda con la selección de variables del Estado del Arte, se genera un segundo cuestionario cuyas puntuaciones dan solución al método delphi.

En la **Etapa 3**, se aplica la herramienta estadística de **Análisis Factorial Exploratorio** a los resultados obtenidos en el método Delphi, obteniendo además de una primera factorización del constructo, un conjunto de variables selección cuya validez de correlaciones permiten su utilización en la siguiente etapa.

En la **Etapa 4**, se obtiene el **juicio de profesionales** del sector en relación a las variables selección del análisis factorial exploratorio con un cuestionario de muestra suficiente.

En la **Etapa 5**, se valida el cuestionario, y se extrae el análisis de componentes principales del constructo mediante la técnica estadística de **Análisis Factorial Confirmatorio**. Las puntuaciones obtenidas son reservadas para su utilización.

En la **Etapa 6**, con las puntuaciones obtenidas en el ACP se realiza la **Regresión Lineal Multivariante** y **Regresión Logística Multinomial**, que permite modelizar el fenómeno.

En la Etapa 7, se **valida el modelo** predictivo.

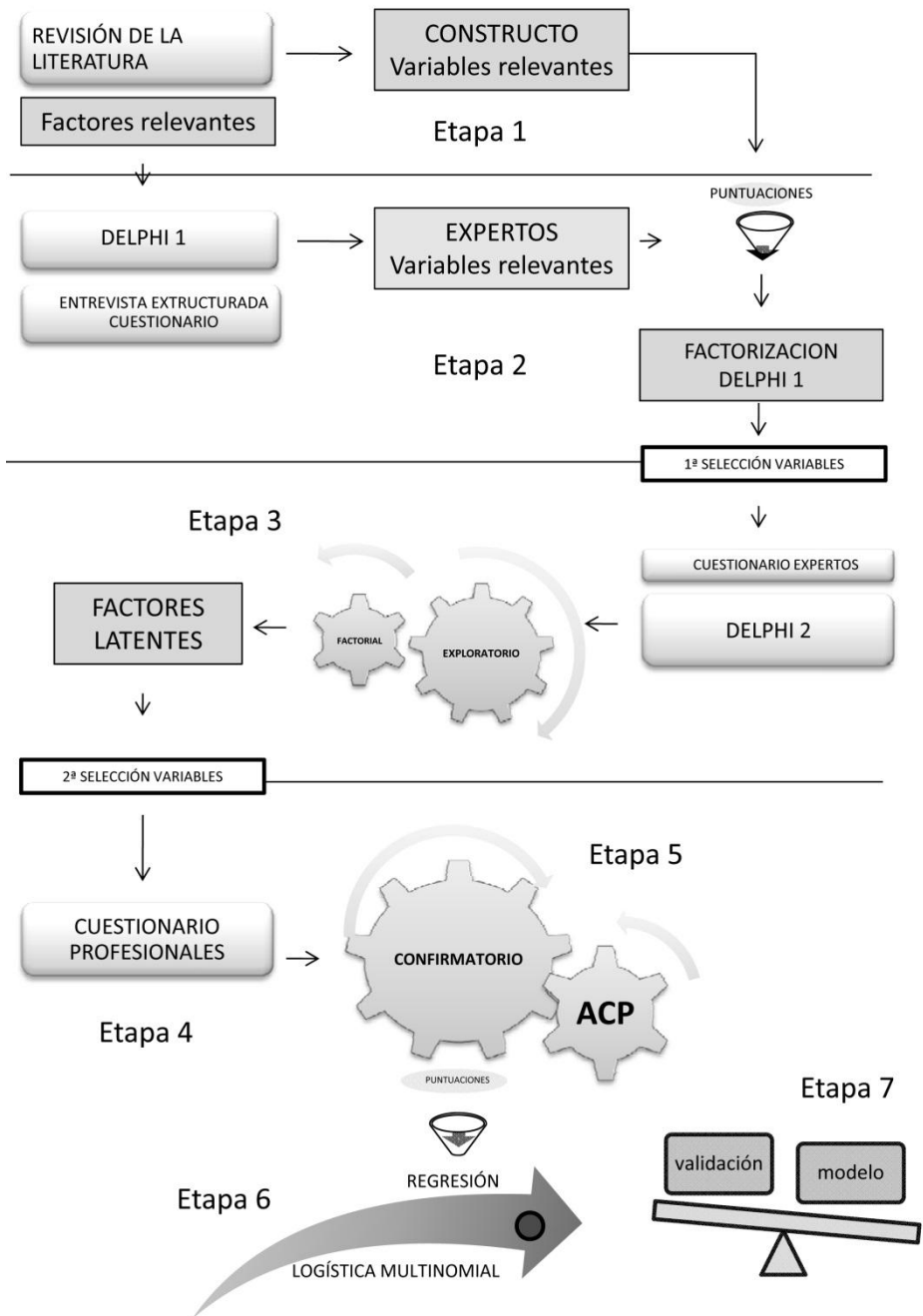


Ilustración 26: Etapas de la investigación.

EXTRACCIÓN DE FACTORES DE LA LITERATURA

Una exhaustiva **revisión de la Literatura** ofrece un punto de partida en la comprensión del Constructo teórico para la posterior factorización del sistema; desde la determinación de los factores y sus variables asociadas presentados con mayor frecuencia por los autores relevantes en la materia.

El estudio de la literatura pone de manifiesto no solo la multiplicidad causal del fenómeno, sino la diversidad de taxonomías en las que estructuran la cuestión los diversos autores; Los hay como Charles & Andrew (1990) que factorizan en función del origen organizativo responsable de la causa (promotor, contratista, diseñadores etc.), otros como Hegazy & Ayed (1998) que apoyan su clasificación en los atributos del proyecto como puedan ser las características técnicas, la constructibilidad o las circunstancias socioeconómicas en las que se desarrolla el proyecto, algunos como Shane, Anderson, & Schexnayder (2009), concluyen en una polaridad simplista catalogando las causas en endógenas o exógenas, los más como Kim & Bajaj (2000), establecen una relación de causalidades sin amparo de taxonomía alguna.

Esta diversidad y multiplicidad clasificatoria, contrasta sin embargo con el acuerdo generalizado entre los autores, consistente en la consideración de las desviaciones presupuestarias como un efecto del riesgo. La propia definición de riesgo como una probabilidad de fallo o peligro de sufrir un daño o pérdida, considera el origen de la merma como un evento indeseable y por analogía, podría definirse en los proyectos de construcción, como la probabilidad de un evento indeseable que resulta perjudicial para el proyecto. Dado que los objetivos de los proyectos de construcción se expresan por lo general como los objetivos establecidos para la función, coste, tiempo y calidad, los riesgos más importantes en la construcción son el hecho de no cumplir con estos objetivos.

Del resultado del razonamiento lógico expresado, nace la asociación inmediata entre riesgos de proyecto y desviación presupuestaria, que permite plantear la base conceptual, las variables y sus correlaciones del sistema complejo investigado.

En esa línea, son numerosos los autores que tratan el análisis de los eventos de riesgo como precursores de efectos perniciosos relativos al coste en los proyectos (Edwards, 1995) (Smith & Bohn, 1999) (Kim & Bajaj, 2000) (Ashworth & Skitmore, Accuracy in estimating, 1983) (Knight & Robinson Fayek, 2002).

La factorización extractada de la literatura relacionada con el análisis y gestión del riesgo de proyectos, atiende al índice de contenidos del apartado de **Revisión de Factores Causales** del Marco Teórico de esta Tesis, y se expresa conforme a la siguiente Taxonomía de causas de desviación de presupuestos:

ALCANCE DEL PROYECTO/CLIENTE	<ul style="list-style-type: none"> Modificación del alcance - objeto Decisiones inadecuadas- falta capacidad promotor Imposición plazos Indefiniciones del alcance - objeto Deficiente gestión Promotor Escasa diligencia en las decisiones del promotor
DISEÑO - PROYECTOS TÉCNICOS	<ul style="list-style-type: none"> Defectos e infra definición de diseño Defectos mediciones BD inadecuadas (imágenes de referencia) Discrepancias entre documentos de diseño Cambios de diseño Olvidos Complejidad de la construcción y constructibilidad
ENTREGA DE PROYECTO Y GESTIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Aprovisionamientos o contrataciones inadecuadas Gestión inadecuada Falta de capacidad o escasez de recursos Procedimientos inadecuados Deficiente coordinación de interesados Defectuosa o insuficiente planificación Defectuosa o insuficiente programación Falta control / seguimiento planificación Falta de estudios previos Deficiente control económico
LICITACIÓN Y ADJUDICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Baja actividad del mercado (oferta/demanda) Bajas de adjudicación excesivas o temerarias Capacitación y experiencia del contratista Estructura inadecuada del contratista al proyecto Cambio del proceso constructivo Deficiente mano de obra Deficiente análisis etapa preconstrucción Retrasos y deficiencias de subcontratistas Reejecuciones por calidad Falta experiencia/capacidad equipos Falta de motivación y liderazgo Deficiente planificación y programación construcción

CONTRATACIÓN

- Disputas/Conflictos
- Toma de decisiones inadecuada
- Retrasos en la cadena de suministros
- Falta comunicación e información intervinientes
- Falta de coordinación interesados
- Falta de compromiso

ENTORNO SOCIOECONÓMICO

- Movilidad precios e inflación
- Cambios legislativos y normativos
- Cambios políticos
- Optimismo interesado
- Sesgo estratégico y fraude
- Multas y penalizaciones
- Huelgas
- Licencias y autorizaciones imprevistas
- Retrasos suministros y servicios
- Escasa financiación
- Conflictos
- Deficiente formación y capacidad equipos
- Perfeccionismo
- Escasos rendimientos

AMBIENTALES Y FORTUITAS

- Condiciones imprevistas del terreno
- Sorpresas geológicas (bolos, fallas)
- Restricciones sitio / condiciones parcela
- Readaptaciones del diseño al sitio
- Sorpresas por acometidas de servicios
- Desastres naturales
- Inclencias meteorológicas
- Accidentes

ATRIBUTOS

- Tamaño del proyecto
- Plazo ejecución
- Importe del contrato
- Complejidad del proyecto
- Tipología y usos

La consideración del sistema complejo “Desviación de presupuestos” como un constructo teórico, lleva asociada la dificultad de su medición en tanto que constituye una abstracción no observable ni medible directamente. Para evaluar dicho tipo de abstracciones, resulta necesario comenzar con un claro entendimiento de lo que realmente es el constructo a evaluar, estableciendo claramente la comprensión de su significado, la naturaleza de sus propiedades básicas y cómo se manifiesta (*Corraliza, 1987*). Esto es, proceder desde una base establecida por la literatura a través de un modelo conceptual.

Un modelo conceptual es una representación organizada y sistemática de un modelo o constructo (*Carron, Brawley, & Widmeyer, 2002*); El conocimiento científico puede ser visto como una jerarquía; El fundamento de esta jerarquía es la hipótesis (una predicción relativa a las relaciones entre una serie de variables). Si aumentamos el nivel de conocimiento, surge la teoría (un conjunto de definiciones y predicciones que especifican las relaciones entre una serie de variables). Por último, la ley (una teoría bien definida y repetidamente verificada) estaría en lo más alto de la jerarquía (*Henry, 1968*).

Dentro de esta jerarquía científica, un modelo conceptual estaría entre la hipótesis y la teoría. Esto significa que el modelo conceptual plantea una representación más elaborada que la hipótesis acerca de las relaciones entre variables, pero no está tan bien desarrollada y sus variables no están bien definidas como es el caso de una teoría (*Carron, Brawley, & Widmeyer, 2002*).

Nuestro modelo conceptual, partiendo de la teoría, pretende la valoración del constructo mediante la utilización del juicio de expertos y cuestionarios; Este enfoque dirigido por la teoría (theory-driven approach), supone un paso más allá del enfoque dirigido por los datos que facilita el estudio de cualquier variable cuantitativa (data-driven approach) (*Carron, Brawley, & Widmeyer, 2002*).

Para su composición, establecemos claramente la asignación del significado que atribuimos a cada uno de los conceptos y su batería de ítems (item pool), que consideramos a priori reflejan manifestaciones del constructo.

De nuestro modelo conceptual hipótesis elaboramos la representación organizada y sistemática del constructo teórico, estableciendo una jerarquía en función de la predicción que hemos realizado, relativa a las relaciones entre un conjunto de variables agrupadas por factores latentes derivados de la extracción de la literatura y de las taxonomías clásicas de análisis de riesgos de proyectos:

Factor Latente 1.- **Diseño; El proyecto técnico** (Código D)

Se incluyen en este factor latente las variables relacionadas con la calidad del proyecto técnico y con su constructibilidad.

Factor Latente 2.- **La contrata** (Código C)

Se agrupan las variables asociadas tanto a la capacidad y actuación de la empresa constructora y sus subcontratas, como al proceso de contratación de la obra.

Factor Latente 3.- **La gestión** (código M)

Variables vinculadas al aprovisionamiento del proyecto, la coordinación de recursos intervinientes y en general el “Project management”.

Factor Latente 4.- **La planificación y el control** (Código P)

Variables pertenecientes al ámbito de la planificación, programación y control de los objetivos de calidad, tiempo y coste.

Factor Latente 5.- **El alcance del proyecto y el cliente** (Código A)

Se vinculan variables relativas a las decisiones del promotor del proyecto y el objetivo de proyecto establecido por el mismo.

Factor Latente 6. **Los factores ambientales** (Código F)

Se incluyen variables relacionadas con el ámbito físico de la construcción, y su entorno ambiental. La variable de ámbito geográfico queda excluida del factor latente, puesto que la investigación se limita a proyectos localizados en España.

Factor Latente 7.- **El factor humano** (Código H)

Variables propias de la participación de los recursos humanos intervinientes, sus capacidades, desempeños, actitudes e interrelaciones.

Factor Latente 8.- **El factor socioeconómico** (Código S)

Acoge variables pertenecientes a las condiciones económicas, administrativas, políticas y sociales en las que se desarrolla el proyecto.

Factor Latente 9.- **El factor fortuito** (Código I)

Se incluyen variables consideradas azarosas e incidentes de fuerza mayor.

DETERMINACIÓN DE FACTORES Y VARIABLES

La inclusión de cada una de las variables obedece al criterio de frecuencia de referencia en la literatura, y su asignación a cada factor latente, a la taxonomía de riesgos de proyecto planteada.

El modelo conceptual obtenido se refleja en el siguiente esquema de factores y variables:

código	D_PROYECTO/TÉCNICOS (EL DISEÑO)	1
D.1	Complejidad construcción	
D.2	Defectos/infradefinición de diseño	
D.3	Defectos mediciones	
D.4	Discrepancias entre documentos de diseño	
D.5	Cambios de diseño	
D.6	Olvidos	
D.7	Constructibilidad	
D.8	BD inadecuadas (imágenes de referencia)	

código	C_CONSTRUCTOR/CONTRATACIÓN	2
C.1	Contratación / Ofertas demanda / Bajas licitación	
C.2	Disponibilidad	
C.3	Estructura inadecuada al proyecto	
C.4	Capacitación/experiencia contratas/subcontratas	
C.5	Cambio de proceso constructivo	
C.6	Deficiente mano de obra	
C.7	Análisis etapa preconstrucción	
C.8	Retrasos/Subcontratistas/Deficiencias	
C.9	Gestión inadecuada	
C.10	Reejecuciones por calidad	

código	M_PROYECTO/GESTIÓN	3
M.1	Retraso aprobación cambios	
M.2	Deficiente dirección de obra	
M.3	Adjudicaciones temerarias (arriesgadas)	
M.4	Gestión inadecuada	
M.5	Falta capacidad / Escasez de recursos	
M.6	Procedimientos inadecuados	
M.7	Aprovisionamientos / contrataciones inadecuadas	
M.8	Coordinación deficiente	

código	P_PROGRAMACIÓN/PLANIFICACIÓN CONTROL	4
P.1	Defectuosa/ insuficiente programación / planificación	
P.2	Deficiente asignación/distribución recursos	
P.3	Falta control / seguimiento planificación	
P.4	Reconstrucciones para calidad	
P.5	Falta de estudios previos	
P.6	Retrasos de obra	
P.7	Deficiente control económico	
P.8	Organización obra	

código	A_ALCANCE/CLIENTE	5
A.1	Alcance objeto modificación	
A.2	Decisiones inadecuadas- falta capacidad	
A.3	Imposición plazos	
A.4	Indefiniciones objeto	
A.5	Deficiente gestión Propiedad	
A.6	Retraso en pagos	

código	F_AMBIENTAL/FISICO(ENTORNO)	6
F.1	Condiciones terreno imprevistas	
F.2	Restricciones sitio / condiciones parcela	
F.3	Adaptaciones diseño al sitio	
F.4	Desastres naturales	
F.5	Inclencias meteorológicas	
F.6	Sorpresas geológicas (bolos, fallas)	
F.7	Acometidas y servicios	

código	H_HUMANO	7
H.1	Toma de decisiones inadecuada	
H.2	Falta comunicación/información/ coordinación	
H.3	Disputas/Conflictos	
H.4	Falta experiencia/capacidad equipos	
H.5	Falta de liderazgo/motivación / compromiso	
H.6	Accidentes laborales	
H.7	Perfeccionismo	
H.8	Escasos rendimientos	

código	S_SOCIAL/ENTORNO	8
S.1	Movilidad precios / situación mercado	
S.2	Cambios legislativos/normativos	
S.3	Cambios políticos	
S.4	Multas y penalizaciones	
S.5	Huelgas	
S.6	Licencias y autorizaciones imprevistas	
S.7	Retrasos suministros y servicios	
S.8	Financiación	
S.9	Subestimación / Sesgo optimista / Fraude	
S.10	Costumbre / Hábito	

código	I_FORTUITAS / INCIDENTES	9
I.1	Fuerza mayor	
I.2	Accidentes	

JUICIO DE EXPERTOS. TÉCNICA DELPHI.

En esta etapa de la investigación, se obtiene el **juicio de expertos** respecto de los factores latentes y sus variables asociadas al fenómeno, mediante el desarrollo de la técnica Delphi.

2.a. En una primera ronda de entrevista – cuestionario semiestructurado abierto, partiendo de la factorización obtenida de la revisión de la literatura, se obtiene por análisis de puntuaciones, un conjunto de variables respuesta.

2.b. En la segunda ronda se obtiene la convergencia de juicios de los expertos; Del contraste del puntuaciones de la primera ronda con la selección de variables del Estado del Arte, se genera un segundo cuestionario cuyas puntuaciones dan solución al método delphi.

Procedimiento

Antes de iniciar el proceso se realizaron una serie de tareas previas:

1. Se delimitó el contexto y el horizonte temporal en el que se quiere realizar la previsión sobre el tema objeto de estudio.
2. Se seleccionó el panel de expertos y se consiguió su compromiso a colaborar.
3. Se explicó a los expertos detalladamente, en qué consiste el método. Con esto se obtienen previsiones fiables, ya que se facilita que los expertos conozcan cual es el objetivo de cada uno de los procesos que requiere esta metodología.

El desarrollo de la técnica, se inicia con la elaboración de un cuestionario que ha de ser contestado por los expertos en dos o tres ocasiones; para ello, se envía un primer cuestionario y una vez recibida la información se vuelve a realizar otro cuestionario, basado en el anterior para ser contestado de nuevo, en el que se les pide que revisen sus opiniones a la luz de la información contenida en los comentarios. Esta secuencia de cuestionario y revisión puede repetirse hasta que no existan cambios de opinión (convergencia de juicios). Es importante señalar, que tanto en los resultados parciales (de las rondas) como en el resultado final, es conveniente observar cómo varían las respuestas de cada pregunta, como orientación para determinar el número de rondas necesarias. Por último, el responsable designado, elabora sus conclusiones a partir de la explotación estadística de los datos obtenidos.

En la aplicación de la técnica intervienen tres grupos diferentes según se muestra en el esquema (Ilustración 27):

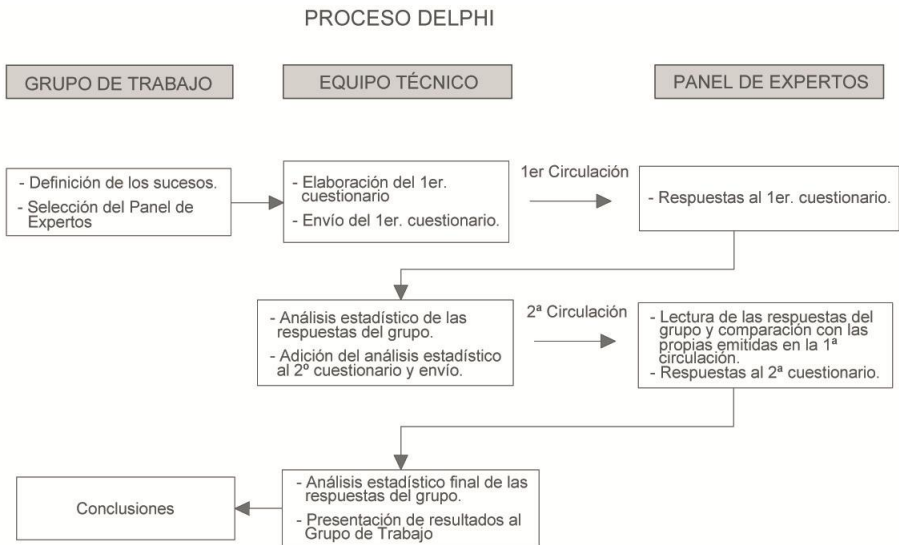


Ilustración 27: Esquema de procesos técnica Delphi

Para empezar, el grupo conductor y los decisores definen el problema y las preguntas; se marcan los objetivos, las necesidades del estudio y la clase de resultados que se pretende alcanzar.

Los expertos asumen la responsabilidad de emitir juicios y opiniones. Los criterios para su elección varían dependiendo del tema y el propósito del estudio, de tal manera que, en ocasiones se seleccionan expertos desde un enfoque tradicional, considerando su nivel de conocimiento, experiencia, publicaciones y prestigio. También se puede clasificar como grupo de expertos a un conjunto de individuos capaces de clarificar y sintetizar; como por ejemplo un grupo de profesores o estudiantes con creatividad y con suficiente motivación frente al problema planteado.

Los diferentes estudios no consensuan la categorización y procedencia de los expertos, pero podemos considerar como tal a aquel individuo cuya opinión tiene gran valor. Según Powell (2002), los aspectos claves de la técnica Delphi son el número y la calidad de los expertos participantes en las encuestas.

En la investigación, el criterio de selección del panel de expertos utilizado obedeció al concepto “reconocido prestigio” y a la doble estratificación en los grupos; Diseñadores proyectistas; Contratista; Gestores de proyectos; Directores

de obras; Promotores y Profesores de universidad. Los Subgrupos se dividieron por tipologías, y ámbitos de los proyectos experimentados.

El muestreo se realizó estratificado por afijación proporcional (reparto proporcional de la muestra entre los distintos estratos) en base al número de población de cada uno de los mismos (se mantiene constante el coeficiente de elevación). El panel queda conformado por 30 expertos miembros con la distribución (Tabla 2):

ACTIVIDAD PROFESIONAL PREDOMINANTE	MIEMBROS	%
Promotores	4	13%
Proyectistas	7	23%
Dirección de obra	6	20%
Contratistas	6	20%
Project Managers	4	13%
Prof. Universidad	3	10%
TOTAL	30	100%



Tabla 2: Composición Panel Expertos

Las etapas y metodología desarrollada en la aplicación de la técnica Delphi, se resume como sigue:

En la **primera etapa** se realizó una ronda de cuestionario semi-estructurado abierto. Se plantearon preguntas abiertas en las que se solicitó el juicio sobre las causas de las desviaciones de presupuestos, estructuradas en los factores latentes obtenidos de la revisión de la literatura.

En la **segunda etapa** se obtuvo la convergencia de juicios de los expertos; Con las respuestas e ideas iniciales se elaboraron los reactivos, para que los expertos pudieran valorarlos, jerarquizarlos o compararlos en un segundo cuestionario. Las preguntas se presentaron de forma clara y precisa.

Es importante señalar, que tanto en los resultados parciales (de las rondas) como en el resultado final, se observó cómo variaron las respuestas de cada pregunta para determinar el número de rondas necesarias. Se realizaron dos rondas de envío y recepción de cuestionarios, después de aplicar el criterio de estabilización. Para ello se aplicó la variación del coeficiente de variación (V), que consiste en calcular la desviación típica de las respuestas individuales, dividida entre la media, y fijar un nivel arbitrario de reducción como referencia para la

finalización. Después de realizar dos rondas de encuestas sucesivas, disminuyó el coeficiente de variación y arrojó un valor inferior al nivel prefijado (como se verá más adelante), determinándose así que se había alcanzado la estabilidad y dando por finalizado el proceso. Otra medida comprobada es la variación del recorrido intercuartílico relativo (Landeta, 2002).

Para la comprobación de formación de subgrupos de criterio, se utilizó el coeficiente de correlación de rangos de Spearman, como técnica auxiliar para interpretar las causas que conducen a comportamientos diferenciados entre los expertos (razones geográficas o profesionales).

En la **tercera etapa**: El grupo coordinador integró y analizó la información, generando los resultados.

Delphi Etapa 1. Variables y Factores relevantes

En la primera etapa de la técnica Delphi, se realizaron entrevistas por cuestionario semiestructurado abierto, en el que se incluyó, además del apartado de categorización, 9 secciones abiertas de valoración de causas de incidencia de las desviaciones de presupuestos por cada uno de los factores latentes preestablecidos, en las que además se solicita por ítems de escala Likert, la asignación de peso de cada factor latente en el constructo. Se habilitan dos campos abiertos para comentarios y una escala de contraste de ponderación (Anexo I).

Las respuestas procesadas corresponden a las de los 30 expertos incluidos en el panel, con los siguientes estadísticos descriptivos (Tabla 3):

Descriptive Statistics						
	N	Range	Mean	Std. Deviation	Variance	RIW weight relative
PROYECTO_TECNICO_D	30	5	6,7647	1,67815	2,816	0,15
PROMOTOR__ALCANCE_A	30	7	6,5882	1,83912	3,382	0,14
CONSTRUCTORA_C	30	6	5,9412	2,01465	4,059	0,13
PROJECT_MANAGEMENT_M	30	8	5,4118	2,34678	5,507	0,12
PROGRAMACION__CONTROL__P	30	8	5,2941	2,51905	6,346	0,12
FACTOR_HIUMANO__H	30	7	5,2353	2,22288	4,941	0,11
ECONOMICO__SOCIAL__S	30	6	4,2941	1,8962	3,596	0,09
ENTORNO_FISICO__F	30	5	3,5882	1,54349	2,382	0,08
CAUSAS_FORTUITAS__I	30	7	2,7647	1,85504	3,441	0,06

Tabla 3: Descriptivos Estadísticos Delphi ronda 1

Con los resultados obtenidos, se establece la importancia relativa que los expertos atribuyen a cada Factor Latente responsable de desviaciones presupuestarias, calculando la suma de las puntuaciones asignadas por los encuestados.

El peso relativo (RIW) de cada factor se calculó utilizando la siguiente ecuación [42]:

$$RIW = \frac{\sum_{i=1}^{30} a_f}{\sum_{j=1}^9 A_F} \quad [42]$$

Dónde:

a_f = Puntuación del factor

A_F = Puntuación de todos los factores

Siendo las puntuaciones:

Ninguna influencia	= 1
Mucha influencia	= 9

La selección de variables se realizó atendiendo al cálculo de las frecuencias utilizando las siguientes ecuaciones [43]:

$$F_f = \frac{n_i}{n_f} \cdot 100 \quad \text{y} \quad F_v = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^9 n_f} \cdot 100 \quad [43]$$

Dónde:

F_f = Índice de frecuencia de la i variable en el Factor Latente

F_v = Índice de frecuencia de la i variable en el Constructo

n_i = Número de menciones de la variable en el factor

n_f = Número total de menciones del factor

j = Número de Factores

A efectos de interpretación y representación de los resultados, las respuestas a cada cuestión se agrupan del siguiente modo (Landeta, 2002):

- a) **Unanimidad:** Cuando todo el panel efectúa idéntica predicción.
- b) **Consenso:** Cuando al menos las 3/4 partes del panel realizan la misma predicción sin alcanzar la unanimidad.

c) **Discordancia o discrepancia** se considera para el resto de situaciones posibles, es decir, cuando un mismo pronóstico no es compartido por, al menos, las 2/3 partes del panel.

Pretendiendo exclusivamente en esta etapa de la investigación una primera convergencia de juicios que permita la reducción del número de variables, se opta por la consecución del **consenso** de los expertos en la causalidad del Constructo, de modo que se seleccionan en cada factor latente las variables que justifican una frecuencia agregada dentro del factor superior al 80%, comprobando además, que la suma de frecuencia de las variables seleccionadas supere el valor 0,80 en el conjunto del Constructo. Así seleccionadas las variables, se conforma con ellas el conjunto de ítems que constituye la segunda ronda de la técnica Delphi. Además, se contrasta la inclusión de cada una de ellas, en la relación de variables extractada de la literatura, comprobando que todas ellas se encuentran suficientemente referidas.

Atendiendo a lo requerido, se adopta el siguiente modelo conceptual con la composición de variables, que se refleja como base para la de elaboración del cuestionario de la segunda etapa del método Delphi:

Código	D_PROYECTO/TÉCNICOS (EL DISEÑO)	1
D.2	Defectos / infradefinición de diseño	
D.3	Defectos mediciones	
D.7	Constructibilidad	
Índice total de Frecuencia en el factor :		75,86%
Código	C_CONSTRUCTOR/CONTRATACIÓN	2
C.1	Contratación / Ofertas demanda / Bajas licitación	
C.4	Capacitación/experiencia contratas/subcontratas	
C.7	Análisis etapa preconstrucción	
C.9	Gestión inadecuada	
Índice total de Frecuencia en el factor :		76,67%
Código	A_ALCANCE/CLIENTE	3
A.1	Alcance objeto indefinición / modificación	
A.2	Decisiones inadecuadas- falta capacidad	
Índice total de Frecuencia en el factor :		86,96%

Código	M_PROYECT/GESTIÓN	4
M.2	Deficiente dirección de obra	
M.4	Gestión inadecuada	
M.7	Aprovisionamientos / contrataciones inadecuadas	
M.8	Coordinación deficiente	
Índice total de Frecuencia en el factor :		76,19%

Código	H_HUMANO	5
H.2	Falta comunicación/información/ coordinación	
H.4	Falta experiencia/capacidad equipos	
H.5	Falta de liderazgo/motivación / compromiso	
Índice total de Frecuencia en el factor :		82,61%

Código	P_PROGRAMACIÓN/PLANIFICACIÓN CONTROL	6
P.1	Defectuosa/insuficiente programación / planificación	
P.4	Re ejecuciones para calidad	
P.7	Deficiente seguimiento / control económico	
Índice total de Frecuencia en el factor :		79,17%

Código	S_SOCIAL	7
S.1	Movilidad precios / situación mercado	
S.8	Financiación	
Índice total de Frecuencia en el factor :		89,80%

Código	F_AMBIENTAL/FISICO(ENTORNO) + FORTUITAS	8
F.1	Condiciones terreno imprevistas / geológicos	
F.2	Restricciones sitio / condiciones parcela	
I.1	Climatología / Fuerza mayor	
Índice total de Frecuencia en el factor :		80,77%

Delphi Etapa 2. Convergencia de juicios

En esta etapa se busca la convergencia de juicios del panel de expertos, que se obtiene por la técnica de cuestionario a expertos; En la formulación más académica o teórica del método Delphi, el trabajar buscando la convergencia de los expertos en base a disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana, supone el tener que realizar dos o más consultas (rondas) a los expertos (Godet, 1996) (Landeta, 2002). Por ello se acomete el estudio prospectivo procediendo al lanzamiento y tratamiento de la segunda vuelta con un doble objetivo:

- a) Remitir y hacer partícipes de la información obtenida a todos aquellos que han colaborado en el estudio con la aportación de su conocimiento y opiniones.
- b) Consolidar y refrendar los resultados obtenidos en la consulta inicial; La experiencia indica que las variaciones respecto a los resultados iniciales son mínimas en éste tipo de estudios.

Contenido y metodología

En la segunda ronda, se realiza un cuestionario anónimo a expertos en el que se recogen algunos datos personales y de identificación del usuario para poder posteriormente realizar un análisis detallado por categorizaciones.

Los ítems incluidos, se corresponden con las variables seleccionadas del análisis de la primera ronda Delphi. Se incorporan escalas que incluyen respuestas abiertas, respuestas dicotómicas, respuestas categóricas, y tipo Likert (de 0 a 10 en el que 0 representa ninguna influencia y 10 representa mucha influencia). La escala tipo Likert pertenece a los tipos de escala que mide actitudes; es decir, aquella que se emplea para medir el grado en que se da una actitud o importancia respecto a cuestiones específicas en un sujeto determinado. Resulta especialmente indicada para la medición de actitudes de intensidad, en las que se trata de elegir respecto a una pregunta o proposición entre varias respuestas que expresan el grado de aceptación o rechazo de la pregunta en cuestión. Generalmente las categorías de las preguntas en estas escalas suelen ser cinco o siete, no obstante se ha elegido una escala impar del 0 al 10 que permite el tratamiento estadístico de los datos bien como variables ordinales, o bien asimilarlas a variables métricas. Esta escala, siendo una de las más utilizadas en investigación social, reúne las ventajas de que sus escalas son más sencillas de contestar, requieren menor trabajo y se realizan de modo más rápido, además de necesitar menor número de ítems para su confección, resultando de mayor fiabilidad que otras, incluso con menor número de enunciados (Sierra Bravo, 1988).

Los ítems se intercalan asociados a distintos factores para evitar el fenómeno de continuidad por inercia. Por la misma razón, los de diferencial semántico se plantean de geometría asimétrica evitando que se produzcan escoras.

Por comodidad y rapidez, se ha redactado el cuestionario en formato digital, de modo que es enviado y cumplimentado desde el ordenador del encuestado, y posteriormente convertido en datos aptos para su lectura en el programa de análisis estadístico SPSS 17.

La selección de la muestra responde a criterios de representatividad, en relación al número de cuestionarios recogidos en cada una de las categorías de expertos seleccionados, como se detalla en el apartado de composición del panel de expertos. La muestra total obtenida es de 30 cuestionarios respuesta de expertos.

Validez y fiabilidad del cuestionario

La **validez** de un cuestionario podría definirse como el grado en que éste mide lo que debería medir; Se validan las interpretaciones de las puntuaciones obtenidas y, por tanto, el proceso de validación es evaluativo e implica la utilización de una amplia variedad de métodos como el fin determinar el grado de precisión en las puntuaciones de un test para realizar inferencias determinadas (Salguero, 2002).

Pese a que la validez es un criterio unitario, podemos distinguir varios tipos de validación según la clasificación de 1985 de la American Psychological Association (*American Psychological Association (APA), 2009*):

- Validez de contenido: Es el grado en que las muestras de ítems de un cuestionario son representativas de algún dominio concreto de contenido. Es un paso esencial en la construcción de un test (Salguero, 2002).

- Validez de criterio: Sería el grado en que las puntuaciones de un test coinciden con las puntuaciones de otro test que mide lo mismo. Las metodologías más utilizadas para determinar este tipo de validez son los diseños de validez concurrente o simultánea y validez predictiva (Salguero, 2002).

- Validez de constructo: Es el grado en el que un test mide el constructo que fue diseñado para medir. Este tipo de validez está compuesta por la validez convergente y la validez divergente. La validez convergente se establece a partir de correlaciones altas y significativas entre las variables manifiestas (u observables) y las variables latentes; la validez es divergente cuando se producen correlaciones bajas y no significativas entre los factores medidos (Corral, 1995).

En la presente investigación, se opta por la validación de contenido y constructo mediante validación factorial, por carecer de cuestionarios representativos validados para su valoración de criterio.

La **validación factorial** es una de las formas más usuales para evaluar la validez de constructo. El análisis factorial permite examinar una serie de constructos teóricos, desde una serie de variables, sin distinción entre dependientes e independientes (Ferrando P. J., 1996). Esto nos permite agrupar variables que poseen una relación lógica en factores latentes, o dimensiones comunes y una vez identificados los factores, se pueden utilizar para describir la composición factorial del test. Así, un test se puede caracterizar en función de los factores más importantes que determinan sus resultados. Cuando se realiza un análisis factorial, se procura en primer lugar, analizar sistemáticamente la intercorrelación entre los ítems para encontrar un número reducido de factores fundamentales. La asociación entre los ítems individuales y cada uno de los factores constituye el peso en el factor y puede interpretarse como una medida de correlación entre ambos (Hair, 1999).

La **fiabilidad** de los datos se refiere a la fuente de datos y a la identificación de la posición mantenida por los encuestados en el proceso de contestación del cuestionario (Oppenheim, 1992). La fiabilidad, es un criterio de calidad relacionado con la precisión de las medidas obtenidas con el instrumento de medida utilizado (el cuestionario) y que proporciona información acerca de la estabilidad temporal de las puntuaciones obtenidas con el mismo (ejemplo: test-retest), así como de la consistencia interna de dicho instrumento. Para nuestro objetivo se empleó el criterio del coeficiente Alpha de Cronbach, siendo un estimador de la precisión con que un conjunto de ítems mide cierto aspecto de la valoración individual, al reflejar la interacción entre sus elementos (Cronbach, 1951) (Salguero, 2002).

La justificación de las pruebas de validez y fiabilidad del cuestionario de la segunda ronda Delphi, quedan reflejadas en el apartado de análisis estadístico de datos del Análisis Factorial Exploratorio realizado.

Resultados y discusión

Las respuestas procesadas corresponden a las de los 30 expertos incluidos en el panel, con los siguientes estadísticos descriptivos (Tabla 4):

Descriptive Statistics

Factores Latentes	N	Mean	Std. Deviation	Variance	RIW weight relative
PROYECTO_TECNICO_D	30	7,125	0,56906	1,462	0,16
PROMOTOR__ALCANCE_A	30	6,875	0,70198	1,897	0,15
CONSTRUCTORA_C	30	5,7917	1,14637	2,607	0,12
PROJECT_MANAGEMENT_M	30	5,5417	1,65361	3,042	0,12
FACTOR_HIUMANO__H	30	5,375	1,28059	3,201	0,12
PROGRAMACION__CONTROL_P	30	5,3333	1,58199	3,667	0,11
ECONOMICO_SOCIAL__S	30	4,1667	1,03591	2,145	0,09
ENTORNO_FISICO__F	30	3,5	0,35133	1,826	0,07
CAUSAS_FORTUITAS__I	30	2,6667	0,6854	1,841	0,06
Valid N (listwise)	30				1

Tabla 4: Descriptivos Estadísticos Factores Delphi ronda 2

El peso relativo (RIW) de cada factor se calculó con el mismo procedimiento que el detallado en la ronda 1.

Los estadísticos descriptivos de las variables, quedan reflejados en el apartado de Análisis Factorial Exploratorio de los datos.

De los resultados obtenidos, se deduce la importancia relativa que los expertos atribuyen a cada variable responsable de las desviaciones presupuestarias en los proyectos (Tabla 5):

Variable y código	RIW
La infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico- D2	0,058
Los deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto de proyecto- D3	0,055
La falta de definición o modificación del alcance del objeto del proyecto- A1	0,052
La capacidad del promotor / cliente en la toma de decisiones adecuadas- A2	0,048
la deficiente gestión de proyecto (Project Management)- M4	0,048
La constructibilidad del proyecto- D7	0,047
El deficiente seguimiento y control económico de la obra- P7	0,046
Un deficiente análisis preconstrucción realizado por el constructor- C7	0,046
Las circunstancias de contratación (ofertas, bajas, contrato, etc.)- C1	0,046
La deficiente planificación, programación y organización de la obra- P1	0,046
La gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra- C9	0,044
La falta de experiencia y capacitación de los agentes- H4	0,043
Los aprovisionamientos y contrataciones por el gestor de Proyecto- M7	0,042
La deficiente comunicación y gestión de información de participantes- H2	0,042
La falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora- C4	0,041
Una deficiente Dirección de obra- M2	0,041
La coordinación de intervinientes realizada por el gestor- M8	0,039
La ausencia de motivación, compromiso y liderazgo de agentes- H5	0,038
Las reejecuciones por defectos de calidad- P4	0,036
La situación del mercado (oferta, demanda, inflación, etc.)- S1	0,035
La financiación del proyecto y los pagos de obra- S8	0,033
Condiciones imprevistas del terreno (geología, arqueología)- F1	0,032
Las restricciones del sitio y condiciones de parcela- F2	0,023
La climatología y las causas de fuerza mayor- I1	0,018

Tabla 5: RIW Variables Delphi 2

El peso relativo de cada variable se calculó utilizando la ecuación [44] de Importancia relativa de peso (RIW):

$$RIW = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i \cdot n_i}{\sum_{j=1}^N x_j} \quad [44]$$

Dónde:

a_i , expresa la frecuencia de la i^{a} respuesta de cada variable

n_i , es una constante que expresa el peso dado a la i^{a} respuesta: $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ y 10 ; donde:

Ninguna influencia	= 0
Mucha influencia	= 10

N , es el número total de variables

x_j es la suma de las puntuaciones de las j^{a} variables, siendo $j =$ las variables $1, 2, 3, 4, \dots, N$.

Para determinar si existe grado de acuerdo entre los grupos con respecto a su clasificación de los factores, se utilizó el coeficiente de **concordancia** de Kendall (W), que indica el grado de acuerdo sobre una escala de cero a uno según la ecuación [45]:

$$W = \frac{12U - 3m^2 \cdot n(n-1)^2}{m^2 \cdot n(n-1)} \quad [45]$$

Dónde:

$$U = \sum_{j=1}^N \left(\sum R \right)^2$$

n = número de factores

m = número de los grupos

j = las variables $1, 2, 3, 4, \dots, N$.

El coeficiente de concordancia de Kendall calculado fue $W = 0,919$ indicando un alto grado de concordancia.

Para saber si hay desacuerdo o acuerdo entre los grupos de clasificación de los factores, es necesaria una prueba de hipótesis.

Hipótesis nula: H_0 (Desacuerdo entre los grupos)

Alternativa hipótesis: H_1 (Acuerdo entre los grupos)

Como $n = 30$, supera la relación de números de la tabla de valores críticos para la correlación por rangos de Kendall, la aproximación chi-cuadrado de la distribución muestral de W se calcula con la ecuación [46]:

$$X^2 = K(n - 1)W \quad [46]$$

Por lo tanto;

Calculando $X^2 = 68,96$ y entrando en la tabla de valores críticos para $n = 30$ y un $P = 0,05$ (95% de confianza); $X_{0,05}^{2(25)} = 7,65$

Comprobando que la X^2 calculada es mayor que la especificada en la tabla para el valor crítico $X_{0,05}^{2(25)}$, la hipótesis nula H_0 se rechaza y la hipótesis alternativa H_1 se acepta, concluyéndose que existe un importante grado de acuerdo entre los grupos con respecto a las variables.

En lo que respecta a la **convergencia de juicios** que constituye el objetivo de la técnica y por tanto justifica la finalización del Delphi y sus rondas, procede justificar el consenso obtenido y la estabilización de las respuestas alcanzada.

El **consenso** se entiende como la convergencia de las estimaciones individuales, y se considera obtenido cuando las opiniones de los expertos presentan un grado aceptable de proximidad.

La medida de este nivel de consenso alcanzado en las respuestas dadas por los expertos en cada uno de los cuestionarios, puede ser determinada utilizando el **Rango Intercuartílico Relativo (RIR)** [47], que expresa la diferencia entre la medida del tercer y el primer cuartil respecto de la mediana:

$$RIR = (Q75 - Q25) / Q50 \quad [47]$$

Dónde:

Q75: Es el valor del tercer cuartil

Q25: Es el valor del primer cuartil

Q50: Es el valor del segundo cuartil (mediana)

Su utilización resulta preferible respecto del rango intercuartílico absoluto, con el objeto de que el medidor del nivel de consenso pueda reflejar la dispersión de las respuestas, relativizada por el nivel que alcanza el valor de tendencia central, de tal modo que pueda establecerse un límite de aceptabilidad único para todas las variables consideradas en las diferentes preguntas (Landeta, 2002).

Como comprobación adicional, y considerando que el *RIR* no tiene en cuenta los valores extremos, tratando de eliminar la influencia de los mismos, se calcula el

coeficiente de variación [48] que torna en consideración todos los valores de la distribución. En éste, la medida de dispersión desviación típica (σ), es relativizada por la información recogida en la media (M).

$$v = \sigma / M \quad [48]$$

Dónde:

V: Es el coeficiente de variación

σ : Es la desviación típica

M: Es la media

En ambos casos, aunque la medida relativa de dispersión recoge más información, también presenta el inconveniente de que cuando la medida de tendencia central es un valor próximo a cero, se obtienen valores muy grandes de dispersión relativa, aunque la dispersión absoluta sea pequeña.

Puede considerarse que el nivel de consenso en las respuestas es alto cuando el RIR ha tomado valores por debajo del 10%. Es decir, que el 50 % de los valores se encuentran en un intervalo cuya amplitud solamente representa el 10 % del valor alrededor del cual se distribuyen (*Landeta, 1994*). Otros autores consideran que se ha alcanzado el consenso, cuando el 80 % de las respuestas se encuentren en un intervalo comprendido entre un punto de la escala menos y uno más, respecto del valor de la mediana.

En cualquiera de las justificaciones expuestas, se comprueba (Tabla 6) que se cumplen los valores especificados, y por tanto, la segunda ronda resulta suficiente en cuanto a consenso se refiere.

La **estabilidad** se define como la no variación estadísticamente significativa de las opiniones de los expertos en rondas sucesivas, independientemente del grado de consenso alcanzado. Así, el criterio de finalización sería la obtención de un nivel de estabilidad prefijado. En técnicas que implican la utilización de cuestionarios como es el caso, debe buscarse la estabilidad de respuestas grupales, por la que se cuantifica el grado de variación de los parámetros representativos de la distribución de las respuestas de un cuestionario respecto del anterior.

Las medidas comprobadas de la estabilidad grupal son:

La **Variación del Rango Intercuartílico Relativo** [49]:

$$VRIR = (RIRn - RIRn-1) \quad [49]$$

Siendo:

RIRn : El rango intercuartílico de la última ronda

RIRn-1: El rango intercuartílico de la penúltima ronda

La diferencia entre los RIR de los dos cuestionarios sucesivos proporciona información acerca de cómo ha variado el nivel de consenso (Tabla 6), y la cuestión que pretende valorar la estabilidad, es si la realización de una nueva ronda contribuiría a aumentar el consenso (Estableciendo una diferencia límite aceptable del 10 %) (Landeta, 1994).

Factores	PROYECTO_TECNICO_D	CONSTRUCTORA_C	PROJECT_MANAGEMENT_M	PROGRAMACION_CONTROL_P	PROMOTOR_ALCANZA_A	ENTORNO_FISICO_F	FACTOR_HIUMANOS_H	ECONOMICOS_SOCIALES_S	CAUSAS_FORTUITAS_I
RIR Delphi 2		0,10	0,07	0,08	0,07	0,08	0,10	0,05	0,10
VRIR	-0,03	-0,06	-0,05	-0,08	-0,07	0,00	-0,06	-0,06	-0,10

Tabla 6: Variación del Rango Cuartílico Relativo

Además, puesto que el hecho de obtener una similar concentración de las respuestas alrededor de la mediana no implica necesariamente, que este nivel de convergencia en las opiniones esté referido al mismo valor de tendencia central, conviene comprobar por extensión si la mediana se ha mantenido estable mediante la determinación de la **Variación Relativa de la Mediana** expresada por la siguiente fórmula [50]:

$$VRMe = [(Men - Men-1) / Men] \quad [50]$$

Siendo:

Men: La mediana obtenida en la última ronda

Men-1: La mediana obtenida en la penúltima ronda

Esta medida (Tabla 7) refleja la proporción que el cambio en el valor de la mediana representa respecto de la mediana del cuestionario anterior. El límite máximo que hemos prefijado para aceptar la existencia de estabilidad en las medianas es del 10 %.

Factores	PROYECTO_TECNICO_D	CONSTRUCTORA_C	PROJECTMANAGEMENT_M	PROGRAMACION_CONTROL_P	PROMOTOR_ALCANCE_A	ENTORNO_FISICO_F	FACTOR_HUMANO_H	ECONOMICOS_SOCIAL_S	CAUSAS_FORTUITAS_I
VRme	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00

Tabla 7: Variación Relativa de la Mediana

La **Variación del Coeficiente de Variación (VV)**, complementa la información aportada por el coeficiente de variación V y por el RIR, puesto que el primero es una forma de medir el consenso teniendo en cuenta todas las opiniones, incluso las más extremas, indicando su variación al mayor o menor nivel de consenso con respecto a todas ellas. La comparación de este valor con la variación del RIR, nos indicará si el aumento o disminución en la proximidad de aquellas estimaciones que se sitúan más cerca del valor de la mediana, tiene su reflejo o no en el conjunto de las mismas (Schaffin & Talley, 1980).

La VV, refleja la progresión del consenso de modo semejante a la variación del RIR, en cuanto que analiza la variación en el nivel de consenso, pero aquí el consenso se refleja a través del coeficiente de variación. El límite máximo prefijado para aceptar la existencia de estabilidad en las medianas es del 10%, y su determinación queda expresado en la fórmula [51]:

$$VV = (V_n - V_{n-1}) \quad [51]$$

Dónde:

- VV: Es la variación del coeficiente de variación
- V_n: Es el coeficiente de variación de la última ronda
- V_{n-1}: Es el coeficiente de variación de la penúltima ronda

Los límites utilizados en los criterios de estabilidad pueden ser fijados, como ha sido el caso, de manera arbitraria cuando no se pueda contar con referencias derivadas de estudios similares en los que se expliciten los criterios de estabilidad empleados (Scheibe, Skutsch, & Schofer, 1975). Los valores obtenidos de variación del coeficiente de variación, cumplen el límite prefijado (Tabla 8).

V1	Factores Latentes	V2	VV
0,1	PROYECTO_TECNICO_D	0,08	-0,02
0,13	PROMOTOR__ALCANCE_A	0,1	-0,03
0,17	CONSTRUCTORA_C	0,2	0,03
0,25	PROJECT_MANAGEMENT_M	0,3	0,05
0,19	FACTOR_HIUMANO__H	0,24	-0,05
0,23	PROGRAMACION__CONTROL__P	0,3	0,06
0,21	ECONOMICO_SOCIAL__S	0,25	0,04
0,15	ENTORNO_FISICO__F	0,1	-0,05
0,21	CAUSAS_FORTUITAS__I	0,16	-0,05

Tabla 8: Coeficientes de Variación y Variación de los coeficientes de variación

Así, después de realizar dos rondas de encuestas sucesivas, y comprobados satisfactoriamente los parámetros de consenso y estabilidad, se considera que se ha alcanzado la convergencia de los juicios de los expertos consultados, dando por finalizado el proceso de la Técnica Delphi.

El análisis cualitativo sucinto de los resultados, nos habla de opiniones mayoritarias concentradas en la preponderante influencia causal del Proyecto Técnico en el fenómeno de desviación de los presupuestos, la baja afección de los factores que consideran los entornos físicos (incluso el factor fortuito) y socioeconómico, y una distribución uniforme con un peso medio del resto de dimensiones consideradas. Es reseñable además, la escasa distinción de juicios que se obtiene entre los grupos profesionales de los miembros del panel de expertos, reforzando este hecho la convergencia cualitativa de juicios lograda.

ANÁLISIS FACTORIAL EXPLORATORIO

El rol fundamental que se le asigna al análisis Factorial de los datos obtenidos de la Técnica Delphi en el diseño metodológico propuesto, queda claramente dilucidado cuando se plantea su triple objetivo:

- El primero persigue obtener las dimensiones subyacentes que los expertos atribuyen al fenómeno.
- El segundo, busca validar el cuestionario elaborado en la segunda ronda del método, no solo para su justificación exclusiva, sino también para su proyección a la siguiente etapa de la investigación cuya obtención de datos, se instrumenta con un cuestionario a profesionales del sector, el cual se valida por extensión del primero.
- El último y no menos importante, pretende el alisado de los datos con el propósito de reducir el número de variables representativas de cada una de las dimensiones; esto permitirá elaborar el cuestionario a profesionales del sector con un reducido número de ítems, permitiendo su distribución a una muestra suficiente con un alto grado de respuesta. En este sentido, cabe señalar que una de las cuestiones importantes cuando se acomete el análisis de datos multivariados es la reducción de las dimensiones, en el sentido de que resulta siempre preferible describir con precisión p variables con un subconjunto pequeño de ellas $r < p$, de manera que se reduzca la dimensión a costa de una pequeña pérdida de información (Manly, 1986).

Siguiendo a Hattie (1984) y Ferrando (1996), la técnica más adecuada para el estudio de la dimensionalidad de las variables de un fenómeno, cuando su teoría no se encuentra consolidada, es el Análisis Factorial Exploratorio (EFA), que permitirá el posterior establecimiento preciso y su comprobación de hipótesis, mediante el Análisis Factorial Confirmatorio (CFA).

Floyd & Widaman (1995) sugieren que el análisis factorial exploratorio es el más apropiado para los estadíos iniciales de desarrollo de un modelo, como es nuestro caso, mientras que el CFA proporciona una herramienta más potente en la segunda etapa de la investigación, cuando el modelo ya ha sido establecido.

Stevens (1996) resume de forma concisa cuáles son las diferentes funciones y contribuciones de uno u otro análisis: "El propósito del análisis factorial exploratorio es identificar la estructura factorial o el modelo para una serie de variables. En contraste, el análisis factorial confirmatorio está basado generalmente en un fuerte fundamento teórico y/o empírico que permite al

investigador especificar un modelo factorial exacto establecido con anterioridad. Este modelo, comúnmente especifica qué variables tendrán una carga en cada uno de los factores, así como qué se correlaciona con ellos. Es más un procedimiento teoría-prueba (theory-testing) que el EFA".

La utilización del EFA en fase exploratoria de un fenómeno cuya teoría está poco evolucionada, como paso previo al Análisis Factorial Confirmatorio, resuelve la incongruencia de iniciar el discurso científico sin una base de un constructo teórico fuertemente contrastado por la teoría. Los autores Schumacker & Lomax (1996) y Kalliath, O'Driscoll, & Brough (2004) relacionan las ventajas que tiene que realizar esta metodología:

1. El número de factores dentro del constructo está determinado previamente mediante el EFA, y apoyado normalmente en trabajos previos o publicaciones de investigaciones científicas.
2. Las relaciones entre los factores y las variables observadas reflejadas en el modelo teórico están especificadas con anterioridad por el EFA.
3. Se permiten los errores de medida para correlacionar porque los indicadores provienen de la misma fuente.
4. Las variables sobre las cuales se investiga son purgadas/filtradas del error de medida.

Por todas estas razones, el CFA proporciona una evaluación más robusta de la estructura factorial de las mediciones (Jöreskog & Sörbom, 1993) (Mulaik, 1986). Este método de evaluación, es el que muchos autores recomiendan para realizar la validación de hipótesis (Carron, Brawley, & Widmeyer, 2002).

Una cuestión importante respecto de las metodologías que evalúan **variables no observables o latentes** a partir de indicadores o variables observables, es que la dirección de las relaciones causales entre variables latentes y manifiestas, difiere según el concepto abordado, existiendo diferentes modelos de medida y operación en función del planteamiento teórico propuesto.

No todas las variables latentes tienen la misma naturaleza, pudiendo describirse tres tipos en función de las direcciones de las relaciones establecidas entre la variable latente y sus indicadores (Bagozzi, 1984) (Haenlein & Kaplan, 2004).

- a) variables que corresponden a términos teóricos.
- b) variables que o bien implican conceptos empíricos o pueden ser inferidos a partir de la observación.
- c) variables no observables que son definidas en términos observables.

Estas relaciones, denominadas relaciones epistemológicas o “reglas de correspondencia” (Bagozzi, 1984) (Fornell & Bookstein, 1982), implican el uso de indicadores según su direccionalidad, pudiendo corresponder a indicadores formativos o indicadores reflectivos.

Los Indicadores Formativos corresponden a aquellos que explican a la variable latente, es decir, si el constructo es formado o causado por los indicadores o variables observadas, de modo que el constructo, puede expresarse como un índice aditivo; el constructo definido está completamente determinado por una combinación lineal de sus indicadores (Lévy, González, & Muñoz, 2006).

La incorporación de múltiples indicadores conduce a un modelo de medida en donde la variable latente es función de sus indicadores (Ilustración 28):

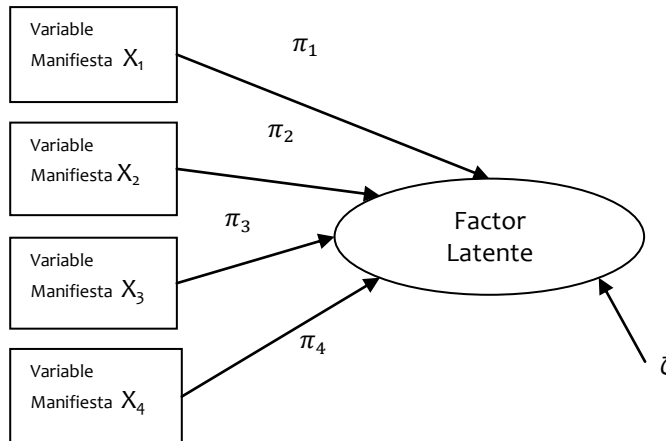


Ilustración 28: Indicador Formativo de Medida

La omisión de alguna de las variables implica omitir parte de la variable latente y afectar el significado del constructo; “Un cambio en la variable agregada no significa obligatoriamente uno en cada uno de los indicadores; sin embargo, un cambio en los indicadores formativos conllevará a uno en la variable agregada” (Lévy, González, & Muñoz, 2006).

Los indicadores formativos pueden ser expresados matemáticamente como una función [52] de la variable latente asociada, consistente con el modelo de componentes principales:

$$\eta = \pi_{x_1} x_1 + \pi_{x_2} x_2 + \pi_{x_3} x_3 + \pi_{x_4} x_4 + \zeta \quad [52]$$

Donde π_i es el parámetro que refleja la contribución de x_i a la variable latente η , y ζ , es el error.

En el modelo de medida formativo, el incremento de una de las variables observables conduce a un incremento en la variable latente, basado en la regresión múltiple. Además, entre los indicadores de una misma variable las correlaciones pueden ser positivas, negativas o iguales a cero. Por lo que un cambio en un indicador no significa necesariamente un cambio similar en otro.

Por el contrario, los **indicadores reflectivos** Tesis, indican que la variable o constructo latente es *causa* de los indicadores. “De manera que cambios en la variable latente, se espera sean reflejados en todos los indicadores” (Henseler, Ringle, & Sinkovics, 2009). Este tipo de indicadores deberán ser usados cuando la variable latente genera o da lugar a algo que es observado (Ilustración 29).

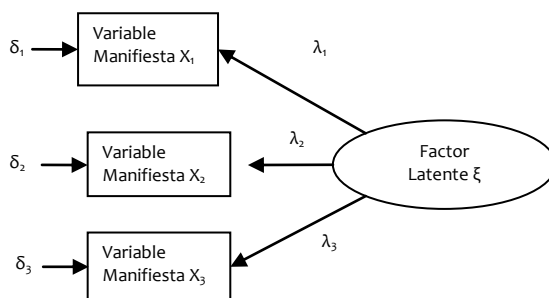


Ilustración 29: Indicador Reflectivo de Medida

El modelo de medida cuando los indicadores son reflectivos es coherente con el Análisis Factorial Confirmatorio (CFA), y puesto que los indicadores son causados por la misma variable, es de esperarse que exista una alta correlación entre ellos; Las altas cargas de los factores indicarán una buena representatividad de la variable latente.

Otra característica de los indicadores reflectivos es que son intercambiables y si se elimina un ítem, la naturaleza del constructo no cambia. La varianza del constructo, como en el caso de Análisis Factorial, es igual a la comunalidad de los indicadores.

Los indicadores reflectivos pueden ser expresados como una función [53] de la variable latente asociada, matemáticamente:

$$\begin{cases} X_1 = \lambda_{x_1} \xi + \delta_1 \\ X_2 = \lambda_{x_2} \xi + \delta_{2,1} \\ X_3 = \lambda_{x_3} \xi + \delta_3 \end{cases} \quad [53]$$

Donde λ_i representa el efecto esperado de ξ sobre X_i y δ_i es la medida del error para cada indicador $i = 1,2,3$.

Utilizando la forma matricial [54]:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad [54]$$

Cada indicador reflectivo puede definirse como una función lineal de la variable latente más un término error. La existencia de correlaciones elevadas entre los indicadores aumenta la consistencia interna del constructo y los análisis de dimensionalidad, fiabilidad y validez lo confirman.

Respecto de la confiabilidad y validez del modelo de medida con indicadores reflectivos, hay que considerar que puesto que la variable latente debe explicar parte de la varianza de sus indicadores (al menos 50%), la confiabilidad individual de cada indicador se evalúa mediante el examen de las cargas o las correlaciones simples de las medidas con su respectivo constructo. Una regla general es aceptar ítems con cargas estandarizadas iguales o superiores a 0,700 (Barclay, Higgins, & Thompson, 1995), lo que implica más varianza compartida entre el constructo y sus medias que varianza del error (Lévy, González, & Muñoz, 2006).

La confiabilidad de una variable latente muestra *consistencia interna* a partir de sus indicadores o variables observables. A este elemento también se hace referencia con el concepto de unidimensional, en el sentido de análisis factorial. Para modelos de medida reflectivos existen varias herramientas para verificar la unidimensional del bloque de variables manifiestas. Así, Tenenhaus et al. (2005) mencionan el uso del análisis de componentes principales, el cálculo de Alfa de Cronbach y la Confiabilidad Compuesta o Dillon-Goldstein's, y la consistencia interna del constructo se determina por el Alfa de Cronbach, que mide el grado en que las respuestas son coherentes a través de las preguntas de una misma medida (Kline R. B., 2005).

El Alfa de Cronbach (ecuación [55]) muestra la confiabilidad basada en la correlación entre los indicadores del constructo, pero se asume que los indicadores son igualmente confiables.

$$\alpha = \frac{N \cdot \bar{r}}{(1 + (N - 1) \cdot \bar{r})} \quad [55]$$

Donde N es el número de variables manifiestas y \bar{r} es el promedio de la correlación.

Debido a que este indicador tiende a subestimar severamente la confiabilidad de la consistencia interna de los modelos SEM, se recomienda utilizar diferentes medidas, tal como la Confiabilidad Compuesta (Henseler, Ringle, & Sinkovics, 2009).

La validez de una puntuación se refiere a la solvencia de las inferencias basadas en las puntuaciones, esto es, si las puntuaciones miden “sí y solo sí” lo que pretenden medir. La confiabilidad de una puntuación es necesaria pero insuficiente requerimiento para la validez. Para el caso de la validez del constructo, se busca que el constructo hipotético mida lo que el investigador espera (Kline R. B., 2005).

Por lo que se refiere a la *validez convergente*, esta característica significa que un conjunto de indicadores representan a un constructo y que además es el mismo constructo, lo cual se demuestra a través de la unidimensional. La evaluación de tal característica se hace a través de la comunalidad, que representa la cantidad de varianza obtenida por un constructo debido a sus indicadores en relación a la varianza total (varianza compartida más varianza del error). La media de comunalidad de cada constructo y para todo el modelo, puede ser calculada con AVE (Average Variance Extracted) (ecuación [56]) de Fornell & Larcker (1981). Una variable latente con un AVE de al menos 0,5 indica capacidad del constructo para explicar más de la mitad de la varianza de sus indicadores en promedio (Henseler, Ringle, & Sinkovics, 2009).

$$AVE = \frac{\sum_{i=1}^i \lambda_i^2}{\sum_{i=1}^i \lambda_i^2 + \sum_{i=1}^i var(\varepsilon_i)} \quad [56]$$

Donde λ_i representa la carga factorial del indicador y la $var(\varepsilon_i) = 1 - \lambda_i^2$ la varianza del error.

La *validez discriminante* es una característica complementaria de la validez convergente, y se refiere a que dos variables conceptualmente diferentes deben exhibir sus diferencias. El criterio determinante para la validez discriminante es que “el peso de cada indicador, es esperado para ser más grande que todos los de sus pesos cruzados” (Chin, 1998). Es decir, el peso de un indicador asociado a su variable latente debe ser mayor que los pesos asociados al resto de las variables latentes. Lo contrario implica que el indicador observado es incapaz de discriminar si pertenece al constructo al que intenta medir o a otro.

El Análisis Factorial, busca describir un conjunto de p variables X_1, X_2, \dots, X_p en términos de un número menor de indicadores o factores e identificar relaciones entre estas variables. Los factores tienen la función de variables latentes. La principal característica es que el análisis de componentes principales no se basa en un modelo estadístico particular, mientras que el análisis factorial sí. Es decir, en el análisis de componentes se busca hacer un cambio de base con la cual se explique la mayor varianza posible.

En términos prácticos, el Análisis Factorial es una técnica de reducción de variables explicativas, cuya principal función es encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de ellas. Esos grupos homogéneos se forman con las variables que están altamente correlacionadas entre sí, procurando que los grupos sean independientes. El Análisis Factorial surge impulsado por el interés de Kart Pearson y Charles Spearman en comprender las dimensiones de la inteligencia humana en los años treinta del siglo XX, y muchos de sus avances se han producido en el área de psicometría.

Cuando se recoge un gran número de variables de forma simultánea, es de gran interés averiguar si los ítems se agrupan de alguna forma característica. Aplicando un análisis factorial, es posible encontrar grupos de variables con significado común y conseguir de esta manera, la reducción en el número de dimensiones.

La idea general del Modelo de Análisis Factorial (ecuación [57]) es:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i \quad [57]$$

Dónde:

X_i es la i -ésima puntuación de la prueba i con media = 0 y varianza = 1

$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}$ son las cargas de los factores para la i -ésima prueba

F_1, F_2, \dots, F_m son los m factores comunes no correlacionados, cada uno con media cero y varianza uno

e_i es el único factor específico a la i -ésima prueba que no está correlacionado con ningún factor común y tiene media = 0 y varianza = 1

La varianza que está relacionada a los factores comunes es $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1m}^2$ y recibe el nombre de comunalidad de X_i , donde a_{11}^2 es la proporción de la varianza de X_i , que es contada por el factor 1.

La varianza (e_i) es la especificidad de X_i , es decir, la parte de la varianza que no está relacionada con los factores comunes.

El Análisis Factorial consta de tres pasos (Manly, 1986):

El primer paso es la determinación de cargas provisionales de factores a_{ij} :

Un camino es, hacer componentes principales utilizando sólo los primeros m . Estos factores no están correlacionados entre ellos ni con los factores específicos. Los factores específicos pueden estar correlacionados entre ellos, sin embargo este punto puede no importar mucho, considerando que las comunalidades son altas.

Cualquiera que sea la forma de determinar las cargas de los factores provisionales, es importante señalar que no son únicas. Si F_1, F_2, \dots, F_m son los factores provisionales, la combinación lineal de estos, pueden ser contruidos para no estar correlacionados y explicar bien los datos.

El segundo paso es la rotación factorial; Los factores provisionales son transformados para encontrar nuevos factores que sean fácilmente interpretables.

El tercer paso es el cálculo de las puntuaciones de los factores; esto es, calcular el valor de los factores F_1, F_2, \dots, F_m , para cada uno de los individuos.

El análisis factorial exploratorio (EFA), como método estadístico permite explicar correlaciones entre un conjunto de variables observadas, mediante combinaciones lineales de una serie de factores aleatorios no observables. La técnica permite la utilización de cualquier tipo de variables, y no requiere hipótesis previas sobre cómo están relacionados los indicadores de un factor determinado, e incluso el número de factores; Todos los indicadores están típicamente permitidos para correlacionarse con cualquier factor (Kline R. B., 2005) (Ilustración 30).

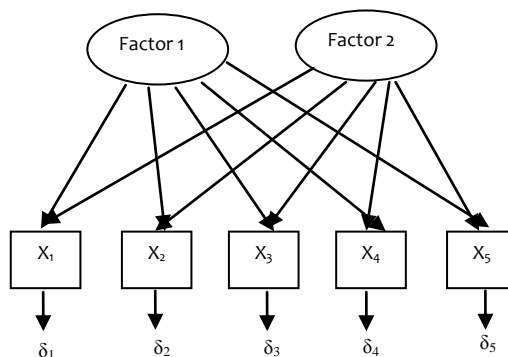


Ilustración 30: Análisis Factorial Exploratorio

El modelo de la ecuación [58] tiene una estructura lineal de forma matricial, compuesto por una serie de vectores aleatorios los cuales son: de respuestas X ($p \times 1$), de factores no observados f ($k \times 1$), y de errores u ($p \times 1$); además de contar con media μ y matriz de covarianza Σ , las cuales se expresan como sigue:

$$X = \Lambda \cdot f + u + \mu \quad [58]$$

Donde Λ es una matriz de saturación de orden ($p \times k$), compuesta por los elementos λ_{ij} . A los elementos de la matriz de factores no observados f se les llama factores comunes y a los de u factores específicos o únicos, los cuales cumplen las siguientes condiciones:

- 1) $E(f) = 0 \quad V(f) = I$
- 2) $E(u) = 0 \quad C(u_i, u_j) = 0 \quad i \neq j$
- 3) $C(f, u) = 0$

La matriz de covarianza de los factores específicos o únicos se denota por $V(u) = \text{diag}(\Psi_{11}, \dots, \Psi_{pp})$ y a los elementos de la misma, se les llama especificidades.

La matriz de covarianza para observaciones aleatorias [59] es:

$$\sigma_{ii} = \sigma_i^2 = \sum_{j=1}^k \lambda_{ij}^2 + \Psi_{ii} \quad [59]$$

Esta varianza puede ser dividida en dos partes, una común y otra única. La parte común (conocida como comunalidad) es el término $h_i^2 = \sum_{j=1}^k \lambda_{ij}^2$, y representa la varianza de x_i explicada por los factores comunes. De manera particular $\lambda_{ij}^2 = C(x_i, f_j)$ representa la magnitud en la que x_i depende del j -ésimo factor común. La parte única, que corresponde a la constante Ψ_{ii} , explica la variabilidad en x_i que no es compartida con las restantes variables.

Por todo lo antes expuesto, y teniendo en cuenta las condiciones con que se define el análisis factorial exploratorio, implica que la covarianza para cada observación X tiene como estructura $\Sigma = \Lambda \Lambda' + \Psi$.

En el análisis factorial, Λ y Ψ son parámetros desconocidos y deben estimarse de las observaciones muestrales. Para ello se deben encontrar estimadores que

satisfagan las restricciones arbitrarias antes definida $\Lambda' \Psi^{-1} \Lambda$ es diagonal o $\Lambda' D^{-1} \Lambda$ es diagonal y $D = \text{diag}(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{pp})$ y que a su vez satisfagan al menos, aproximadamente la ecuación S, que no es más que la matriz de covarianza muestral, la cual queda $S = \hat{\Lambda} \hat{\Lambda}' + \hat{\Psi}$.

Dado un estimador muestral $\hat{\Lambda}$, es entonces natural definir $\Psi_{ii} = s_{ii} - \sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_{ij}^2$ $i=1, \dots, p$, tal que las ecuaciones diagonales en $S = \hat{\Lambda} \hat{\Lambda}' + \hat{\Psi}$ siempre sean exactamente válidas, por lo que se considerará solamente estimadores que satisfagan la ecuación anterior y $\hat{\Psi}_{ii} \geq 0$.

Al estimar la matriz de varianza – covarianza del modelo se tiene:

$\hat{\sigma}_{ii} = \sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_{ij}^2 + \hat{\Psi}_{ii}$, el cual teniendo en cuenta el estimador muestral antes definido, queda de la manera siguiente: $\hat{\sigma}_{ii} = s_{ii}$ $i = 1, \dots, p$. A partir del valor de s surgen tres casos para la expresión definida a partir de la covarianza muestral. Estos son los siguientes:

- 1) $s < 0$ La ecuación va a tener más parámetros que ecuaciones, lo que provoca que se encuentre un número infinito de soluciones para los parámetros a estimar y por tanto el modelo no está bien definido.
- 2) $s = 0$ La ecuación puede ser resultado por los parámetros a estimar (sujetos a las restricciones arbitrarias antes definida en Λ).
- 3) $s > 0$ La ecuación tiene más ecuaciones que parámetros, la cual no es posible resolver exactamente en términos de las estimaciones de los parámetros y se deberá buscar soluciones aproximadas.

Para la estimación de los parámetros en el modelo factorial existen diversos métodos como son:

- Establecimiento de los factores principales, con o sin iteración.
- Establecimientos de factores canónicos de Rao.
- Establecimiento de los factores alfa.
- Establecimiento de los factores imágenes.
- Máxima verosimilitud.
- Análisis por factores mediante mínimos cuadrados no ponderados.
- Establecimiento de factores de Harris.

En la elección de factores resulta importante tener en cuenta la matriz inicial de factores que indica el número de ellos a extraer. En algunas ocasiones se dificulta la elección del número de factores, pues en el primer factor se

concentran los mayores porcentajes de la varianza, lo que provoca que las variables se afecten. La solución a este problema, pasa por la redistribución de las varianzas para obtener una mejor elección e interpretación de los factores, mediante la rotación de los ejes de coordenadas que representan los factores. Existen dos métodos para ello; El de rotación ortogonal y el oblicuo. Entre las técnicas ortogonales se encuentran; Varimax, Quartimax, Transvarimax, Equamax, Ratiomax y el Parsimax. Entre las técnicas de rotación oblicua encontramos; Quartimin, Covarimin, Oblimin, Direct Oblimin, Orthoblique, Second Generation Little Jiffy, Oblimax, Promax y Maxoplane.

Análisis estadístico de datos

La jerarquía del modelo conceptual, estructura factorial y su relación de variables e ítems del cuestionario utilizado en la segunda de la técnica Delphi, queda formada por:

- El Factor Latente o Constructo: Desviación presupuestaria
- 24 variables estructuradas distribuidas en 9 factores

Además de los ítems correspondientes a variables, el cuestionario incorpora otros ítems con la siguiente asignación:

8 ítems de control del factor latente (confirmatorios)
6 ítems de identificación y clasificación (categóricas)

La estadística descriptiva se realizó con la ayuda del paquete estadístico SPSS para Windows en su versión 17. Este mismo programa se utilizó para el establecimiento de la estructura factorial del cuestionario mediante la metodología de los modelos de ecuaciones estructurales, concretamente, el CFA.

Descriptivos

El análisis de los datos de las variables nos informan de su calidad estadística; La desviación estándar y la varianza son medidas de dispersión que dan idea de la variabilidad de las puntuaciones alrededor de la media. Valores muy bajos informan de que todas las puntuaciones en una variable son cercanas a la media. Mientras que valores muy altos informan de que las puntuaciones son muy diferentes entre sí y hay mucha más variabilidad en las respuestas. Indican si las

puntuaciones dentro de una variable son parecidas o por otro lado muy diferentes (Tabla 9).

Las dos medidas están relacionadas. La desviación estándar expresa la desviación en la misma métrica que la variable original (de 0 a 10).

No hay valores límite, siempre es interesante que la muestra no sea demasiado homogénea ni demasiado heterogénea, por lo que a priori no hay valores ni malos ni buenos; Se comparan las variables entre sí para ver cuál tiene más variabilidad en sus puntuaciones.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar	Varianza
D2 Infradefinición o defectos diseño P. Técnico	1	10	7,73	2,132	4,547
D3 Deficiencias mediciones y presupuesto	2	10	7,33	2,171	4,713
D7 Constructibilidad proyecto	1	9	6,23	2,300	5,289
C1 Circunstancias contratación obra	0	10	6,13	2,649	7,016
C4 Falta de capacidad y experiencia empresa C.	0	9	5,47	2,209	4,878
C7 Deficiente análisis constructor preconstrucción	2	10	6,17	2,198	4,833
C9 Gestión inadecuada constructora	0	10	5,93	2,420	5,857
A1 Falta definición o modificación Promotor	2	10	6,90	2,139	4,576
A2 Capacidad promotor/cliente decisiones adecuadas	3	9	6,40	1,923	3,697
M2 Deficiente Dirección obra	1	9	5,43	2,063	4,254
M4 Deficiente gestión proyecto	1	10	6,40	2,222	4,938
M7 Aprovisionamientos y contrataciones gestor	1	10	5,66	2,334	5,448
M8 Coordinación de intervinientes gestor	1	9	5,17	2,547	6,489
H2 Deficiente comunicación y gestión de información	1	9	5,57	2,648	7,013
H4 Falta de experiencia y capacitación	2	9	5,83	2,172	4,719
H5 Ausencia de motivación, compromiso y liderazgo	1	10	5,13	2,726	7,430
P1 Deficiente planificación, programación y organización	1	10	6,10	2,454	6,024
P4 Reejecuciones por defectos	0	10	4,76	2,721	7,404
P7 Deficiente seguimiento y control económico	2	10	6,24	2,641	6,975
S1 La situación del mercado	0	9	4,70	2,322	5,390
S8 Financiación proyecto y pagos	0	9	4,43	2,569	6,599
F1 Condiciones imprevistas terreno	0	9	4,23	2,359	5,564
F2 Restricciones sitio y condiciones	0	7	3,10	1,954	3,817
I1 Climatología y fuerza mayor	0	7	2,40	1,773	3,145
Valid N (listwise)					

Tabla 9: Descriptivos estadísticos EFA

Se comprueba que si bien la desviación no es muy importante, la distribución de los datos, no atiende a una distribución normal en todas las variables. Esto es previsible y normal teniendo en consideración el reducido tamaño de la muestra y la utilización de las escalas Likert. Se opta por la comparación de los índices de correlación de Pearson-Spearman (más adecuado en el caso).

Validez de contenido

Se valida que las escalas recogen los aspectos más importantes de lo que se desea medir; correspondencia entre el atributo que se pretende medir y el contenido de los ítems que componen las escalas. Para la validez del contenido resulta necesario que los ítems sean relevantes y representativos del atributo definido “hace referencia a que la escala mide lo que se quiere medir”.

Correlaciones entre ítems

Para el análisis previo de los datos comprobamos la correlación entre variables con el índice, Pearson–Spearman (entre 0 y +-1), considerando que un resultado superior a 0,3 proporciona una correlación aceptable (Tabla 10 a Tabla 19).

Nota para todas las tablas: **; La correlación es significativa al nivel 0,01 (2-
colas); *: La correlación es significativa al nivel 0,05 (2-
colas).

Variables		D2	D3	D7	C1	C4	C7	C9	A1	A2
D2 Infradefinición o defectos diseño P. Técnico	Pearson Cor.	1								
	Sig.									
	N	30								
D3 Deficiencias mediciones y presupuesto	Pearson Cor.	,757*	1							
	Sig.	,000								
	N	30	30							
D7 Constructibilidad proyecto	Pearson Cor.	,667*	,419*	1						
	Sig.	,000	,021							
	N	30	30	30						
C1 Circunstancias contratación obra	Pearson Cor.	,220	,112	,306	1					
	Sig.	,242	,556	,100						
	N	30	30	30	30					
C4 Falta de capacidad y experiencia empresa C.	Pearson Cor.	,225	,240	,222	,307	1				
	Sig.	,232	,202	,238	,099					
	N	30	30	30	30	30				
C7 Deficiente análisis constructor precunstrucción	Pearson Cor.	,142	,212	,026	,298	,559*	1			
	Sig.	,453	,261	,891	,110	,001				
	N	30	30	30	30	30	30			

Variables			D2	D3	D7	C1	C4	C7	C9	A1	A2
C9 Gestión inadecuada constructora	Pearson Cor.		,270	,339	,245	,254	,670*	,436*	1		
	Sig.		,148	,067	,193	,175	,000	,016			
	N		30	30	30	30	30	30	30		
A1 Falta definición o modificación Promotor	Pearson Cor.		-,104	-,111	-,072	,215	,200	,040	-,008	1	
	Sig.		,583	,558	,705	,253	,289	,832	,967		
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	
A2 Capacidad promotor/cliente decisiones adecuadas	Pearson Cor.		-,200	-,083	-,131	-,024	,028	,000	,102	,387	1
	Sig.		,289	,664	,490	,898	,885	1,000	,591	,034	
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
M2 Deficiente Dirección obra	Pearson Cor.		,286	,151	,407	,134	,272	-,024	,234	,393	,172
	Sig.		,126	,424	,026	,479	,146	,899	,213	,032	,363
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
M4 Deficiente gestión proyecto	Pearson Cor.		,525*	,415	,447	-,027	,284	,064	,332	-,209	,082
	Sig.		,003	,023	,013	,888	,128	,739	,073	,268	,665
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
M7 Aprovisionamientos y contrataciones gestor	Pearson Cor.		,468*	,167	,215	-,093	,213	,041	,130	-,055	,091
	Sig.		,011	,386	,262	,633	,268	,833	,502	,776	,640
	N		29	29	29	29	29	29	29	29	29
M8 Coordinación de intervinientes gestor	Pearson Cor.		-,011	-,004	,158	,492*	,452*	,136	,321	,459	,338
	Sig.		,956	,983	,404	,006	,012	,472	,084	,011	,068
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
H2 Deficiente comunicación y gestión de información	Pearson Cor.		,028	,002	,040	,613*	,619*	,433*	,318	,169	,123
	Sig.		,885	,992	,834	,000	,000	,017	,087	,373	,516
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
H4 Falta de experiencia y capacitación	Pearson Cor.		,079	,168	,141	,358	,749*	,540*	,385*	,070	-,030
	Sig.		,683	,384	,467	,057	,000	,002	,039	,717	,875
	N		29	29	29	29	29	29	29	29	29
H5 Ausencia de motivación, compromiso y liderazgo	Pearson Cor.		-,184	-,014	-,148	,437*	,442*	,255	,252	,221	,404
	Sig.		,332	,943	,435	,016	,015	,174	,179	,240	,027
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
P1 Deficiente planificación, programación y organización	Pearson Cor.		,374*	,272	,301	,284	,691*	,355	,762*	,002	,006
	Sig.		,042	,146	,106	,128	,000	,054	,000	,992	,976
	N		30	30	30	30	30	30	30	30	30
P4 Reejecuciones por defectos	Pearson Cor.		,200	,192	,299	,494*	,539*	,468*	,415*	,291	-,216
	Sig.		,298	,319	,115	,006	,003	,011	,025	,126	,260
	N		29	29	29	29	29	29	29	29	29

Tabla 10: Correlaciones de Pearson entre ítems I

Variables		D2	D3	D7	C1	C4	C7	C9	A1	A2
P7 Deficiente seguimiento y control económico	Pearson Cor.	,007	,174	,061	,383*	,648**	,418*	,420*	,229	,286
	Sig.	,970	,368	,753	,040	,000	,024	,023	,232	,132
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29
S1 La situación del mercado	Pearson Cor.	,046	,260	,020	,231	,196	,361*	,168	,119	,043
	Sig.	,809	,165	,916	,219	,298	,050	,374	,532	,820
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
S8 Financiación proyecto y pagos	Pearson Cor.	,179	,023	,315	,746**	,206	,249	,216	,109	,124
	Sig.	,343	,905	,090	,000	,274	,184	,253	,568	,513
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
F1 Condiciones imprevistas terreno	Pearson Cor.	,287	,267	,371*	,287	,309	,085	,275	,155	,237
	Sig.	,124	,154	,044	,124	,096	,654	,142	,413	,207
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
F2 Restricciones sitio y condiciones	Pearson Cor.	,214	,163	,240	,257	,332	,140	,308	,044	,329
	Sig.	,257	,391	,201	,170	,073	,459	,098	,819	,076
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
I1 Climatología y fuerza mayor	Pearson Cor.	,266	,421*	,331	,370*	,585**	,221	,545**	,084	,154
	Sig.	,155	,021	,074	,044	,001	,240	,002	,660	,417
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabla 11: Correlaciones de Pearson entre ítems II

Variables		M2	M4	M7	M8	H2	H4	H5	P1	P4	P7
M2 Deficiente Dirección obra	Pearson Cor.	1									
	Sig.										
	N	30									
M4 Deficiente gestión proyecto	Pearson Cor.	,450*	1								
	Sig.	,013									
	N	30	30								
M7 Aprovisionamientos y contrataciones gestor	Pearson Cor.	,183	,639**	1							
	Sig.	,341	,000								
	N	29	29	29							
M8 Coordinación de intervinientes gestor	Pearson Cor.	,485**	,366*	,143	1						
	Sig.	,007	,047	,459							
	N	30	30	29	30						

Variables		M2	M4	M7	M8	H2	H4	H5	P1	P4	P7
H2 Deficiente comunicación y gestión de información	Pears on Cor.	,301	,241	,246	,630**	1					
	Sig.	,106	,199	,198	,000						
	N	30	30	29	30	30					
H4 Falta de experiencia y capacitación	Pears on Cor.	,013	,012	-,155	,350	,579**	1				
	Sig.	,948	,951	,430	,062	,001					
	N	29	29	28	29	29	29				
H5 Ausencia de motivación, compromiso y liderazgo	Pears on Cor.	,210	,128	,014	,573**	,792**	,474**	1			
	Sig.	,265	,502	,944	,001	,000	,009				
	N	30	30	29	30	30	29	30			
P1 Deficiente planificación, programación y organización	Pears on Cor.	,345	,448	,353	,416	,490**	,459	,271	1		
	Sig.	,062	,013	,061	,022	,006	,012	,147			
	N	30	30	29	30	30	29	30	30		
P4 Reejecuciones por defectos	Pears on Cor.	,459	,200	,158	,521**	,664**	,398	,284	,646**	1	
	Sig.	,012	,299	,422	,004	,000	,036	,135	,000		
	N	29	29	28	29	29	28	29	29	29	
P7 Deficiente seguimiento y control económico	Pears on Cor.	,309	,233	,063	,636**	,739**	,581**	,614**	,597**	,647**	1
	Sig.	,103	,224	,749	,000	,000	,001	,000	,001	,000	
	N	29	29	28	29	29	28	29	29	28	29
S1 La situación del mercado	Pears on Cor.	-,044	-,170	-,339	,125	,085	,455	,143	,102	,211	,261
	Sig.	,818	,370	,072	,509	,656	,013	,452	,591	,271	,172
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
S8 Financiación proyecto y pagos	Pears on Cor.	,165	,017	,052	,379*	,510**	,259	,252	,294	,420	,465*
	Sig.	,383	,929	,789	,039	,004	,175	,178	,115	,023	,011
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29

Tabla 12: Correlaciones de Pearson entre ítems III

Variables		M2	M4	M7	M8	H2	H4	H5	P1	P4	P7
F1 Condiciones imprevistas terreno	Pearson Cor.	,269	,291	,325	,384*	,221	,225	,075	,234	,225	,308
	Sig.	,150	,119	,086	,036	,241	,241	,692	,213	,241	,104
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
F2 Restricciones sitio y condiciones	Pearson Cor.	,194	,300	,312	,412*	,229	,193	,075	,307	,183	,281
	Sig.	,304	,107	,099	,024	,224	,316	,693	,099	,342	,140
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
I1 Climatología y fuerza mayor	Pearson Cor.	,300	,396	,279	,542*	,449	,428	,238	,545*	,499*	,623*
	Sig.	,107	,031	,143	,002	,013	,021	,205	,002	,006	,000
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29

Tabla 13: Correlaciones de Pearson entre ítems IV

Variables		S1	S8	F1	F2	I1
S1 La situación del mercado	Pearson Cor.	1				
	Sig.					
	N	30				
S8 Financiación proyecto y pagos	Pearson Cor.	,317	1			
	Sig.	,087				
	N	30	30			
F1 Condiciones imprevistas terreno	Pearson Cor.	,114	,410*	1		
	Sig.	,549	,025			
	N	30	30	30		
F2 Restricciones sitio y condiciones	Pearson Cor.	,258	,431*	,721**	1	
	Sig.	,169	,017	,000		
	N	30	30	30	30	
I1 Climatología y fuerza mayor	Pearson Cor.	,348	,498**	,744**	,625**	1
	Sig.	,059	,005	,000	,000	
	N	30	30	30	30	30

Tabla 14: Correlaciones de Pearson entre ítems V

Variables		D2	D3	D7	C1	C4	C7	C9	A1	A2
D2 Infradefinición o defectos de diseño P. Técnico	Spearman C.	1,000								
	Sig.	.								
	N	30								
D3 Deficiencias de mediciones y presupuesto	Spearman C.	,602*	1,000							
	Sig.	,000	.							
	N	30	30							
D7 Constructibilidad del proyecto	Spearman C.	,576*	,281	1,000						
	Sig.	,001	,133	.						
	N	30	30	30						
C1 Circunstancias de contratación de obra	Spearman C.	,395*	,129	,290	1,000					
	Sig.	,031	,498	,120	.					
	N	30	30	30	30					
C4 Falta de capacidad y experiencia de la empresa C.	Spearman C.	,191	,121	,202	,210	1,000				
	Sig.	,312	,525	,285	,265	.				
	N	30	30	30	30	30				
C7 Deficiente análisis del constructor de la construcción	Spearman C.	,291	,237	,055	,261	,519*	1,000			
	Sig.	,119	,208	,774	,164	,003	.			
	N	30	30	30	30	30	30			
C9 Gestión inadecuada de la constructora	Spearman C.	,087	,214	,125	,162	,629*	,420	1,000		
	Sig.	,646	,257	,510	,392	,000	,021	.		
	N	30	30	30	30	30	30	30		
A1 Falta de definición o modificación del Promotor	Spearman C.	-,047	-,057	-,161	,149	,160	,108	,089	1,000	
	Sig.	,806	,764	,394	,431	,398	,568	,639	.	
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	
A2 Capacidad del promotor/cliente para tomar decisiones adecuadas	Spearman C.	-,109	,023	-,235	-,095	,036	,032	,199	,435*	1,000
	Sig.	,565	,903	,211	,618	,849	,866	,292	,016	.
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabla 15: Correlaciones de Spearman entre ítems I

Variables		D2	D3	D7	C1	C4	C7	C9	A1	A2
M2 Deficiente Dirección de obra	Spearman C.	,202	,077	,327	,150	,313	-,053	,178	,370*	,103
	Sig.	,285	,688	,078	,430	,092	,782	,346	,044	,587
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
M4 Deficiente gestión del proyecto	Spearman C.	,425*	,336	,383*	-,018	,271	,023	,262	-,216	,105
	Sig.	,019	,070	,037	,926	,147	,905	,163	,251	,579
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Variables		D2	D3	D7	C1	C4	C7	C9	A1	A2
M7 Aprovechamiento y contrataciones gestor	Spearman C.	,356	,075	,083	-,105	,271	,073	,098	-	,078
	Sig.	,058	,700	,668	,588	,155	,706	,614	,426	,688
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29
M8 Coordinación de intervinientes gestor	Spearman C.	,089	,066	,113	,479*	,474*	,139	,386*	,407	,254
	Sig.	,641	,728	,553	,007	,008	,464	,035	,026	,176
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
H2 Deficiente comunicación y gestión de información	Spearman C.	,181	,069	,045	,587*	,634*	,423*	,423*	,089	,058
	Sig.	,338	,716	,814	,001	,000	,020	,020	,639	,761
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
H4 Falta de experiencia y capacitación	Spearman C.	,229	,170	,205	,267	,726*	,502*	,341	,070	-
	Sig.	,231	,377	,287	,161	,000	,005	,070	,720	,953
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29
H5 Ausencia de motivación, compromiso y liderazgo	Spearman C.	-	,092	-	,474*	,444*	,223	,351	,189	,336
	Sig.	,748	,630	,459	,008	,014	,237	,057	,317	,069
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
P1 Deficiente planificación, programación y organización	Spearman C.	,316	,184	,210	,276	,677*	,320	,765*	-	,013
	Sig.	,089	,331	,265	,139	,000	,084	,000	,973	,946
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
P4 Reejecuciones por defectos	Spearman C.	,280	,176	,262	,458*	,515*	,413*	,391*	,215	-
	Sig.	,141	,361	,170	,012	,004	,026	,036	,262	,144
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29
P7 Deficiente seguimiento y control económico	Spearman C.	,159	,272	,051	,354	,630*	,414*	,486*	,225	,256
	Sig.	,410	,154	,794	,060	,000	,025	,007	,240	,180
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29
S1 La situación del mercado	Spearman C.	,156	,310	,093	,192	,117	,357	,116	,132	,073
	Sig.	,411	,095	,627	,310	,538	,053	,541	,487	,703
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
S8 Financiación proyecto y pagos	Spearman C.	,378	,069	,332	,718*	,137	,262	,168	,058	,015
	Sig.	,039	,716	,073	,000	,469	,161	,374	,762	,939
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
F1 Condiciones imprevistas terreno	Spearman C.	,276	,255	,293	,291	,313	,101	,228	,041	,120
	Sig.	,140	,174	,116	,118	,092	,594	,226	,829	,528
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
F2 Restricciones sitio y condiciones	Spearman C.	,260	,157	,189	,261	,356	,168	,295	-	,272
	Sig.	,165	,408	,316	,164	,054	,375	,114	,834	,146
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
I1 Climatología y fuerza mayor	Spearman C.	,305	,447	,375	,379*	,611*	,221	,522*	-	,013
	Sig.	,102	,013	,041	,039	,000	,241	,003	,734	,947
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabla 16: Correlaciones de Spearman entre ítems II

Variables			M2	M4	M7	M8	H2	H4	H5	P1	P4	P7
M2 Deficiente Dirección obra	Spearman C.		1,000									
	Sig.		.									
	N		30									
M4 Deficiente gestión proyecto	Spearman C.		,418*	1,000								
	Sig.		,022	.								
	N		30	30								
M7 Aprovisionamientos y contrataciones gestor	Spearman C.		,129	,620**	1,000							
	Sig.		,505	,000	.							
	N		29	29	29							

Tabla 17: Correlaciones de Spearman entre ítems III

Variables			M2	M4	M7	M8	H2	H4	H5	P1	P4	P7
M8 Coordinación de intervinientes gestor	Spearman C.		,527**	,427*	,133	1,000						
	Sig.		,003	,019	,493	.						
	N		30	30	29	30						
H2 Deficiente comunicación y gestión de información	Spearman C.		,332	,293	,208	,618**	1,000					
	Sig.		,073	,116	,279	,000	.					
	N		30	30	29	30	30					
H4 Falta de experiencia y capacitación	Spearman C.		,048	,015	-,107	,324	,559**	1,000				
	Sig.		,805	,939	,589	,087	,002	.				
	N		29	29	28	29	29	29				
H5 Ausencia de motivación, compromiso y liderazgo	Spearman C.		,204	,179	,044	,569**	,796**	,449*	1,000			
	Sig.		,279	,345	,820	,001	,000	,015	.			
	N		30	30	29	30	30	29	30			
P1 Deficiente planificación, programación y organización	Spearman C.		,324	,391*	,332	,478**	,599**	,449*	,368*	1,000		
	Sig.		,081	,033	,078	,008	,000	,014	,045	.		
	N		30	30	29	30	30	29	30	30		
P4 Reejecuciones por defectos	Spearman C.		,431*	,167	,195	,490**	,667**	,353	,278	,672**	1,000	
	Sig.		,020	,386	,319	,007	,000	,065	,145	,000	.	
	N		29	29	28	29	29	28	29	29	29	

Variables		M2	M4	M7	M8	H2	H4	H5	P1	P4	P7
P7 Deficiente seguimiento y control económico	Spearman C.	,339	,285	,071	,642**	,776**	,586**	,612**	,616**	,651**	1,000
	Sig.	,072	,133	,720	,000	,000	,001	,000	,000	,000	.
	N	29	29	28	29	29	28	29	29	28	29
S1 La situación del mercado	Spearman C.	-,041	-,192	-,352	,118	,060	,440*	,124	,094	,241	,278
	Sig.	,829	,309	,061	,533	,753	,017	,515	,621	,208	,144
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
S8 Financiación proyecto y pagos	Spearman C.	,155	,002	-,015	,316	,446*	,214	,251	,304	,439*	,428*
	Sig.	,414	,991	,940	,089	,014	,265	,181	,102	,017	,020
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
F1 Condiciones imprevistas terreno	Spearman C.	,240	,229	,304	,385*	,188	,178	,107	,185	,219	,258
	Sig.	,202	,223	,109	,036	,320	,356	,572	,328	,254	,177
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
F2 Restricciones sitio y condiciones	Spearman C.	,197	,269	,289	,420*	,234	,191	,135	,319	,220	,269
	Sig.	,297	,151	,128	,021	,213	,322	,477	,086	,252	,159
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29
I1 Climatología y fuerza mayor	Spearman C.	,342	,440*	,212	,558**	,504**	,413*	,325	,571**	,523**	,655**
	Sig.	,064	,015	,270	,001	,005	,026	,080	,001	,004	,000
	N	30	30	29	30	30	29	30	30	29	29

Tabla 18: Correlaciones de Spearman entre ítems IV

Variables		S1	S8	F1	F2	I1
S1 La situación del mercado	Spearman C.	1,000				
	Sig.	.				
	N	30				
S8 Financiación proyecto y pagos	Spearman C.	,328	1,000			
	Sig.	,077	.			
	N	30	30			
F1 Condiciones imprevistas terreno	Spearman C.	,094	,388*	1,000		
	Sig.	,623	,034	.		
	N	30	30	30		
F2 Restricciones sitio y condiciones	Spearman C.	,239	,430*	,737**	1,000	
	Sig.	,203	,018	,000	.	
	N	30	30	30	30	
I1 Climatología y fuerza mayor	Spearman C.	,277	,514**	,666**	,626**	1,000
	Sig.	,139	,004	,000	,000	.
	N	30	30	30	30	30

Tabla 19: Correlaciones de Spearman entre ítems V

La existencia de correlaciones significativas entre variables, anuncia la posibilidad de factorizar los datos agrupándolos por dimensiones, de modo que las variables de una dimensión queden correlacionadas entre ellas, y no correlacionadas con las de otros factores.

Extracción de Componentes Principales

En el análisis factorial, utilizamos un conjunto de métodos estadísticos que abordan el problema de cómo analizar la estructura de las interrelaciones (correlaciones) entre el gran número de variables que hemos generado, con la definición de dimensiones subyacentes comunes, llamadas factores.

Los factores se forman de conjuntos de variables correlacionadas que explican similares conceptos, de manera que explicamos los factores a partir de las variables; El Análisis de Componentes Principales (ACP) analiza la información existente a partir de las interrelaciones entre variables.

Un Factor es una combinación lineal de las variables originales, representándose por ejes ortogonales, lo que implica que los factores son independientes e incorrelacionados entre sí. Éstos, se obtienen de forma ordenada, en función de la cantidad de varianza que son capaces de explicar.

Al utilizar la técnica exploratoria, podemos partir del desconocimiento de cuantos factores existen; podemos por tanto iniciar el análisis desde la agrupación establecida en el modelo conceptual y comprobar la factorización prevista. La ventaja principal de este método es la capacidad para acomodar las variables múltiples con el fin de comprobar las relaciones complejas.

Con el análisis factorial, primero identificamos las dimensiones, y después se determina el grado en que se justifica cada variable por cada dimensión y se consigue el resumen y la explicación de datos.

El ACP busca una combinación lineal de las variables de tal manera que la máxima varianza se extrae de las variables. A continuación, elimina esta diferencia y busca una segunda combinación lineal que explica la proporción máxima de la varianza restante, y así sucesivamente. Esto se denomina el método de eje principal y resultados en factores ortogonales (no correlacionada); el ACP analiza la varianza total.

La técnica del análisis factorial se considera apropiada, debido al limitado conocimiento disponible sobre el número de relaciones de factores diferentes, que podrían esperarse para la muestra de datos. La literatura también indica que el ACP proporciona un método determinista para agrupar elementos en subdivisiones significativas para superar problemas de multilinealidad en los

datos. Además, es un procedimiento estadístico que permite descubrir relaciones entre muchas variables; las correlaciones e interacciones entre variables se resumen en un pequeño número de factores subyacentes.

El **análisis de componentes principales**, toma p variables X_1, X_2, \dots, X_p para encontrar la combinación de estas, generando índices (que pueden ser considerados variables latentes) Z_1, Z_2, \dots, Z_p que no estén correlacionados; La no correlación indica que los índices miden diferentes dimensiones en los datos. Es deseable que los datos estén descritos por un número pequeño de índices, de manera que haya una reducción en la dimensión, esto ocurre cuando las variables originales están altamente correlacionadas.

Esta técnica fue depurada por Hotelling (1933) basado en los ajustes ortogonales por mínimos cuadrados introducidos por K. Pearson (1901).

Sobre el análisis de Componentes Principales de un bloque de variables manifiestas, se dice que es unidimensional si el primer valor propio de la matriz de correlaciones de un bloque de variables manifiestas es mayor que uno y el segundo es menor a uno, o al menos muy lejos del primer valor propio. La recomendación es que el primer componente principal esté construido con las correlaciones positivas de todos o al menos la mayoría de las variables latentes. Existen problemas con correlaciones negativas de los indicadores con el componente principal, la sugerencia es eliminar ese indicador que es inadecuado para medir la variable latente (Tenenhaus, Esposito, Y-M., & Lauro, 2005).

La elección de los índices se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo índice debe recoger la máxima variabilidad posible no tomada por el primero, y así sucesivamente. Del total de índices se elegirán aquéllos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente. A éstos se les denomina, precisamente, componentes principales.

La primera componente principal (ecuación [60]) es la combinación lineal de las variables X_1, X_2, \dots, X_p con el vector $A=[a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,p}]$.

$$Z_1 = a_{1,1}X_1 + a_{1,2}X_2 + \dots + a_{1,p}X_p \quad [60]$$

Sujetas a la condición de que: $a_{1,1}^2 + a_{1,2}^2 + \dots + a_{1,p}^2 = 1$

Restricción dada para evitar que la $\text{var}(Z_1)$ se incremente sólo con incrementar el valor de $a_{1,1}$.

El análisis de componentes principales sólo involucra los valores propios (eigen valores o valores característicos) (λ_i) encontrados en la matriz de covarianzas de la muestra. La matriz de covarianzas [61] tiene la siguiente forma:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \cdots & c_{pp} \end{bmatrix} \quad [61]$$

Donde el elemento de la diagonal c_{ii} es la varianza de X_i , y c_{ij} con $i \neq j$ es la covarianza de las variables X_i y X_j . La varianza de los componentes principales son los valores propios de la matriz C . Asumiendo que $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \lambda_p \geq 0$, entonces λ_i corresponde a la i -ésima componente principal.

En particular la $\text{var}(Z_i) = \lambda_i$ y las constantes $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}$ son los elementos correspondientes a los vectores propios (Manly, 1986).

Una propiedad importante de los valores propios (ecuación [62]) es que su suma es igual a la suma de los elementos de la diagonal de la matriz C .

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_p = c_{11} + c_{22} + \cdots + c_{pp} \quad [62]$$

Como c_{ii} es la varianza de X_i y λ_i es la varianza de Z_i , entonces la suma de las varianzas de los componentes principales es igual a la suma de las varianzas correspondiente a las variables originales. De manera que, las componentes principales cubren toda la variación en los datos originales.

Los pasos para un análisis de componentes principales son:

- Realizar la estandarización; Codificar las variables X_1, X_2, \dots, X_p a tener media cero y varianza uno.
- Calcular la matriz de covarianza C ; En el caso de que los datos estén estandarizados es la matriz de correlaciones.
- Obtener los valores propios $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \lambda_p$ y los correspondientes vectores propios $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}$; Los coeficientes del i -ésimo componente principal están dados por a_{ij} , mientras que λ_i es su varianza.
- Descartar cualquier componente que contenga una pequeña porción de la variación de los datos.

Un aspecto clave en el análisis de componentes principales es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras

observar la relación de los pesos con las variables iniciales. De manera que hay que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones, lo cual no siempre es fácil. Así, para que un factor sea fácilmente interpretable deberá arrojar una carga factorial importante (próxima a la unidad) en un solo factor.

Al abordar el Análisis de Componentes Principales, debemos tomar las siguientes decisiones en función de los datos disponibles, que necesitan ser consideradas, como parte del factor de metodología de análisis:

1. Método de extracción de factores; ACP
2. Tamaño de la muestra; $n=30$
3. Tipo de rotación de factores; Varimax

La significatividad en la correlación, avanza la agrupación de las variables e informan de la relación entre las variables que supuestamente están midiendo el mismo factor; Si pertenecen al mismo factor, la relación será alta y significativa. Resulta importante que existan suficientes correlaciones significativas entre las variables (correlaciones superiores a 0,3). Si existiera incorrelación, implicaría que no existirá reducción, de modo que solo se podría obtener un factor por cada variable. La matriz de correlaciones muestra el nivel de asociación entre dos variables, eliminando la influencia de terceras variables. Se busca que existan correlaciones entre las variables objeto de estudio, y que además dichas correlaciones sean superiores a 0,3.

Existen diversas pruebas preliminares de la muestra, que permiten comprobar las características de aptitud, necesaria para el análisis de factores. Una de ellas es el Kaiser Meyer Olkins (KMO), para el muestreo de adecuación. Los valores KMO varían de 0 a 1; los valores más cercanos a 1 indican mayores posibilidades de factorización. El **KMO** debe ser superior a 0,60 para desarrollar un análisis factorial con éxito (*Hutcheson & Sofroniou, 1999*).

Una prueba indicada por las características de los datos y el tamaño de la muestra, es la de **esfericidad de Bartlett**, que comprueba si la muestra fue extraída al azar de una población en la que la matriz de correlación es una matriz de identidad. Ésta utiliza el determinante de la matriz de correlación, y prueba la hipótesis nula de que la matriz de correlación es una identidad utilizando una aproximación chi-cuadrado (*Bartlett, 1947*). Resulta particularmente relevante su comprobación, cuando como es el caso, se trata de una muestra relativamente pequeña de datos (<100) y con un número relativamente grande de variables (> 10). La prueba de Bartlett establece una aproximación chi-cuadrado para determinar si la matriz de correlación desarrollada es una matriz idéntica en el análisis. Se adopta un valor mínimo de 700 para la prueba Bartlett (*Hutcheson & Sofroniou, 1999*).

Una prueba adicional, es la de examinar la matriz de correlaciones anti-imagen. Las diagonales de la matriz deben tener una medida global de adecuación de

muestreo (MSA) de 0,5 o superior (Hair, Jr, Anderson, Tatham, & Black, 1998). Las variables individuales pueden ser consideradas para su eliminación del análisis si están por debajo en esta medida.

Según lo referido, además de las correlaciones, debemos comprobar si los datos obtenidos disponibles son óptimos para realizar la reducción de datos con las siguientes pruebas de aptitud:

1. Comprobar que el índice KMO (Kaiser–Meyer–Olkin) es superior a 0,5 (Tabla 20)
2. Comprobar que el Test de esfericidad de Bartlett es significativo (Tabla 20)
3. Comprobar que la diagonal de la matriz de correlación anti-imagen es superior a 0,5

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,634
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	806,327
	df	78
	Sig.	,000

Tabla 20: KMO and Bartlett's Test

El test de esfericidad de Bartlett's es significativo ($p < 0,001$), indicando que las correlaciones entre ítems son suficientemente grandes para realizar este tipo de análisis de componentes principales en los 24 ítems con rotación Varimax. Este tipo de rotación maximiza la dispersión de cargas dentro de los factores, y por lo tanto un menor número de variables tienen una carga alta en cada factor. El resultado es que los grupos de variables en cada factor son más fáciles de interpretar.

Una decisión importante para la que existen diversas directrices disponibles, es la determinación del número de factores a extraer. Una de las más comunes es atender al mínimo valor propio. Esencialmente, este método consiste en tomar los componentes principales de todas las variables y clasificar sus valores propios de mayor a menor; Los factores que agrupan un autovalor mayor de la unidad deben ser seleccionados como factores a extraer en el análisis.

El **gráfico de sedimentación** respecto al número de factores es aplicado también como parte de este proceso. La trama se emplea para mostrar el punto en el que los valores propios comienzan a estabilizarse y se utiliza como punto de corte para apoyar la adopción de la cantidad deseada de factores (Velicer & Jackson, 1990).

Se realizó el análisis para obtener los eigenvalores de cada componente. Siete componentes presentaron eigenvalores por encima del criterio de Keiser de 1, y en combinación explicaban el 80,81 % de la varianza (Tabla 21). El gráfico de eigenvalores sugiere la existencia de 5 componentes, por lo que el análisis puede ser forzado para obtener sólo estos componentes (Ilustración 31). Las cargas de los ítems en cada factor se muestran en la Tabla 23.

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Componente	Eigenvalores Iniciales			Extracción Sumas de cargas al cuadrado			Rotación sumas de cargas al cuadrado		
	Total	% Varianza	Acumulado %	Total	% Varianza	Acumulado %	Total	% Varianza	Acumulado %
1	7,239	30,164	30,164	7,239	30,164	30,164	4,453	18,554	18,554
2	3,792	15,799	45,963	3,792	15,799	45,963	3,052	12,716	31,270
3	2,185	9,103	55,065	2,185	9,103	55,065	2,772	11,549	42,819
4	2,103	8,762	63,828	2,103	8,762	63,828	2,506	10,443	53,262
5	1,669	6,956	70,783	1,669	6,956	70,783	2,424	10,098	63,360
6	1,365	5,688	76,471	1,365	5,688	76,471	2,222	9,260	72,619
7	1,041	4,336	80,807	1,041	4,336	80,807	1,965	8,188	80,807
8	,813	3,386	84,193						

Tabla 21: Eigenvalores (Valores Propios) y porcentaje de varianza explicada por cada componente

El gráfico de sedimentación, muestra la parte de la varianza total de la nube de puntos expresada por los factores, como se observa esta es decreciente. Por lo general se suelen escoger todos aquellos factores que presentan un valor propio (eigenvalue) mayor que 1 (Ilustración 31).

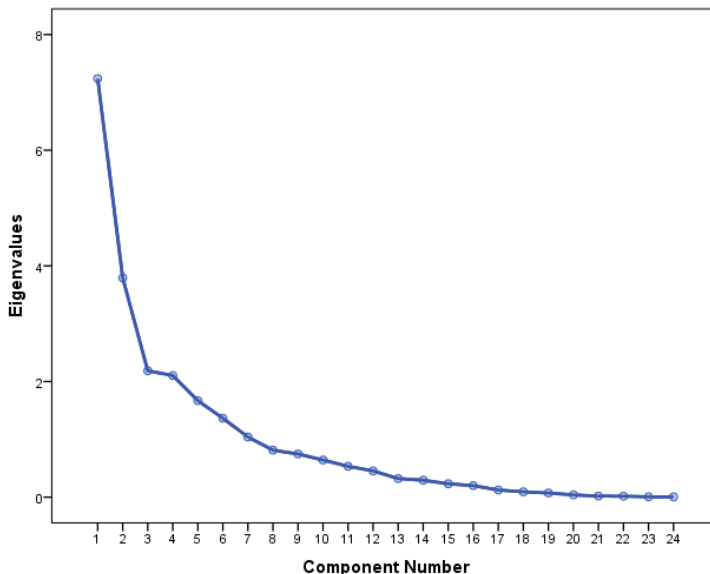


Ilustración 31: Gráfico Eigenvalores

El alisado de datos se realiza para forzar la **reducción** del constructo a **5 factores** que con una varianza del 82,189% dan explicación suficiente al fenómeno estudiado (Tabla 22), permitiendo además obtener las variables líderes de cada uno de los factores reducidos.

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,025	38,657	38,657	5,025	38,657	38,657	2,730	21,003	21,003
2	1,913	14,719	53,375	1,913	14,719	53,375	2,396	18,429	39,433
3	1,438	11,059	64,434	1,438	11,059	64,434	1,895	14,578	54,010
4	1,208	9,295	73,729	1,208	9,295	73,729	1,866	14,353	68,364
5	1,100	8,460	82,189	1,100	8,460	82,189	1,797	13,825	82,189
6	,615	4,729	86,919						
7	,413	3,179	90,097						
8	,358	2,755	92,852						
9	,298	2,290	95,142						
10	,237	1,827	96,969						
11	,222	1,707	98,676						
12	,114	,877	99,552						
13	,058	,448	100,000						

Tabla 22: Total Variance Explained

La **matriz de componentes** nos indica que variables contribuyen a explicar cada factor. Además, nos ofrecen las cargas factoriales que representan la correlación entre la variable original y su factor (Tabla 23); Con el fin de proporcionar una evidencia adicional de validez convergente, se calcula el porcentaje de la varianza para cada una de las escalas. Este valor representa el porcentaje de la varianza explicada por factores subyacentes en los ítems evaluados. Un nivel de 0,50 o por encima se considera como satisfactorio (Fornell & Larcker, 1981).

La carga factorial representa la jerarquía de importancia de cada variable para cada factor.

Extraction Method: Principal Component Analysis.; 5 components extracted.

Variables	Component				
	1	2	3	4	5
infradefinición_proyecto_D2	,462	-,632	-,156	,416	,297
mediciones_y_presupuesto_D3	,431	-,702	-,120	,365	,122
contratación_obra_C1	,580	,323	-,253	-,123	,623
capacidad_constructora_C4	,720	-,084	,424	-,242	-,060
gestión_constructora_C9	,690	-,293	,372	-,348	-,018
alcance_objeto_A1	,234	,596	,328	,480	,039
Dirección_obra_M2	,490	,161	,354	,570	-,015
coordinación_gestor_M8	,672	,508	,204	,082	-,019
planificación_programación_P1	,730	-,242	,404	-,281	,083
financiación_pagos_S8	,595	,330	-,446	-,183	,414
condiciones_terreno_F1	,692	,078	-,436	,155	-,417
restricciones_sitio_F2	,663	,095	-,405	-,050	-,434
fuerza_mayor_I1	,862	-,032	-,160	-,082	-,250

Tabla 23: Matriz de Componente

El problema que presenta la matriz de componentes, radica en que puede expresarnos similares cargas de una variable para los diferentes factores. Esto obliga a que los rotemos, para que las variables carguen en uno u otro factor; Así, con el fin de facilitar la interpretación de factores, el análisis requiere la rotación de los ejes (Tabla 24).

El procedimiento de **rotación**, no afecta a la bondad del ajuste de las soluciones de factor, pero sirve para hacer la salida más comprensible. Existen tres técnicas de rotación de uso general: Varimax, Equimax y Quartermax. De éstas, la más popular es el algoritmo Varimax de Kaiser, que es conocido por ofrecer la mejor solución analítica (Harman, 1967). Esta solución fuerza a que las cargas factoriales de cada variable sean más claramente diferenciables.

Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

	Component				
	1	2	3	4	5
infradefinición_proyecto__D2	,140	,092	,923	,133	,026
mediciones_y_presupuesto_D3	,188	,158	,882	-,033	-,040
contratación_obra_C1	,171	,085	,086	,916	,156
capacidad_constructora_C4	,822	,198	,054	,090	,202
gestión_constructora_C9	,875	,158	,161	,074	-,007
alcance_objeto_A1	-,042	,006	-,151	,108	,845
Dirección_obra_M2	,194	,125	,267	-,021	,769
coordinación_gestor_M8	,363	,331	-,169	,338	,612
planificación_programación_P1	,871	,106	,195	,153	,091
financiación_pagos_S8	,098	,327	,025	,865	,037
condiciones_terreno_F1	,077	,889	,178	,142	,158
restricciones_sitio_F2	,172	,865	,038	,156	,034
fuerza_mayor_I1	,480	,714	,183	,227	,118

Tabla 24: Matriz de componentes rotados

Finalmente, tras la rotación, las variables cargan de forma más drástica sobre uno u otro factor, a efectos de facilitar las explicaciones de las dimensiones obtenidas. La carga factorial representa la correlación entre la variable y su factor de pertenencia. Los valores mínimos exigidos dependen del tamaño de la muestra, pudiendo establecerse un valor límite inferior genérico de 0,3; Para muestras con un número de observaciones inferior a 50 como es el caso, debe establecerse una carga factorial mínima de 0,7, para considerar que la variable aporta explicación a la dimensión con la que se asocia (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006).

Llegados este punto, y con el objeto de clarificar el alisado de datos, debemos contrastar también las cargas factoriales con la tabla de Comunalidades. Si hay variables que no cargan sobre ningún factor, seguramente presentan bajas comunalidades, y por tanto, procede interpretar los factores obtenidos sin esas variables, eliminándolas de posteriores aplicaciones. Las comunalidades carentes de explicación, fueron las que quedaron con valores por debajo de 0,5

y explicaron la proporción de varianza con la que cada variable contribuye a la solución final (Tabla 25).

Extraction Method: Principal Component Analysis: Communalities

	Initial	Extraction
infradefinición_proyecto__D2	1,000	,899
mediciones_y_presupuesto_D3	1,000	,841
contratación_obra_C1	1,000	,907
capacidad_constructora_C4	1,000	,767
gestión_constructora_C9	1,000	,822
alcance_objeto_A1	1,000	,750
Dirección_obra_M2	1,000	,717
coordinación_gestor_M8	1,000	,759
planificación_programación_P1	1,000	,840
financiación_pagos_S8	1,000	,867
condiciones_terreno_F1	1,000	,873
restricciones_sitio_F2	1,000	,805
fuerza_mayor_I1	1,000	,839

Tabla 25: Variables con Comunalidades > 0,5

Análisis de fiabilidad y Validez

Como se vio en el apartado de validación del cuestionario de la segunda ronda de la técnica Delphi, **la fiabilidad** refleja la precisión de las puntuaciones que las escalas ofrecen (mediciones sin errores aleatorios), buscando el grado de consistencia, esto es, el grado en que las variables se relacionan dentro de cada dimensión. Para su análisis comprobamos el índice Alpha de Crombach para cada factor, comprobando la consistencia interna factor por factor, y eliminando aquellas variables cuya supresión nos permita elevar el Alpha de Cronbach a una cifra superior a 0,7.

El **Alpha de Cronbach**, resume la información de consistencia interna de manera sencilla, en un indicador que oscila entre 0 y 1. Si los ítems son independientes, el

valor tendera a 0 (ausencia de consistencia). Si los ítems presentan correlación, el valor tenderá a 1 (consistencia interna en la escala). Así, la contribución de cada ítem a la escala, se valora por el índice de correlación y el Alpha general (α) si excluimos dicho ítem; Por lo tanto, en función de la prueba de fiabilidad de escalas, seleccionaremos los ítems finales que utilizaremos en la escala.

El estadístico Alpha de Cronbach (ecuación [63]) supone un modelo de consistencia interna que estima el límite inferior del coeficiente de fiabilidad basándose en el promedio de las correlaciones entre los ítems, y cuyo cálculo viene determinado por la siguiente expresión:

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \cdot \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_{sum}^2} \right) \quad [63]$$

Dónde:

K es el número de ítems de la escala o subescala.

S_i^2 es la varianza de los ítems (desde 1,..., k) y S_{sum}^2 es la varianza de la escala total. Es decir, este coeficiente mide la fiabilidad de dicha escala (de las variables indicadoras) en función de dos términos: el número de ítems (nº de variables indicadoras) y, la proporción de varianza total de la prueba debida a la covarianza entre sus partes (ítems).

El criterio general que se toma como fiabilidad aceptable es el de $\alpha = 0,70$ (Nunnally, 1978), si bien, en la Literatura se aceptan otros como los de George & Mallery (1995), quienes indican que si el Alpha es menor de 0,5 el instrumento no es aceptable, aunque Kline (1986) sugiere un valor mínimo de 0,6. Para facilitar el alisado de datos, se adoptó el valor mínimo de contribución a 0,7 en la eliminación de ítems-variables para aplicaciones posteriores (Tabla 26).

Reliability: Item-Total Statistics

FACTOR 1		Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item- Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
capacidad_constructora_C4		12,0333	20,930	,725	,865
gestión_constructora_C9		11,5667	18,392	,781	,814
planificación_programación_P1		11,4000	17,903	,796	,801
Cronbach's Alpha	N of Items				
,879	3				

FACTOR 2		Scale Mean if Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
condiciones_terreno_F1		5,5000	11,293	,811	,767
restricciones_sitio_F2		6,6333	14,930	,727	,833
fuerza_mayor_I1		7,3333	16,023	,743	,829
Cronbach's Alpha	N of Items				
,868	3				

FACTOR 3		Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
infrdefinición_proyecto_D2		7,3333	4,713	,757 ^a	
mediciones_y_presupuesto_D3		7,7333	4,547	,757 ^a	
Cronbach's Alpha	N of Items				
,862	2				

FACTOR 4		Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
contratación_obra_C1		4,4333	6,599	,746 ^a	
financiación_pagos_S8		6,1333	7,016	,746 ^a	
Cronbach's Alpha	N of Items				
,855	2				

FACTOR 5		Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
alcance_objeto_A1		10,6000	15,834	,497	,643
Dirección_obra_M2		12,0667	16,064	,518	,622
coordinación_gestor_M8		12,3333	12,299	,565	,564
Cronbach's Alpha	N of Items				
,704	3				

Tabla 26: Fiabilidad; Items-variables $\alpha > 0,70$

Según se señaló en el apartado de validación del cuestionario de la segunda ronda de la técnica Delphi, **la validez** podría definirse como el grado en que el cuestionario mide lo que debería medir, distinguiéndose según la clasificación de 1985 de la American Psychological Association (2009), la validación de contenido, la de criterio y la de constructo.

La validez de constructo resultó convergente, presentando como se ha visto, correlaciones altas y significativas entre las variables manifiestas (u observables) y las variables latentes. La validez de criterio no resulta posible su justificación, en tanto que no se han hallado cuestionarios similares para realizar las comprobaciones de validez simultánea y validez predictiva. La validez de contenido justifica que las escalas recogen los aspectos más importantes para lo que se desea medir; La correspondencia entre el atributo que se pretende medir y el contenido de los ítems que componen las escala. Para que exista validez de contenido, resulta necesario que los ítems sean relevantes y representativos del atributo definido, “hace referencia a que la escala mide lo que se pretende medir”. Para su análisis comprobamos la correlación entre variables de cada factor con el índice, Pearson – Spearman (entre 0 y +1), considerando que cuando el resultado es superior a 0,3 la correlación es aceptable (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006); Se comprueba que los índices son sensiblemente superiores a los mínimos recomendados, y que por tanto las correlaciones entre las variables de una misma dimensión son altas (Tabla 27 a Tabla 31).

Correlations

FACTOR 1		infradefinición_proyecto__D2	mediciones_presupuesto_D3	constructibilidad_D7
infradefinición_proyecto__D2	Pearson Correlación Sig. (2-tailed)	1	,757** 0	,667** 0
mediciones_y_presupuesto_D3	Pearson Correlación Sig. (2-tailed)	,757** 0	1	,419* 0,021
constructibilidad_D7	Pearson Correlación Sig. (2-tailed)	,667** 0	,419* 0,021	1
Spearman's rho		infradefinición_proyecto__D2	mediciones_presupuesto_D3	constructibilidad_D7
infradefinición_proyecto__D2	Correlación Coeficiente Sig. (2-tailed)	1	,602** 0	,576** 0,001

FACTOR 1		infradefinición_proyecto_D2	mediciones_presupuesto_D3	constructibilidad_D7
mediciones_y_presupuesto_D3	Correlation Coefficient Sig. (2-tailed)	,602** 0	1	0,281 0,133
constructibilidad_D7	Correlation Coefficient Sig. (2-tailed)	,576** 0,001	0,281 0,133	1

Tabla 27: Índices de correlación Pearson – Spearman entre variables Factor 1

Correlations

FACTOR 2		capacidad_constructora_C4	gestión_constructora_C9	planificación_programación_P1	control_económico_P7
capacidad_constructora_C4	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	1	,670** 0	,691** 0	,648** 0
gestión_constructora_C9	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	,670** 0	1	,762** 0	,423* 0,02
planificación_programación_P1	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	,691** 0	,762** 0	1	,601** 0
control_económico_P7	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,648** 0 30	,423* 0,02 30	,601** 0 30	1 30
Spearman's rho		capacidad_constructora_C4	gestión_constructora_C9	planificación_programación_P1	control_económico_P7
capacidad_constructora_C4	Correlation Coefficient Sig. (2-tailed)	1	,629** 0	,677** 0	,632** 0
gestión_constructora_C9	Correlation Coefficient Sig. (2-tailed)	,629** 0	1	,765** 0	,477** 0,008

FACTOR 2		capacidad_constru ctora_C4	gestión_constru ctora_C9	planificación_progra mación_P1	control_econó mico_P7
planificación_progra mación_P1	Correl ation Coeffi cient Sig. (2- tailed)	,677** 0	,765** 0	1	,619** 0
control_económico_ P7	Correl ation Coeffi cient Sig. (2- tailed)	,632** 0	,477** 0,008	,619** 0	1
	N	30	30	30	30

Tabla 28: Índices de correlación Pearson – Spearman entre variables Factor 2

Correlations

FACTOR 3		alcance_objeto _A1	capacidad_promot or_A2	Dirección_obra _M2	gestión_Project _M4
alcance_objeto_A1	Pearson Correlati on Sig. (2- tailed)	1	,387* 0,034	,393* 0,032	-0,209 0,268
capacidad_promot or_A2	Pearson Correlati on Sig. (2- tailed)	,387* 0,034	1	0,172 0,363	0,082 0,665
Dirección_obra_M2	Pearson Correlati on Sig. (2- tailed)	,393* 0,032	0,172 0,363	1	,450* 0,013
gestión_Project_M4	Pearson Correlati on Sig. (2- tailed)	-0,209 0,268	0,082 0,665	,450* 0,013	1
Spearman's rho		alcance_objeto _A1	capacidad_promot or_A2	Dirección_obra _M2	gestión_Project _M4
alcance_objeto_A1	Correlati on Coefficie nt Sig. (2- tailed)	1	,435* 0,016	,370* 0,044	-0,216 0,251
capacidad_promot or_A2	Correlati on Coefficie nt Sig. (2- tailed)	,435* 0,016	1	0,103 0,587	0,105 0,579
Dirección_obra_M2	Correlati on Coefficie nt Sig. (2- tailed)	,370* 0,044	0,103 0,587	1	,418* 0,022

FACTOR 3		alcance_objeto_A1	capacidad_promotor_A2	Dirección_obra_M2	gestión_Project_M4
gestión_Project_M4	Correlation Coefficient	-0,216	0,105	,418*	1
	Sig. (2-tailed)	0,251	0,579	0,022	.

Tabla 29: Índices de correlación Pearson – Spearman entre variables Factor 3

Correlations

FACTOR 4		financiación_pagos_S8	contratación_obra_C1
financiación_pagos_S8	Pearson Correlation	1	,746**
	Sig. (2-tailed)		0
contratación_obra_C1	Pearson Correlation	,746**	1
	Sig. (2-tailed)	0	
Spearman's rho		financiación_pagos_S8	contratación_obra_C1
financiación_pagos_S8	Correlation Coefficient	1	,718**
	Sig. (2-tailed)		0
contratación_obra_C1	Correlation Coefficient	,718**	1
	Sig. (2-tailed)	0	

Tabla 30: Índices de correlación Pearson – Spearman entre variables Factor 4

Correlations

FACTOR 5		condiciones_terreno_F1	restricciones_sitio_F2	fuerza_mayor_I1
condiciones_terreno_F1	Pearson Correlation	1	,721**	,744**
	Sig. (2-tailed)		0	0
restricciones_sitio_F2	Pearson Correlation	,721**	1	,625**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0
fuerza_mayor_I1	Pearson Correlation	,744**	,625**	1
	Sig. (2-tailed)	0	0	
Spearman's rho		condiciones_terreno_F1	restricciones_sitio_F2	fuerza_mayor_I1
condiciones_terreno_F1	Correlation Coefficient	1	,737**	,666**
	Sig. (2-tailed)		0	0
restricciones_sitio_F2	Correlation Coefficient	,737**	1	,626**
	Sig. (2-tailed)	0		0

FACTOR 5		condiciones_terreno_F1	restricciones_sitio_F2	fuerza_mayor_I1
fuerza_mayor_I1	Correlation Coefficient	,666**	,626**	1
	Sig. (2-tailed)	0	0	.

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabla 31: Índices de correlación Pearson – Spearman entre variables Factor 5

Discusión y resultados; Factorización

Del análisis cualitativo de los resultados del EFA, se comprueba una reordenación de las variables e identificación de factores cuya distribución atiende menos al agente origen del riesgo de proyecto, y más a una distribución ajustada a las fases y ambientes de influencia del proyecto.

El alisado de datos obtenido, no altera la relación de las variables con altos pesos de influencia en el fenómeno, que los expertos atribuyeron en sus juicios emitidos en la primera ronda Delphi. Tanto es así, que las variables reducidas por presentar bajas cargas factoriales (9 de las 24 variables totales), corresponden a aquellas que presentaron también bajos pesos de importancia relativa (RIW). Resulta significativo que de estas últimas, la mayoría (4 de las 9) son variables incluidas en la dimensión Factor Humano, que como se verá, parecen distribuirse en el ámbito de otras dimensiones, dejando de constituir por ellas mismas un factor. Las otras cinco variables reducidas, se asocian implícitamente a otras de similar contenido dentro de las dimensiones resultado.

En cuanto a la factorización, se obtiene una reducción de dimensiones (de 9 a 5), respecto del constructo teórico planteado como resultado de la primera ronda de la técnica Delphi; Un análisis cualitativo, refleja una redistribución de factores latentes en los siguientes sentidos:

- Resultan dos dimensiones claramente coincidentes con la estructura planteada en el Delphi 1, referidos uno de ellos al diseño, en el que se incluyen aspectos relacionados con el proyecto técnico y sus deficiencias, y el otro, que corresponde al concepto de entorno ambiental más ampliamente entendido, incluyendo la dimensión resultante, tanto las causas físicas relacionadas con el sitio (incluso meteorológicas), como las causas fortuitas.
- Resulta reforzado el factor Social, incluyendo en la dimensión resultado, tanto las variables propias, como otras que refieren a aspectos del entorno económico del proyecto, procediendo renombrar a la dimensión como un factor socioeconómico.

- Resulta una dimensión, cuyas variables hablan de aspectos relacionados con la gerencia del proyecto en el más amplio aspecto del concepto, y engloba tanto a variables que correspondían al factor cliente/alcance, como al factor gestión / management.
- Resulta una dimensión, cuyas variables refieren aspectos de la ejecución material del proyecto, y que en el constructo teórico planteado, se incluían en diversas dimensiones taxomizadas desde una categorización por riesgos del proyecto; Se concentran en el resultado en un nuevo factor, que se nombra como Ejecución (Código C).

El constructo resultante obtenido del alisado de datos quedaría con la siguiente estructura, denominaciones y variables (Tabla 32):

Código	D_PROYECTO/TÉCNICOS (EL DISEÑO)	1
D.2	Defectos/infra definición de diseño	
D.3	Defectos mediciones	
D.7	Constructibilidad	
Código	C_EJECUCION	2
C.4	Capacitación/experiencia contratas/subcontratas	
C.9	Gestión inadecuada constructora	
P.1	Defectuosa/insuficiente programación / planificación	
P.7	Deficiente seguimiento / control económico	
Código	A_GERENCIA	3
A.1	Alcance objeto indefinición / modificación	
A.2	Decisiones inadecuadas- falta capacidad promotor	
M.2	Deficiente dirección de obra	
M.4	Gestión inadecuada + Aprovechamientos Project	
Código	S_SOCIOECONOMICO	4
S.8	Financiación y pagos	
C.1	Contratación / Ofertas demanda / Bajas licitación	
Código	F_AMBIENTAL/FISICO(ENTORNO) + FORTUITAS	5
F.1	Condiciones terreno imprevistas / geológicos	
F.2	Restricciones sitio / condiciones parcela	
I.1	Climatología / Fuerza mayor	

Tabla 32: Constructo del Análisis Factorial Exploratorio

JUICIO DE PROFESIONALES. CUESTIONARIO

Desde la dimensionalidad obtenida en el análisis factorial exploratorio y la validación de los ítems y escalas utilizadas en la técnica Delphi, se elaboró un cuestionario a profesionales, que validado “por extensión” del cuestionario a expertos, pretende obtener la muestra suficiente, que permita aplicar las técnicas de Regresión Lineal Multivariante y Regresión logística con el objetivo de modelizar el fenómeno.

El cuestionario de carácter masivo, utilizó las mismas técnicas de evaluación psicológica ya utilizadas en el apartado anterior con la selección de ítems de consulta correspondientes a las variables seleccionadas en el alisado de datos. La asociación de cada uno de los ítems a variables y factores, atiende a la jerarquización reflejada en el cuadro de modelo conceptual y a la correlación de ítems- variables del apartado anterior.

Contenido general y metodología

El cuestionario a profesionales, es anónimo, si bien se recogen algunos datos personales y de identificación del usuario para poder posteriormente realizar un análisis detallado por categorizaciones.

Se incorporan escalas que incluyen respuestas abiertas, tipo Likert (de 0 a 10 en el que 0 representa ninguna y 10 representa mucha), utilizando los mismos criterios que los ya señalados para el cuestionario a expertos. Se incluyen también dos ítems de diferencial semántico. Los ítems se intercalan asociados a distintas variables para evitar el fenómeno de continuidad por inercia. Por la misma razón, los de diferencial semántico se plantean de geometría asimétrica evitando que se produzcan escoras. Se redacta el cuestionario en formato digital, de modo que es cumplimentado desde el ordenador del encuestado y por rutina automática, convertido en fichero de datos en formato apto para su lectura en el programa de análisis estadístico SPSS 17 y enviado automáticamente por correo electrónico para su tratamiento. Su distribución, se realiza con la colaboración de colegios profesionales, asociaciones de promotores, federaciones-asociaciones de constructores y plataformas web especializadas del sector. Se realizó un pre test piloto para comprobar la idoneidad de la metodología elegida, siendo su resultando satisfactorio.

El **ámbito geográfico** incluye la totalidad del territorio español, habiendo obtenido datos de la totalidad de comunidades autónomas incluyendo los territorios insulares (se excluyeron las ciudades autónomas).

La selección de **la muestra** responde a criterios de representatividad, en relación al número de cuestionarios recogidos en cada una de las categorías de profesionales. El número total de cuestionarios obtenidos fue de 512, y la muestra total seleccionada fue de 480 cuestionarios respuesta de profesionales.

El muestreo se realizó mediante un estratificado aleatorio por afijación proporcional y un reparto proporcional de la muestra entre los distintos estratos en base al número de población de cada uno de los mismos (se mantiene constante el coeficiente de elevación). Los estratos atienden a la diferenciación de los grupos profesionales: Diseñadores proyectistas, Contratista, Gestores de proyectos, Directores de obras y Promotores.

La utilización del muestreo aleatorio estratificado presenta dos principales ventajas:

- Se puede asegurar que los encuestados son adecuados y representativos dentro de cada subgrupo de estudio.
- Se asegura de que los encuestados dentro del mismo grupo son homogéneos.

La **tasa de respuesta** se calcula por estimación del volumen de distribución, resultando una tasa de respuesta total consolidado del 2% para la encuesta, que queda dentro del rango aceptable para un estudio con profesionales de la industria (Alreck & Settle, 1985).

Para la determinación del tamaño de la muestra en función de la población, se calcula según la fórmula [64] en función del error y la población propuesta por Hair et al. (2006) para muestreo estratificado:

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (n - 1) + Z_a^2 \cdot p \cdot q} \quad [64]$$

Donde:

n: Es el tamaño de la muestra

N: Es el tamaño de la población o universo

Z_a: Es la constante de nivel de confianza para distribución normal estándar N(0,1). Nivel de confianza establecido = 95%; Z= 1,96

e: Es el error muestral deseado, en tanto por uno (diferencia entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra y el que obtendríamos si preguntáramos a todo el universo)

- p: Es la proporción de individuos que dentro de la población poseen la característica de estudio; $p=q=0,5$ (Se opta por la opción más segura)
- q: Es la proporción de individuos que no poseen esa característica ($1-p$)

La determinación de la **población** de cada uno de los estratos se realiza en atención a datos del año 2013 del Instituto Nacional de Estadística, y los Consejos Generales de la Arquitectura y la Arquitectura Técnica, con el siguiente desglose:

- Proyectistas; Arquitectos colegiados : 51.158
- Directores de obra y Gestores de proyectos; Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación : 57.512
- Contratistas y Promotores : 425.593

Para la población total calculada, que asciende a 534.263 individuos, y el nivel de confianza establecido (95%), resulta necesaria en aplicación de la fórmula anterior, una muestra $n=384$ respuestas válidas. Se debe además disponer de muestra con respuestas suficientes para garantizar la estratificación aleatoria de la muestra.

Del número de respuestas obtenido, y realizado el reparto de estratificación, se incluyen en el estudio 480 de las 512 respuesta obtenidas, lo que eleva el nivel de confianza calculado respecto de la población al 98%.

Respecto al tamaño de la muestra para el análisis factorial confirmatorio, los autores sugieren un tamaño mínimo muestral de 100 a 200 observaciones (*Guadagnoli & Velicer, 1988*). Otros investigadores han sugerido la necesaria relación del número de variables, investigado con el tamaño de la muestra como criterio, con recomendaciones que van desde 2:1 hasta 20:1. El PCA requiere un tamaño de muestra grande, puesto que se basa en la correlación de las variables involucradas, y las correlaciones generalmente necesitan un gran tamaño de muestra antes de que se estabilice. Tabachnick & Fidell (*2001*) han aconsejado el tamaño con respecto a la muestra: 50 observaciones es muy pobre, 100 también es pobre, 200 es justo, 300 es bueno, 500 es muy bueno y 1000 o más es excelente. Como regla general, es deseable un mínimo de 10 observaciones por variable para evitar dificultades de cálculo. Respecto de este último criterio, que resulta el más restrictivo de los descritos, la muestra necesaria asciende a 150 individuos; Cifra ampliamente superada por los 480 cuestionarios válidos utilizados.

En cuanto a la composición de la muestra y a la **estratificación** por grupos profesionales, el muestreo se realizó estratificado por afijación; El reparto de la muestra entre los distintos estratos, se distribuyó en base al número de población de cada uno de los mismos, considerando cada uno de los estratos como poblaciones independientes, determinando su número de participación

para el nivel de confianza ya establecido del 95%. La distribución quedó como sigue (Ilustración 32):

ACTIVIDAD PROFESIONAL	Individuos	%
Promotores	72	15%
Proyectistas	139	29%
Dirección de obra	93	19%
Contratistas	127	26%
Project Managers	49	10%
TOTAL	480	100%



Ilustración 32: Composición estratificada de la muestra del cuestionario a profesionales.

Validez y Fiabilidad del cuestionario

La validación del cuestionario a profesionales de la industria, por el análisis de fiabilidad, así como el de validez de contenido, se realiza por extensión de la validación del cuestionario a expertos en la segunda ronda de la técnica Delphi. No obstante, como se verá, las altas correlaciones entre variables, corroboraron la fiabilidad y validez del cuestionario elaborado.

Respecto del análisis de validez de constructo, se recurre al Análisis Factorial Confirmatorio para su validación.

Análisis Factorial Confirmatorio

En aras de alcanzar el objetivo de esta investigación, para la determinación de los **Factores Latentes** de alto nivel de riesgo que contribuyen a la superación de los presupuestos de proyectos, se recurre a la herramienta estadística del análisis factorial confirmatorio. En esta línea de trabajo, la investigación clásica más relevante realizada, que relaciona factores causales de desviaciones presupuestarias, con los aspectos cualitativos de riesgos de proyecto, es la realizada por Slovic (1980), en la que se utilizó el análisis factorial (análisis de componentes principales) para reducir muchas de las causas cualitativas de riesgo o atributos, a un número mucho más pequeño de factores de orden

mayor. Al discutir esta investigación original, Gregory & Mendelsohn (1993) señalan que al análisis factorial realizado por Slovic, Fischhoff y Lichtenstein (1980), le ha sido concedido el estatuto de clásico en el campo de la percepción del riesgo.

METODOLOGÍA ANÁLISIS FACTORIAL CONFIRMATORIO

El **Análisis Factorial Confirmatorio (CFA)** analiza las medidas a priori del modelo, en donde el número de factores y su correspondencia a los indicadores son especificados explícitamente (Kline R. B., 2005); Con base en consideraciones teóricas, se establece que variables son indicadoras de determinados factores. Esto da pauta a especificar la estructura del modelo con el objetivo de confirmarla (Ilustración 33).

Esta técnica persigue, al igual que el análisis exploratorio, la variación y covariación en un conjunto de variables observadas en términos de factores no observados que están divididos en comunes y únicos. Long (1987) define este modelo (ecuación [65]) como la relación que se establece entre las variables observadas y los factores; Se expresan matemáticamente:

$$X = \Lambda\xi + \delta \quad [65]$$

y la matriz de covarianza contenida en X [66] se define como:

$$\Sigma = E(xx') = \Lambda\Phi\Lambda' + \Theta_\delta \quad [66]$$

donde se asume que Θ_δ es diagonal.

El modelo general se apoya en el diagrama de sendero, conteniendo algunas condiciones que se establecen en el modelo de estructura de covarianza, como se indica con la siguiente ecuación [67]:

$$X = \Lambda_x\xi + \delta \quad [67]$$

X = vector de $q \times 1$ de variables observadas

Λ_x = matriz de $q \times n$ de coeficientes

ξ = vector de $n \times 1$ de variables latentes

δ = vector de $q \times 1$ de errores

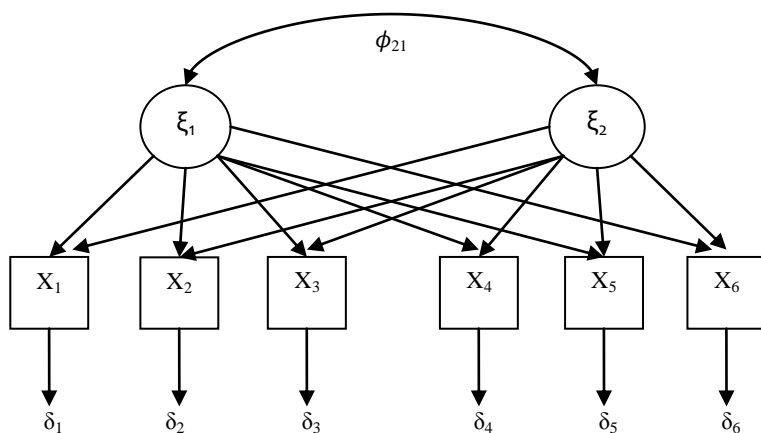


Ilustración 33: Análisis Factorial Confirmatorio

Teniendo en cuenta el gráfico anterior (Ilustración 33), y desarrollando la ecuación [68], el modelo quedaría:

$$X_i = \lambda_{i1}\xi_1 + \delta_i \quad \text{para } i = 1,2,3, \text{ y } X_j = \lambda_{i2}\xi_2 + \delta_j \quad \text{para } j = 4,5,6 \quad [68]$$

En su expresión matricial [69] en la que los coeficientes que conforman la matriz Λ_x , indican la relación de las variables latentes con las variables observadas.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} \\ \lambda_{41} & \lambda_{42} \\ \lambda_{51} & \lambda_{52} \\ \lambda_{61} & \lambda_{62} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix} \quad \text{donde } \Phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \text{ y } \Theta_{\delta} = \text{diag}[\sigma^2\delta_i] \quad [69]$$

Para este modelo se asumen algunos supuestos:

- Los errores aleatorios no están correlacionados con las variables latentes, es decir $E(\xi\delta') = 0$.
- Debido a que se sugiere que las variables se estandaricen, entonces $E(X_i) = 0$
- También se supone que $E(\delta_i) = 0$

Es posible suponer que los errores están correlacionados entre ellos. Las variables latentes si están correlacionadas entre ellas, tal como se indica en la Ilustración 33.

La identificación, al igual que en el análisis de estructura de covarianza, es un paso esencial para poder continuar el desarrollo del método y se obtiene a través de la imposición de restricciones a los parámetros de la matriz de

covarianza. Un caso puede ser la igualdad de restricciones, que no es más que igualar los elementos de Λ que dependan de un mismo factor común, lo que provoca que el valor de los parámetros restringidos iguales sea desconocido.

Estas limitaciones planteadas, van a requerir de condiciones fácilmente verificables que se agrupan en tres tipos (Long, 1984):

- Condiciones necesarias, las cuales si no se satisfacen, indica que el modelo no está identificado, pero si se estas se cumplen, no necesariamente significa que el modelo esté identificado.
- Condiciones suficientes, que son absolutas, es decir, si se ajustan a lo que se está demostrando, entonces se asegura la identificación del modelo, de lo contrario implica que el modelo no se identifica.
- Condiciones necesarias y suficientes, las cuales si se cumplen, implica que el modelo está identificado y de lo contrario, que el modelo no está identificado.

Existe una condición necesaria pero no suficiente más simple, que plantea que para que se cumpla la identificación, el número de parámetros sin restricciones del modelo debe ser menor o igual al número de ecuaciones de covarianzas independientes. La misma se expresa matemáticamente (ecuación [70]) de la manera siguiente:

$$q \cdot n + n \cdot (n + 1)/2 + q \cdot (q + 1)/2 \leq q \cdot (q + 1)/2 \quad [70]$$

Después de que la identificación ha sido establecida, se procede a la estimación de los parámetros. Para ello, a partir de una muestra de los datos observados, se construye una matriz de covarianza muestral S con elementos S_{ij} donde los componentes de su diagonal están conformados por las varianzas de las variables observadas. Además, se define la matriz de covarianza de la población, que relaciona los parámetros de la población por la ecuación [71]:

$$\Sigma = \Lambda\Phi\Lambda' + \Theta \quad [71]$$

A través de esta ecuación, se debe encontrar un estimador que define los parámetros de la población y debe satisfacer las restricciones que han sido impuestas en el modelo, provocando que se genere una matriz de covarianza estimada $\hat{\Sigma}$ tan cerrada como sea posible a la matriz de covarianza muestral S .

El problema en la estimación está en encontrar los valores de $\hat{\Lambda}$, $\hat{\Phi}$ y $\hat{\Theta}$ que logren que $\hat{\Sigma}$ esté cerrada tanto como sea posible a S . Para esto existe una función llamada función ajustada que se señala como $F(S, \Sigma^*)$, para indicar que Σ^* está definida por Λ^* , Φ^* y Θ^* , los cuales satisfacen las restricciones en Λ , Φ y Θ . Aquellos valores de Λ^* , Φ^* y Θ^* que minimizen dicha función para una S dada, son los estimadores muestrales de los parámetros de la población y

están diseñados como $\hat{\Lambda}$, $\hat{\Phi}$ y $\hat{\Theta}$. Existen tres funciones ajustadas que comúnmente son utilizadas en el CFA, estas corresponden a los métodos mínimos cuadrados no ponderados (ULS), mínimos cuadrados generalizados (GLS) y máxima verosimilitud (ML).

La función ajustada por mínimos cuadrados no ponderados (ULS) [72] se define:

$$F_{\text{ULS}}(S; \Sigma^*) = \text{tr}[(S - \Sigma^*)^2] \quad [72]$$

Donde “tr” es el operador de la traza que indica la suma de los elementos de la diagonal de la matriz. Esta función calcula la suma de cuadrados de los elementos correspondientes de S y Σ^* . La estimación intenta minimizar el tamaño de los residuos.

La función ajustada por mínimos cuadrados generalizados [73] es:

$$F_{\text{GLS}}(S; \Sigma^*) = \text{tr}[(S - \Sigma^*)S^{-1}]^2 \quad [73]$$

Como Σ^* se aproxima a S , el valor de la función debe hacerse más pequeño y si S es igual a Σ^* la función necesariamente es igual a cero.

La función ajustada por el estimador de máxima verosimilitud [74], se define como:

$$F_{\text{ML}}(S; \Sigma^*) = \text{tr}(S\Sigma^{*-1}) + [\log|\Sigma^*| - \log|S|] - q, \quad [74]$$

Donde $\log|\Sigma^*|$ es el logaritmo del determinante de la matriz Σ^* .

Los estimadores mínimos cuadrados generalizados y máxima verosimilitud son de escala invariante y cumplen propiedades asintóticas.

Una vez estimados los parámetros de un modelo factorial confirmatorio, se procede a la especificación de la hipótesis a probar, que es $H: \Sigma = \Sigma(\theta)$, donde $\Sigma(\theta)$ es la matriz de covarianza del modelo, y a través de chi cuadrado se prueba la bondad de ajuste del supuesto. Para ello se trabaja con la función ajustada [75], que sea de escala invariante y los grados de libertad de la prueba se calculan:

$$df = [q \cdot (q + 1)/2] - t \quad [75]$$

Hay que señalar, que para la correcta aplicación de este estadígrafo, se debe asumir que (Jöreskog & Sörbom, 1982):

- Las variables observadas estén normalmente distribuidas.
- El análisis esté basado en una matriz de covarianza muestral.
- El tamaño muestral sea suficientemente grande para justificar las propiedades asintóticas de la prueba Chi cuadrado.

Sin embargo, es habitual que alguno de los tres supuestos anteriores no se cumplan en la aplicación del análisis factorial confirmatorio, caso en el que se propone la prueba Chi cuadrado como el indicador adecuado para medir como reproduce el modelo la matriz de covarianza observada S (Jöreskog & Sörbom, 1982); Un valor alto de Chi cuadrado indica una pobre reproducción de S y un valor bajo indica una buena reproducción.

Como recomendación general, en la aplicación del CFA, conviene considerar la inclusión del mayor número posible de indicadores para cada variable latente, de modo que se obtengan pocas soluciones impropias y resultados más estables dando un mayor número de indicadores por variable latente (Haenlein & Kaplan, 2004). Kline (2005) sugiere, en el enfoque basado en covarianzas, al menos tres indicadores por factor.

Análisis estadístico de datos

La jerarquía del modelo conceptual subyacente, estructura factorial y su relación de variables, utilizado como constructo teórico de partida, corresponde al deducido de los datos de la segunda ronda de la técnica Delphi, y obtenido por análisis factorial exploratorio; Queda conformado como sigue (ver Tabla 32):

- El Factor Latente o Constructo: Desviación presupuestaria
- 16 variables estructuradas en 5 factores

Además de los ítems correspondientes a variables, el cuestionario, incorpora otros ítems con la siguiente asignación:

8 ítems de control del factor latente (confirmatorios)
6 ítems de identificación y clasificación (categóricas)

La estadística descriptiva y el establecimiento de la estructura factorial se realizó con la ayuda del paquete estadístico SPSS 17.

Descriptivos

El análisis de los datos de las variables nos informa de su calidad estadística (Tabla 33):

Descriptive Statistics Variables	Mean	Std. Deviation
	Statistic	Statistic
D2_La_infradefinición_o_los_defectos_de_diseño_del_proyecto_técnic	7,07	2,735
D3_Los_deficiencias_en_el_estado_de_mediciones_y_presupuesto_de_pro	6,95	2,624
A1_La_falta_de_definición_o_modificación_del_alcance_del_objeto_del	6,60	2,562
C1_Las_circunstancias_de_la_contratación_de_la_obra_ofertas_baja	6,52	2,517
A2_La_capacidad_del_promotor_cliente_para_la_toma_de_decisiones_a	6,06	2,366
C9_La_gestión_inadecuada_de_la_constructora_a_lo_largo_de_la_obra	5,80	2,622
P1_La_deficiente_planificación_programación_y_organización_de_la_o	5,76	2,695
P7_El_deficiente_seguimiento_y_control_económico_de_la_obra	5,60	2,787
D7_La_constructibilidad_del_proyecto	5,41	2,738
C4_La_falta_de_capacidad_y_experiencia_de_la_empresa_constructora	5,36	2,620
M2_Una_deficiente_Dirección_de_obra	5,16	2,776
M4_la_deficiente_gestión_coordinación_y_aprovisionamiento_de_proye	5,14	2,712
S8_La_financiación_del_proyecto_y_los_pagos_de_obra	4,71	2,632
F1_Las_condiciones_imprevistas_del_terreno_geología_arqueología_e	4,52	2,523
F2_Las_restricciones_del_sitio_y_condiciones_de_parcela	3,46	2,314
I1_La_climatología_y_las_causas_de_fuerza_mayor	2,75	1,916

Tabla 33: Descriptivos estadísticos variables CFA

Se comprueba que si bien la desviación no es muy importante, la distribución de los datos no atiende a una distribución normal en todas las variables. Esto es previsible y normal teniendo en consideración el tamaño de la muestra y la utilización de las escalas Likert. Se opta por la comparación de los índices de correlación de Pearson-Spearman (más adecuado en el caso).

Estadística descriptiva

Dentro de las hipótesis previas para la realización de un análisis factorial confirmatorio, la primera de ellas es el cumplimiento de la normalidad. Los gráficos Q-Q de una distribución normal para cada una de los ítems muestran

que aparentemente no existe violación sobre la suposición de normalidad. La mayoría de los puntos, especialmente los centrales, se ajustan a la línea recta.

También es deseable que exista un cierto grado de multicolinealidad, ya que el objetivo es identificar variables relacionadas. El análisis factorial debe tener suficientes correlaciones para poder aplicarse. Si no hay un número sustancial de correlaciones mayores de 0,3, entonces es probablemente inadecuado.

Las correlaciones entre variables pueden ser analizadas mediante el cálculo de las correlaciones parciales, de tal manera que si las correlaciones parciales son bajas, entonces no existen factores subyacentes verdaderos y el análisis factorial es inapropiado. Esta hipótesis también se puede contrastar buscando que los valores de la diagonal de la matriz anti-imagen sean altos.

En la Tabla 34 observamos que el número de correlaciones mayores que 0,30 es sustancialmente alto por lo que el análisis factorial es apropiado.

	D2	I1	A2	D3	D7	C4	P.7	F1	A1	M2	S8	P.1	C1	C9	F2	M4
D2	1	0,194	0,167	0,699	0,509	0,177	0,279	0,135	0,267	0,364	0,072	0,303	0,223	0,219	0,180	0,344
I1		1	0,250	0,166	0,248	0,295	0,222	0,319	0,190	0,233	0,206	0,279	0,110	0,221	0,418	0,260
A2			1	0,234	0,227	0,377	0,341	0,144	0,388	0,329	0,313	0,384	0,322	0,367	0,176	0,370
D3				1	0,564	0,260	0,342	0,200	0,309	0,367	0,137	0,297	0,306	0,245	0,191	0,305
D7					1	0,399	0,377	0,374	0,395	0,455	0,249	0,338	0,269	0,316	0,365	0,390
C4						1	0,546	0,255	0,288	0,401	0,326	0,550	0,312	0,642	0,253	0,483
P.7							1	0,251	0,412	0,531	0,273	0,628	0,328	0,583	0,270	0,561
F1								1	0,325	0,368	0,306	0,259	0,250	0,312	0,455	0,277
A1									1	0,398	0,317	0,402	0,341	0,343	0,263	0,356
M2										1	0,379	0,507	0,275	0,469	0,340	0,551
S8											1	0,390	0,253	0,351	0,315	0,324
P.1												1	0,362	0,684	0,278	0,611
C1													1	0,481	0,177	0,366
C9														1	0,305	0,610
F2															1	0,365
M4																1

Tabla 34: Correlaciones entre variables.

Además, los valores de la diagonal de la matriz de correlaciones anti-imagen varían entre 1,3 y 2,9 (Tabla 35).

	D2	I1	A2	D3	D7	C4	P.7	F1	A1	M2	S8	P.1	C1	C9	F2	M4
D2	2,235	-0,180	0,091	-1,288	-0,386	0,272	0,140	0,187	-0,045	-0,200	0,195	-0,227	0,019	-0,009	0,037	-0,288
I1	-0,180	1,360	-0,196	0,062	0,031	-0,245	0,024	-0,222	0,040	0,056	0,007	-0,175	0,077	0,168	-0,415	-0,004
A2	0,091	-0,196	1,432	-0,135	0,093	-0,214	0,013	0,153	-0,317	-0,095	-0,163	-0,061	-0,174	-0,007	0,057	-0,148
D3	-1,288	0,062	-0,135	2,344	-0,554	-0,082	-0,235	-0,035	-0,012	-0,052	0,002	0,039	-0,261	0,130	0,039	0,170
D7	-0,386	0,031	0,093	-0,554	2,005	-0,463	-0,010	-0,267	-0,248	-0,213	-0,035	0,106	-0,004	0,192	-0,250	-0,091
C4	0,272	-0,245	-0,214	-0,082	-0,463	2,097	-0,389	0,043	0,136	0,051	-0,111	-0,144	0,085	-0,877	0,121	-0,044
P.7	0,140	0,024	0,013	-0,235	-0,010	-0,389	2,149	0,060	-0,251	-0,384	0,162	-0,572	0,011	-0,231	-0,026	-0,274
F1	0,187	-0,222	0,153	-0,035	-0,267	0,043	0,060	1,517	-0,194	-0,244	-0,122	0,081	-0,129	-0,190	-0,376	0,071
A1	-0,045	0,040	-0,317	-0,012	-0,248	0,136	-0,251	-0,194	1,535	-0,090	-0,126	-0,173	-0,179	0,071	-0,026	0,033
M2	-0,200	0,056	-0,095	-0,052	-0,213	0,051	-0,384	-0,244	-0,090	1,914	-0,252	-0,123	0,118	-0,083	-0,046	-0,395
S8	0,195	0,007	-0,163	0,002	-0,035	-0,111	0,162	-0,122	-0,126	-0,252	1,398	-0,285	-0,076	0,000	-0,187	0,002
P.1	-0,227	-0,175	-0,061	0,039	0,106	-0,144	-0,572	0,081	-0,173	-0,123	-0,285	2,549	0,050	-0,871	0,105	-0,399
C1	0,019	0,077	-0,174	-0,261	-0,004	0,085	0,011	-0,129	-0,179	0,118	-0,076	0,050	1,459	-0,566	0,051	-0,106
C9	-0,009	0,168	-0,007	0,130	0,192	-0,877	-0,231	-0,190	0,071	-0,083	0,000	-0,871	-0,566	2,847	-0,134	-0,476
F2	0,037	-0,415	0,057	0,039	-0,250	0,121	-0,026	-0,376	-0,026	-0,046	-0,187	0,105	0,051	-0,134	1,566	-0,258
M4	-0,288	-0,004	-0,148	0,170	-0,091	-0,044	-0,274	0,071	0,033	-0,395	0,002	-0,399	-0,106	-0,476	-0,258	2,167

Tabla 35: Matriz de correlaciones anti-imagen.

La prueba de esfericidad de Barlett permite rechazar la hipótesis nula, tomando en consideración un nivel de significancia de 0,05. De esta manera, se puede afirmar que sí existe correlación entre las variables del estudio, por lo que tiene sentido realizar el análisis factorial confirmatorio en los datos obtenidos de las encuestas.

El valor del estadístico KMO es de 0,892, por lo que el análisis factorial es adecuado con los datos obtenidos.

En definitiva, las pruebas de KMO y Bartlett (Tabla 36), el estudio de la matriz antiimagen, y la matriz de correlaciones y su significación, resultan satisfactorias, por lo que al análisis factorial puede proporcionarnos buenos resultados.

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,892
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	2688,752
	df	120
	Sig.	,000

Tabla 36: Pruebas de esfericidad y KMO

Para decidir el número de factores que se deben extraer, utilizaremos el criterio de raíz latente y el criterio de porcentaje de la varianza total de los datos, de tal manera, que con el criterio de la raíz tomamos los factores con autovalores (Eigenvalores) mayores que 1 y mediante el porcentaje de varianza se debe obtener explicación de al menos un 60% de la varianza total (Tabla 37).

Componente	iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6.185	38.656	38.656
2	1.558	9.735	48.391
3	1.334	8.34	56.731
4	0.939	5.867	62.598
5	0.84	5.251	67.85
6	0.768	4.803	72.653
7	0.666	4.163	76.815
8	0.622	3.89	80.705
9	0.537	3.353	84.058
10	0.519	3.243	87.301
11	0.432	2.7	90.001
12	0.417	2.604	92.605
13	0.354	2.211	94.817
14	0.326	2.039	96.856
15	0.26	1.624	98.479
16	0.243	1.521	100

Tabla 37: Autovalores CFA

El gráfico de sedimentación (Ilustración 34) indica el punto en el que los valores propios comienzan a estabilizarse y se utiliza como punto de corte para apoyar la adopción de la cantidad adecuada de factores (Velicer & Jackson, 1990).

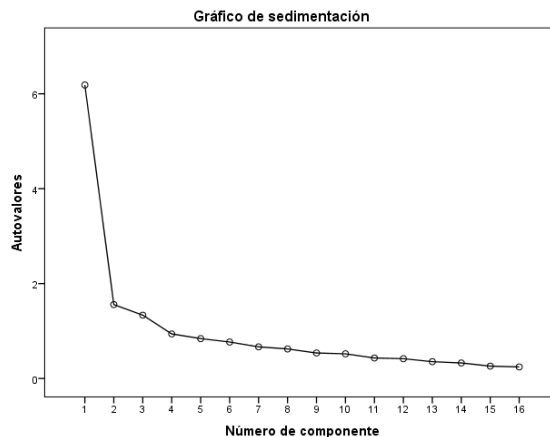


Ilustración 34: Gráfico de sedimentación.

Mediante el criterio de raíz latente tomamos tantos factores como autovalores mayores de 1, en este caso tomaríamos 3 factores.

Aunque el autovalor para el número de factores igual a cuatro es 0,939, se decidió investigarlo para cumplir el criterio de porcentaje de la varianza, de tal forma que con cuatro factores se explica un 62,6% de la varianza total. Por lo tanto, a partir del gráfico de sedimentación y principalmente del estudio de la varianza, nos quedaremos con una estructura factorial con 4 factores.

Evidentemente, con cuatro factores las comunalidades (Tabla 38) son más altas; La cuestión se plantea en que este modelo es más complejo que con tres factores, por lo que se decide entre estas dos estructuras optar por una extracción con cuatro factores.

Las comunalidades indican el porcentaje de varianza explicada de cada variable en el número de factores escogido.

Comunalidades con 3 factores			Comunalidades con 4 factores		
	Inicial	Extracción		Inicial	Extracción
D2	1	0,784	D2	1	0,793
I1	1	0,456	I1	1	0,532
A2	1	0,346	A2	1	0,468
D3	1	0,792	D3	1	0,794
D7	1	0,648	D7	1	0,648
C4	1	0,562	C4	1	0,622
P.7	1	0,612	P.7	1	0,654
F1	1	0,583	F1	1	0,602
A1	1	0,369	A1	1	0,593
M2	1	0,523	M2	1	0,525
S8	1	0,402	S8	1	0,513
P.1	1	0,687	P.1	1	0,716
C1	1	0,342	C1	1	0,514
C9	1	0,723	C9	1	0,743
F2	1	0,651	F2	1	0,664
M4	1	0,597	M4	1	0,635

Método de extracción: Análisis de Componentes principales

Método de extracción: Análisis de Componentes principales

Tabla 38: Comunalidades con tres y cuatro factores.

La extracción de los factores se realiza con el método de componentes principales, que como ha quedado explicado, consiste en realizar una combinación lineal de las variables, de tal manera que el primer componente principal sea la combinación que más varianza explique, el segundo la segunda mayor y que está incorrelacionado con el primero y así sucesivamente.

Una vez decidido el número de factores se obtiene la solución final que queda reflejada en la matriz de componentes (Tabla 39), pero con una pequeña restricción. La matriz de componentes son las cargas de cada variable en cada uno de los factores originados, de modo que las variables con cargas más altas en un factor, nos indica una estrecha relación entre la variable y ese factor, en definitiva es la correlación entre el factor y la variable. Por ello, solo nos interesarán aquellos valores que tengan altas cargas factoriales mayores de 0,40.

	Componentes			
	1	2	3	4
D2	0,507	0,709		
I1	0,436		0,515	
A2	0,542			
D3	0,557	0,676		
D7	0,650	0,459		
C4	0,687			
P.7	0,733			
F1	0,509		0,570	
A1	0,605			0,474
M2	0,722			
S8	0,519			
P.1	0,766			
C1	0,542			0,415
C9	0,754			
F2	0,521		0,616	
M4	0,752			

Tabla 39: Matriz de componentes.

Para la interpretación factorial, resulta interesante que una variable tenga una importante carga factorial para un solo factor y no pertenezca a varios; para provocar que se de esta situación, se recurre a las rotaciones factoriales.

Para ello realizamos la rotación VARIMAX. El efecto último de rotar la matriz de factores es redistribuir la varianza de los primeros factores a los últimos para lograr un patrón de factores más simple y significativo.

Comprobando la *Tabla 40*, se desprende que no ha sufrido alteración la varianza total explicada (62,6%), y sí la varianza que explica cada uno de los factores; 38,7% en el primer factor y sin rotar frente a 22,3% rotado; 9,7% frente a 14,6% del segundo factor; el tercer factor cambia del 8,3% en la solución sin rotar a un 12,9% en la solución rotada y el cuarto factor cambia de un 5,9% a un 12,8%.

Comp.	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6,185	38,656	38,656	6,185	38,656	38,656	3,561	22,254	22,254
2	1,558	9,735	48,391	1,558	9,735	48,391	2,335	14,594	36,848
3	1,334	8,34	56,731	1,334	8,34	56,731	2,075	12,969	49,817
4	0,939	5,867	62,598	0,939	5,867	62,598	2,045	12,782	62,598
Método de extracción: Análisis de Componentes principales.									

Tabla 40: Varianza total explicada

Se comprueba, que las soluciones rotadas se simplifican (*Tabla 41*):

	Componente			
	1	2	3	4
D2		0.873		
I1			0,680	
A2				0,592
D3		0.859		
D7		0.660		
C4	0,747			
P.7	0,744			
F1			0,697	
A1				0,677
M2	0,494			
S8				0,564
P.1	0,781			
C1				0,631
C9	0,798			
F2			0,781	
M4	0,706			

Tabla 41: Cargas factoriales rotadas.

Resultado de la extracción de componentes principales (Tabla 42), se obtienen los cuatro factores que quedan compuestos por las siguientes variables:

Factor 1: C4, P.7, M2, P.1, C9, M4.

Factor 2: D2, D3, D7.

Factor 3: I1, F1, F2.

Factor 4: A2, A1, S8, C1.

De modo que el alisado de datos consigue que los factores queden determinados por menos variables de manera más sencilla.

Esta estructura factorial facilita la interpretación y la denominación de los factores latentes; Así, el primer factor que explicaría algo más del 22 por 100 de la varianza total, tiene correlaciones elevadas y positivas con las variables causales: «la falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora», «el deficiente seguimiento y control económico de la obra», «una deficiente Dirección de obra», «la deficiente planificación, programación y organización de la obra», «la gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra» y «la deficiente gestión, coordinación y aprovisionamiento de proyecto (Project Management)». Por ello, considerando la esencialidad compartida por las causalidades, denominamos a este primer factor como **La ejecución**.

El segundo de los factores encontrados explicaría algo más del 14 por 100 de la varianza total, con pesos importantes en las causalidades, «la infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico», «los deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto de proyecto», «la constructibilidad del proyecto». Manteniendo el criterio adoptado desde el planteamiento del constructo teórico inicial, denominaremos a este factor como **el Proyecto técnico-Diseño**.

El tercer factor, explica algo más del 13 por 100 de la varianza. Las mayores correlaciones son las obtenidas con los motivos «la capacidad del promotor / cliente para la toma de decisiones adecuadas», «la falta de definición o modificación del alcance del objeto del proyecto por el Promotor», «la financiación del proyecto y los pagos de obra» y «las circunstancias de la contratación de la obra (ofertas, bajas, tipología de contrato, etc.)». Podríamos denominar a este factor desde el más amplio concepto del término, como **la gerencia**.

Un cuarto y último factor aparece entre los extraídos en la matriz rotada, que explicaría el 13 por 100 de la varianza. Las mayores correlaciones son las obtenidas con los motivos «la climatología y las causas de fuerza mayor», «las condiciones imprevistas del terreno (geología, etc.)» y «las restricciones del sitio y condiciones de parcela». Podríamos denominar a este factor como **el entorno físico ambiental**.

	Componente			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
C4 La falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora	0,747			
P7 El deficiente seguimiento y control económico de la obra	0,744			
M2 Una deficiente Dirección de obra	0,494			
P.1 La deficiente planificación, programación y organización de obra	0,781			
C9 La gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra	0,798			
M4 La deficiente gestión, coordinación (Project Management)	0,706			
D2 La infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico		0,873		
D3 Los deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto de proyecto		0,859		
D7 La constructibilidad del proyecto		0,660		
I1 La climatología y las causas de fuerza mayor			0,680	
F1 Las condiciones imprevistas del terreno (geología, etc.)			0,697	
F2 Las restricciones del sitio y condiciones de parcela			0,781	
A2 La capacidad del promotor / cliente para la toma de decisiones adecuadas				0,592
A1 La falta de definición o modificación del alcance del objeto del proyecto				0,677
S8 La financiación del proyecto y los pagos de obra				0,564
C1 Las circunstancias de la contratación de la obra (ofertas, bajas, tipología de contrato, etc.)				0,631
Autovalores	6,185	1,558	1,334	1,121
% Varianza explicada	22,25	14,59	12,97	12,78
% Varianza explicada acumulada	22,25	36,85	49,82	62,60
KMO	0,892			
Prueba esfericidad de Barlett	X ² Aprox.=2688,75; gl=120; Sig.<0,001			
NOTA: Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. La rotación ha convergido en 13 iteraciones.				

Tabla 42: Matriz de componentes rotados de las variables.

El constructo resultante obtenido del alisado de datos quedaría con la siguiente estructura, denominaciones y variables (Tabla 43):

Código	D_PROYECTO/TÉCNICOS (EL DISEÑO)	1
D.2	Defectos/infra definición de diseño	
D.3	Defectos mediciones	
D.7	Constructibilidad	
Código	C_EJECUCION	2
C.4	Capacitación/experiencia contratas/subcontratas	
C.9	Gestión inadecuada constructora	
P.1	Defectuosa/insuficiente programación / planificación	
P.7	Deficiente seguimiento / control económico	
M.2	Deficiente dirección de obra	
M.4	Gestión inadecuada + Aprovechamientos Project	
Código	A_GERENCIA	3
A.1	Alcance objeto indefinición / modificación	
A.2	Decisiones inadecuadas- falta capacidad promotor	
S.8	Financiación y pagos	
C.1	Contratación / Ofertas demanda / Bajas licitación	
Código	F_AMBIENTAL/FISICO(ENTORNO) + FORTUITAS	4
F.1	Condiciones terreno imprevistas / geológicos	
F.2	Restricciones sitio / condiciones parcela	
I.1	Climatología / Fuerza mayor	

Tabla 43: Constructo resultado del CFA

Análisis de fiabilidad y validez

La fiabilidad se comprueba por la consistencia interna de las dimensiones; el grado en que las variables se relacionan dentro de cada factor. Para su análisis comprobamos el índice Alpha de Crombach (Tabla 44) para cada factor, comprobando que la eliminación de ninguna variable permita elevar el Alpha de Cronbach a una cifra superior a 0,7 en cada uno de los factores (George & Mallery, 1995).

Cronbach's Alpha	D_PROYECTO/TÉCNICOS (EL DISEÑO)	Cronbach Alpha if Item is Deleted
,810	La infradefinición o los defectos de diseño del proyecto	,722
Reliability Statistics FACTOR 1	Los deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto	,672
	La constructibilidad del proyecto	,808

Cronbach's Alpha	C_EJECUCION	Cronbach Alpha if Item is Deleted
,880	La falta de capacidad y experiencia de la contratista	,869
Reliability Statistics FACTOR 2	El deficiente seguimiento y control económico de la obra	,856
	Una deficiente Dirección de obra	,874
	La deficiente planificación, programación y organización	,850
	La gestión inadecuada de la constructora	,850
	La deficiente gestión coordinación y aprovisionamiento	,857

Cronbach's Alpha	A_GERENCIA	Cronbach Alpha if Item is Deleted
,751	La capacidad del promotor para la toma de decisiones	,562
Reliability Statistics FACTOR 3	La falta de definición o modificación del alcance del objeto	,552
	La financiación del proyecto y los pagos de obra	,607
	Las circunstancias de la contratación .Ofertas bajas	,608

Cronbach's Alpha	F_AMBIENTAL/FISICO(ENTORNO) + FORTUITAS	Cronbach Alpha if Item is Deleted
,768	La climatología y las causas de fuerza mayor	,644
Reliability Statistics FACTOR 4	Las condiciones imprevistas del terreno, geología	,598
	Las restricciones del sitio y condiciones de parcela	,500

Tabla 44: Alpha de Crombach CFA

La validez convergente presentó correlaciones altas y significativas entre las variables manifiestas (u observables) y las variables latentes. La comprobación de la validez de contenido justificó la correlación entre variables de cada factor con el índice, Pearson – Spearman, ofreciendo valores superiores a 0,3 (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006).

Acerca de la validez y fiabilidad de Constructo y sus factores extraídos, se recurre a la prueba de división de datos; Siempre que se cuente con un número suficiente de observaciones o casos, la muestra podría ser subdividida al azar en dos grupos, para practicar el análisis factorial, separadamente, en cada uno de ellos. Si los resultados en términos de cargas de los factores extraídos son similares, aumentará considerablemente la confianza en la robustez de los resultados (Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham, 2006).

Dividimos la muestra en dos partes iguales de 240 respuestas y reestimamos los modelos factoriales para contrastar la comparabilidad. La Tabla 45 contiene las rotaciones Varimax para los dos modelos factoriales, junto a las comunalidades. Se comprueba que las dos rotaciones Varimax son bastante comparables en términos tanto de las cargas como de las comunalidades para los dieciséis ítems.

Variables	Cargas factoriales				Comunalidades
	Factor				
	1	2	3	4	
Muestra de división 1					
C4	Falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora	0,864			0,81
P.7	Deficiente seguimiento y control económico de la obra		0,682		0,55
M2	Deficiente Dirección de obra			0,772	0,64
P.1	Deficiente planificación, programación y organización de obra	0,874			0,76
C9	Gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra		0,658		0,64
M4	Deficiente gestión. coord. y aprov. de proyecto (Project Manag.)	0,665			0,59
D2	Infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico	0,771			0,56
D3	Deficiencias de mediciones y presupuesto de proyecto		0,725		0,70
D7	Constructibilidad del proyecto			0,699	0,54
I1	Climatología y las causas de fuerza mayor	0,513			0,58
F1	Condiciones imprevistas del terreno (geología. etc.)			0,585	0,49
F2	Restricciones del sitio y condiciones de parcela	0,769			0,76
A2	Capacidad del promotor/cliente para la toma de decisiones			0,512	0,74
A1	Falta de definición o modificación del proyecto por el Promotor	0,825			0,78
S8	Financiación del proyecto y los pagos de obra		0,810		0,62
C1	Circunstancias contratación de obra (ofertas. bajas. etc.)	0,713			0,65

Cargas factoriales			
		Factor	
Muestra de división 2			
C4	Falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora	0,889	0,78
P.7	Deficiente seguimiento y control económico de la obra	0,630	0,52
M2	Deficiente Dirección de obra	0,801	0,67
P.1	Deficiente planificación, programación y organización de obra	0,845	0,82
C9	Gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra	0,664	0,66
M4	Deficiente gestión. coord. y aprov. de proyecto (Project Manag.)	0,755	0,60
D2	Infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico	0,682	0,71
D3	Deficiencias de mediciones y presupuesto de proyecto	0,678	0,60
D7	Constructibilidad del proyecto	0,544	0,61
I1	Climatología y las causas de fuerza mayor	0,525	0,52
F1	Condiciones imprevistas del terreno (geología. etc.)	0,635	0,48
F2	Restricciones del sitio y condiciones de parcela	0,829	0,68
A2	Capacidad del promotor/cliente para la toma de decisiones	0,546	0,69
A1	Falta de definición o modificación del proyecto por el Promotor	0,803	0,78
S8	Financiación del proyecto y los pagos de obra	0,754	0,70
C1	Circunstancias contratación de obra (ofertas. bajas. etc.)	0,730	0,63

Tabla 45: Validación del análisis de componentes por estimación de división de la muestra Varimax

Así procedido, las cargas indican que los resultados son estables dentro de nuestra muestra.

Resultados y discusión

El análisis factorial ayuda en la construcción de escalas aditivas identificando la dimensionalidad de las variables. Una escala aditiva es un valor compuesto para un conjunto de variables, que se calcula tomando la media de las variables en la escala. En nuestro caso, el análisis factorial sugiere que deben construirse cuatro escalas aditivas (una para cada factor).

La ventaja de la construcción de las escalas aditivas, reside en la posibilidad de realizar la **comparación de medias** entre las distintas categorías de los individuos, estableciendo la existencia o no, de diferencias significativas en los resultados por categorizaciones.

Así, respecto del **Ámbito en el que se desarrollan los Proyectos**, se procede a obtener las medias de sus escalas aditivas (Tabla 46):

Factor	Ámbito de ejecución		Prueba T para la igualdad de medias	
	Privado M(DT)	Público M(DT)	t [†]	p
El proyecto técnico: Diseño	6,4 (2,3)	6,7 (2,3)	-1,474	0,141
La gerencia	5,9 (1,8)	6,1 (1,7)	-1,221	0,223
La ejecución	5,6 (2,1)	5,3 (2,2)	1,386	0,167
El entorno físico ambiental	3,6 (1,8)	3,5 (1,7)	0,820	0,413

[†]Se han asumido varianzas iguales- *Diferencia significativa p<0.05

Tabla 46: Comparación medias entre ámbitos de ejecución

Para comprobar si existen diferencias significativas en las puntuaciones de las escalas entre el los distintos ámbitos de ejecución (privado o público) se realiza la prueba T (test t de student) para muestras independientes; Bajo las hipótesis de normalidad e igualdad de varianza, la comparación de ambos grupos, puede realizarse en términos de un único parámetro como el valor medio, de modo que la hipótesis de partida es que:

H_0 : La media inicial es igual en ambos grupos

El t test (ecuación [76]) para dos muestras independientes se basa en el estadístico:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1) \cdot \hat{S}_1^2 + (m-1) \cdot \hat{S}_2^2}{n+m-2} \cdot \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}} \quad [76]$$

Donde \bar{X} e \bar{Y} denotan el peso medio en cada grupo (ecuaciones [77] y [78]):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad ; \quad \bar{Y} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m Y_i \quad [77]; [78]$$

Y, las cuasivarianzas muestrales correspondientes (ecuaciones [79] y [80]):

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad ; \quad S_2^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 \quad [79] ; [80]$$

Si la hipótesis de partida es cierta (H_0 : La media inicial es igual en ambos grupos), el estadístico seguirá una distribución t de Student con $n+m-2$ grados de libertad. De ser así, el valor obtenido debería estar dentro del rango de mayor probabilidad según esta distribución. Usualmente se toma como referencia el rango de datos en el que se concentra el 95% de la probabilidad. El valor-p, es la probabilidad de obtener, según esa distribución, un dato más extremo que el que proporciona el test, y refleja la probabilidad de obtener los datos observados si fuese cierta la hipótesis inicial; Si el valor-p es muy pequeño ($p < 0.05$) es poco probable que se cumpla la hipótesis de partida y se debería de rechazar. La región de aceptación corresponde por lo tanto a los valores centrales de la distribución para los que $p > 0,05$.

Según lo anterior, se comprueba (Tabla 46) que no existen diferencias significativas en la puntuación media de las variables analizadas, en las escalas entre el ámbito privado y público ($p > 0,05$).

Procede también analizar las diferencias de las puntuaciones obtenidas de las variables, en función de la **Tipología de los Proyectos** desde la obtención de sus escalas aditivas; Puesto que el número de grupos es superior a dos, resulta necesario recurrir a una generalización de la prueba T para el contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes; El análisis de varianza (Anova) de un factor, que sirve para comparar las puntuaciones medias entre varios grupos cuando la variable es cuantitativa, es aplicable para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes con distribución normal.

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados, en los que interesa comparar los resultados de los factores con respecto a la variable dependiente. Las hipótesis del contraste son siguientes:

1. H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ Las medias poblacionales son iguales
2. H_1 : Al menos dos medias poblacionales son distintas

El Anova de un factor, requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homoscedasticidad).

Para la comprobación de los supuestos, podemos recurrir a la prueba Kolmogorov-Smirnov, aplicable para contrastar la hipótesis de normalidad de la población y al estadístico de Levene, que nos permite contrastar la hipótesis de igualdad de varianzas poblacionales; Si el nivel crítico (sig.) es menor o igual que 0,05, debemos rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas. Si es mayor, aceptamos la hipótesis de igualdad de varianzas; Se comprueba en los descriptivos que se cumplen los supuestos para la comparación de medias entre grupos (Tabla 47):

					Normalidad K-S	Homogeneidad Test Levene
Escala	Tipología	Media	DT	ET	p-valor	p-valor
La ejecución	Residencial	5,6	2,1	0,1	0,090	0,122
	Terciario	5,2	1,9	0,3	0,872	
	Dotacional	5,0	2,4	0,3	0,237	
	Otros	5,5	2,0	0,3	0,313	
El proyecto técnico: diseño	Residencial	6,3	2,3	0,1	0,581	0,296
	Terciario	7,3	2,3	0,2	0,845	
	Dotacional	6,6	2,5	0,3	0,898	
	Otros	7,1	2,2	0,4	0,703	
El entorno físico ambiental	Residencial	3,5	1,8	0,1	0,908	0,258
	Terciario	4,0	2,0	0,3	0,808	
	Dotacional	3,5	1,8	0,2	0,752	
	Otros	3,6	1,5	0,3	0,943	
La gerencia	Residencial	5,9	1,8	0,1	0,536	0,175
	Terciario	6,4	1,6	0,3	1,000	
	Dotacional	6,0	1,7	0,2	0,779	
	Otros	6,2	1,4	0,2	0,034	

Tabla 47: Descriptivos, pruebas de normalidad y homogeneidad de las escalas entre tipologías

El procedimiento para poner a prueba la hipótesis de igualdad de medias consiste en obtener un estadístico, llamado *F*, que refleja el grado de parecido existente entre las medias comparadas. El numerador del estadístico *F* es una estimación de la varianza poblacional basada en la variabilidad existente entre las medias de cada

grupo. Si las poblaciones muestreadas son normales y sus varianzas son iguales, el estadístico F se distribuye según el modelo de probabilidad F de Fisher-Snedecor. Si suponemos cierta la hipótesis de igualdad de medias, podemos conocer en todo momento la probabilidad de obtener un valor como el obtenido o mayor.

El estadístico F es el cociente entre dos estimadores diferentes de la varianza poblacional. Uno de estos estimadores se obtiene a partir de la variación existente entre las medias de los grupos (variación *Inter-grupos*). El otro estimador se obtiene a partir de la variación existente entre las puntuaciones dentro de cada grupo (variación *Intra-grupos*); Los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados y el valor concreto adoptado por cada estimador de la varianza poblacional (*medias cuadráticas*: se obtienen dividiendo las sumas de cuadrados entre sus correspondientes grados de libertad).

Escala	Tipología	Media	ET	ANOVA	
				F	p-valor
La ejecución	Residencial	5,6	0,1	1,901	0,129
	Terciario	5,2	0,3		
	Dotacional	5,0	0,3		
	Otros	5,5	0,3		
El proyecto técnico: diseño	Residencial	6,3	0,1	3,111	0,076
	Terciario	7,3	0,2		
	Dotacional	6,6	0,3		
	Otros	7,1	0,4		
El entorno físico ambiental	Residencial	3,5	0,1	0,708	0,547
	Terciario	4,0	0,3		
	Dotacional	3,5	0,2		
	Otros	3,6	0,3		
La gerencia	Residencial	5,9	0,1	1,008	0,389
	Terciario	6,4	0,3		
	Dotacional	6,0	0,2		
	Otros	6,2	0,2		

Tabla 48: Comparación puntuación media en las escalas entre tipologías

El estadístico F (Tabla 48), se interpreta de forma similar al estadístico T ; Si el nivel crítico asociado al estadístico F (es decir, si la probabilidad de obtener valores como el obtenido o mayores) es menor que 0,05, rechazaremos la hipótesis de igualdad de medias y concluiremos que no todas las medias poblacionales comparadas son iguales. En caso contrario, no podremos rechazar la hipótesis de igualdad y no podremos afirmar que los grupos comparados difieran en sus promedios poblacionales.

Además comprobamos el P-valor del contraste de hipótesis, que se define como la probabilidad de error en que incurriríamos en caso de rechazar la hipótesis nula con los datos de que disponemos. Debe interpretarse el P-valor como una medida de la evidencia que aportan los datos a favor de la hipótesis nula, en concreto, aquellos valores bajos del P-valor se corresponden con datos que no apoyan la hipótesis nula, ya que la probabilidad de equivocarnos en caso de que la rechazáramos sería baja.

El análisis de los datos del estadístico F , así como los p-valor son superiores al nivel de significación del 5%; no se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto, existe evidencia estadística de que no existen diferencias significativas. Puede pues concluirse, que la prueba ANOVA evidencia que no existen diferencias significativas en la puntuación media de las escalas entre las distintas tipologías de proyectos ($p > 0,05$). (Nota: No procede realizar las pruebas post hoc, puesto que la tabla de ANOVA revela que no existen diferencias significativas entre los grupos).

Para analizar la influencia de la tipología de uso (residencial, dotacional y terciario) y ámbito de la iniciativa de la promoción (pública o privada), en la magnitud de las desviaciones presupuestarias, se procedió a la comparación de medias.

Se comprueba la existencia o no, de diferencias significativas en las puntuaciones de las escalas entre los distintos ámbitos de ejecución (privado o público), se realiza la prueba T (test t de student) para muestras independientes; Bajo las hipótesis de normalidad e igualdad de varianza (Tabla 49), la comparación de ambos grupos, puede realizarse en términos de un único parámetro como el valor medio.

Tipología	Ámbito	Mín.	Máx.	Media	DT	Normalidad
						K-S
						p-valor
Residencial	Privado	0	0,50	0,11	0,09	0,683
	Ad. Pública	0	0,30	0,09	0,06	0,479
Dotacional	Privado	0	0,50	0,12	0,12	0,592
	Ad. Pública	0	0,50	0,13	0,09	0,642
Terciario	Privado	0	0,50	0,11	0,09	0,570
	Ad. Pública	0	0,40	0,11	0,07	0,444

Tabla 49: Descriptivos desviación presupuestaria por tipología y ámbito

Según lo anterior, se comprueba (Tabla 50) que solo existen diferencias significativas (al nivel $p < 0,01$) en la puntuación media de las variables analizadas, en las escalas entre el ámbito privado y público en los proyectos de tipología residencial (Ilustración 35). En el resto de tipologías no existe diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tipología	Ámbito		Prueba T para la igualdad de medias			
	Privado Media (ET)	Ad. Pública Media (ET)	Dif. Media	ET dif.	t	p
Residencial	0,11 (0,1)	0,09 (0,1)	0,026	0,008	3,388	0,001**
Dotacional	0,12 (0,1)	0,13 (0,1)	-0,008	0,013	- 0,659	0,511
Terciario	0,11 (0,1)	0,11 (0,1)	0,005	0,010	0,448	0,655

** $p < 0,01$

Tabla 50: Comparación desviaciones presupuestarias por ámbito

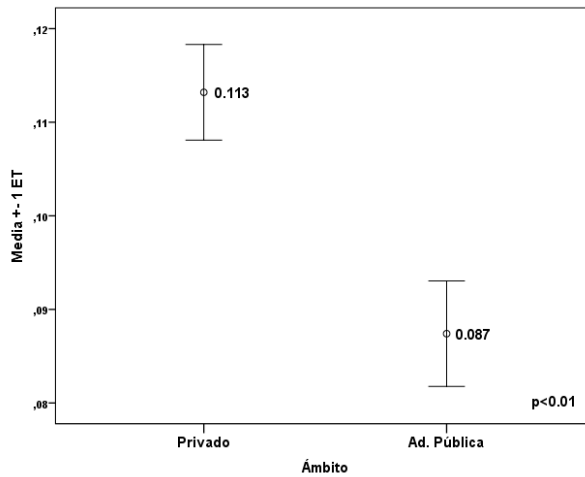


Ilustración 35: Comparación desviación presupuestaria media en obras residenciales por ámbito

Se comprueba la existencia o no, de diferencias significativas en las puntuaciones de las escalas entre las distintas tipologías de uso (residencial, dotacional y terciario); Puesto que el número de grupos es superior a dos, resulta necesario recurrir a una generalización de la prueba T para el contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes; El análisis de varianza (ANOVA) de un factor, que sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa, aplicable para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes con distribución normal, según se comprueba en el test de Kolmogorov-Smirnov aplicable para contrastar la hipótesis de normalidad de la población y al estadístico de Levene (Tabla 51).

Tipología	N	Mín.	Máx.	Media	DT	Normalidad	Homogeneidad
						KS	Test Levene
						p-valor	p-valor
Residencial	421	0	0,5	0,11	0,08	0,522	0,121
Dotacional	285	0	0,5	0,13	0,11	0,113	
Terciario	281	0	0,5	0,11	0,09	0,643	

Tabla 51: Descriptivos desviación presupuestaria por tipología

El procedimiento para poner a prueba la hipótesis de igualdad de medias consiste en obtener el estadístico *F*, que refleja el grado de parecido existente entre las medias comparadas. Además comprobamos el p-valor del contraste de hipótesis.

El análisis de los datos del estadístico F, así como los p-valor (Tabla 52), son superiores al nivel de significación del 5%; se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto, no existe evidencia estadística de que no existen diferencias significativas. Puede pues concluirse, que la prueba Anova evidencia que existen diferencias significativas en la puntuación media de las escalas entre las tipologías en el par de comparación residencial y dotacional ($p < 0,01$), así como en el par terciario dotacional ($p < 0,05$), no existiendo diferencias significativas entre las puntuaciones del par de tipologías residencial y terciario (Ilustración 36).

Tipología	Media	ET	ANOVA		Comparación múltiple BONFERRONI		
			F _{2,984}	p	P _{A/B}	P _{A/C}	P _{B/C}
Residencial (A)	0,11	0,12	5,18	0,006**	0,005**	0,817	0,049*
Dotacional (B)	0,13	0,15					
Terciario (C)	0,11	0,12					

p < 0,05 **p < 0,01

Tabla 52: Comparación desviaciones presupuestarias por tipología

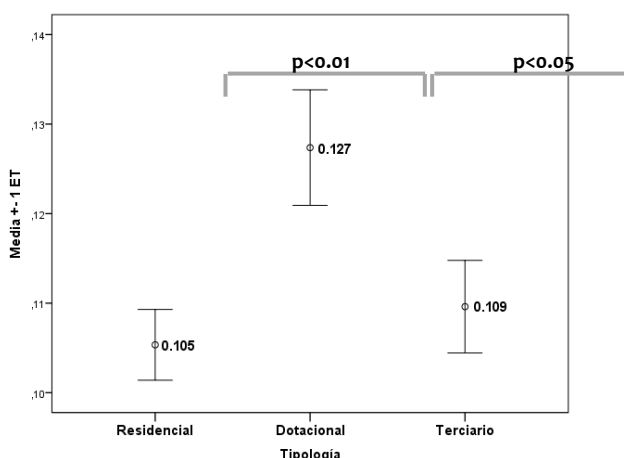


Ilustración 36: Comparación desviación presupuestaria medias por tipología

Respecto de la interpretación de los resultados obtenidos en relación a los factores y variables, se establece la importancia relativa que los profesionales atribuyen a cada Factor Latente responsable de desviaciones presupuestarias; El peso relativo (RIW) de cada factor (Tabla 53), se calculó utilizando la formulación expuesta en el apartado de convergencia de juicios de expertos (Delphi).

Descriptive Statistics FACTORES	Mean	RIW
	Statistic	Statistic
PROYECTO TECNICO	6,983	0,267
LA EJECUCION	6,013	0,230
LA GERENCIA	5,817	0,220
FACORES SOCIOECONOMICOS	4,473	0,170
FACTORES CLIMATICOS Y FORTUITOS	2,996	0,114

Tabla 53: RIW Factores profesionales

Por el mismo método, de los resultados obtenidos, se deduce la importancia relativa que los expertos atribuyen a cada variable responsable de las desviaciones presupuestarias (Tabla 54).

Variable y código	RIW
La infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico- D2	0,082
Deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto de proyecto- D3	0,080
La falta de definición o modificación del alcance del proyecto- A1	0,076
Las circunstancias de contratación (ofertas, bajas, tipo contrato, etc.)- C1	0,074
La capacidad del promotor / cliente en la toma de decisiones - A2	0,070
La gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra- C9	0,067
La deficiente planificación, programación y organización de la obra- P1	0,067
El deficiente seguimiento y control económico de la obra- P7	0,065
La constructibilidad del proyecto- D7	0,062
La falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora- C4	0,061
Una deficiente Dirección de obra- M2	0,059
la deficiente gestión de proyecto (Project Management)- M4	0,059
La financiación del proyecto y los pagos de obra- S8	0,054
Las condiciones imprevistas del terreno (geología, arqueología etc.)- F1	0,052
Las restricciones del sitio y condiciones de parcela- F2	0,040
La climatología y las causas de fuerza mayor- I1	0,032

Tabla 54: RIW Variables profesionales

Y finalmente, los ítems correspondientes al diferencial semántico, informan de las puntuaciones medias que los profesionales atribuyen a los conceptos de exactitud y precisión del sistema de presupuestación de proyectos de arquitectura utilizado en España (Tabla 55).

Descriptive Statistics			
	N	Mean	Std. Deviation
DIFERENCIAL_SEMANTICO_1	480	4,48	1,664
DIFERENCIAL_SEMANTICO_2	480	4,11	1,632
Valid N (listwise)	480		

Tabla 55: Diferencial semántico exactitud sistema presupuestario en España

“Desde la Ciencia, especialmente en el último siglo, se han resuelto problemas complejos gracias a la generación de modelos matemáticos obteniendo soluciones próximas u óptimas a cuestiones para las que no se vislumbraban soluciones absolutas posibles” (Ponz Tienda J. L., 2010).

Un modelo es la representación conceptual aproximada de un fenómeno real a través de la interacción de sus variables de composición, de tal suerte que su utilización ofrezca respuestas útiles, aún a pesar de su imprecisión inherente por la simplificación de lo complejo.

La teoría de probabilidades o las técnicas de simulación, no siempre pueden resolver los problemas complejos, bien por la propia complejidad, bien como es el caso, por la escasez de información de las manifestaciones del fenómeno, sin embargo la mente humana en ocasiones es capaz de resolverlos de modo intuitivo sin ser consciente del mecanismo intelectual del proceso de solución; No podemos llegar a entender su funcionamiento, pero si podemos aprovechar sus resultados. Desde esta doble perspectiva se acomete en esta tesis la modelización del fenómeno; Partiendo del conocimiento intuitivo de los profesionales de la industria, obtenido por el análisis de sus percepciones con las herramientas estadísticas propuestas.

El objetivo último de la modelización estadística no es solo producir un modelo explicativo, sino además proporcionar una herramienta aceptable de ayuda a la toma de decisiones en fases tempranas del proyecto.

Como se ha expuesto en el Estado del Arte, para la generación de modelos en el objetivo de estudio que nos ocupa, han sido utilizadas una gran diversidad de técnicas. De entre todas ellas, las técnicas de regresión se consideran tradicionalmente, el instrumento más eficaz para el desarrollo de modelos que determinen las relaciones entre los atributos de los proyectos, los riesgos del proyecto y la superación de sus presupuestos, gestionando las múltiples variables que intervienen en el fenómeno (Koppula, 1981) (Blair, Lye, & Campbell, 1993) (Elhag & Boussebaine, 1998).

Aceptando la naturaleza de sistema complejo del fenómeno investigado, procede aplicar el principio de parsimonia; **“Pluralitas non est ponenda sine necessitate**; Cuando dos o más explicaciones se ofrecen para un fenómeno, la explicación completa (compleja) más simple es preferible; es decir, no deben multiplicarse las entidades sin necesidad (Guillermo de Ockham (1280-1349), *Lex Parsimoniae*; Principio de parsimonia o de economía).

En estadística, el principio de parsimonia tiene aplicaciones de importancia en el análisis exploratorio de modelos; De un conjunto de variables explicativas, que forman parte del modelo a estudiar, debe seleccionarse la combinación más reducida y simple posible, teniendo en cuenta la varianza residual, la capacidad de predicción y la multicolinealidad.

El desarrollo y la selección de modelos de previsión de desviaciones presupuestarias, parten de la limitación de datos históricos disponibles que necesitan el uso de un modelo de pronóstico complicado, que además requieren de la adición de suposiciones innecesarias y que por tanto trabajan en contra del principio de la parsimonia.

La aplicación de análisis de regresión para el modelado, sigue el principio de parsimonia (de economía). Es decir, los modelos deben ser sofisticadamente sencillos y ajustarse a los datos de forma adecuada sin el uso de parámetros innecesarios; y por lo general producen mejores predicciones (Sonmez, 2004); Las técnicas de regresión se pueden aplicar para alcanzar el principio de parsimonia (Cheung F., 2005), permitiendo obtener las relaciones explícitas entre las variables dependientes e independientes a analizar.

En la línea planteada, esta investigación asume el principio de parsimonia junto a la naturaleza compleja del fenómeno investigado, y recurre a las técnicas de regresión logística multinomial para la modelización perseguida.

Regresión Logística Multinomial

Como se ha visto en el marco teórico de esta tesis, los modelos de regresión representan la combinación lineal o no, que da función al constructo dependiente explicado a través de variables independientes (Hair, 1999), y se aplica al conjunto de datos obtenidos de las respuesta de cuestionarios a profesionales de la industria.

La regresión logística resulta útil para los casos en los que se desea predecir la presencia o ausencia de una característica o resultado según los valores de un conjunto de predictores. Siendo similar a un modelo de regresión lineal, está adaptado para modelos en los que la variable dependiente es dicotómica. Los coeficientes de regresión logística pueden utilizarse para estimar la odds ratio³ de cada variable independiente del modelo.

³ También conocida como razón de probabilidades o razón de momios, la Odds Ratio es el cociente entre la Odds observada en casos, y la Odds del grupo de control. La Odds es el cociente entre la probabilidad de que un evento ocurra, frente a la probabilidad de que no suceda.

La **regresión logística multinomial** (Hosmer & Lemeshow, 1989) (Menard, 2000) o regresión logit, representa una alternativa a la regresión lineal multivariante, para la modelización de fenómenos en los que la variable explicada es categórica, o cuando, aun siendo escalar, los resultados de la regresión lineal no ofrecen la varianza explicada suficiente, de modo que resulta conveniente la categorización de la variable dependiente obteniendo una modelización del fenómeno por tramos a partir de los coeficientes regresores obtenidos. Representa una solución al problema de clasificación, que asume que una combinación lineal de las características observadas, puede ser utilizada para determinar la probabilidad de cada resultado de la variable dependiente modelo, que se utiliza para predecir las probabilidades de los diferentes resultados posibles de una distribución categórica como variable dependiente, dado un conjunto de variables independientes (Aguilera del Pino, 2002).

En particular, la regresión logística en su modalidad multinomial, es una extensión multivariante de la regresión logística binaria clásica, utilizada en modelos con una variable dependiente (En el logit multinomial es el logaritmo de la desviación presupuestaria centrada con su media geométrica) de tipo nominal con más de dos categorías (politómica), pudiendo utilizarse como variables independientes de entrada, tanto variables continuas (covariables) como en el caso que nos ocupa, categóricas (factores) (Hosmer & Lemeshow, 2000) (Pando Fernández & San Martín Fernández, 2004).

En nuestro modelo buscado, la variable respuesta, aun siendo escalar en la naturaleza del fenómeno, se ha categorizado por intervalos de desviación presupuestaria según quedó reflejado en los ítems del cuestionario (2,5%-5%-7,5%-10%-12,5%-15%-20%>20%), que se toman como categorías de referencia para el modelo. Las variables predictoras utilizadas para conocer su asociación con los porcentajes de desviación presupuestaria, según lo obtenido del análisis factorial confirmatorio, son los cuatro factores latentes, que constituyen además escalas aditivas de las variables explicativas.

Cuando la variable dependiente cualitativa analizada presenta diversas posibilidades en la respuesta (J posibilidades) tenemos modelos que se denominan de respuesta múltiple. Este tipo de modelos los podemos clasificar en dos grandes grupos dependiendo de la naturaleza de la variable discreta:

Modelos logit No Ordenados: Si la variable presenta un conjunto de categorías que no se pueden ordenar.

Modelos logit Ordenados: Cuando la variable posee un conjunto de categorías que presentan una determinada ordenación.

En nuestro caso, la variable dependiente cualitativa presenta diferentes modalidades en las que podemos establecer una relación de orden entre ellas, y por tanto, estamos en principio ante un modelo Logit Ordenado.

El objetivo primordial que resuelve esta técnica es el de modelar cómo influye en la probabilidad de aparición del suceso de la desviación presupuestaria (suceso politómico), la presencia o no de diversos factores y el valor o nivel de los mismos. Es decir, estimar la probabilidad de aparición de cada una de las posibilidades del suceso con más de dos categorías (4 en este caso).

Con el modelo de regresión logística se consiguen dos objetivos:

- Cuantificar la importancia de la relación existente entre cada una de las covariables y la variable dependiente, lo que permite también clarificar la existencia de interacción y confusión entre covariables respecto a la variable dependiente (La odds ratio para cada covariable).
- Clasificar individuos dentro de las categorías de la variable dependiente, según la probabilidad que tenga de pertenecer a una de ellas, dada la presencia de determinadas covariables.

Además, la regresión logística multinomial, permite especificar un modelo de efectos principales que contiene los efectos principales de las covariables y los factores, pero no contiene efectos de interacción. Un modelo factorial completo contiene todos los efectos principales y todas las interacciones factor por factor, y no contiene interacciones de covariables; Puede crear un modelo personalizado para especificar subconjuntos de interacciones entre los factores o bien interacciones entre las covariables, o solicitar una selección por pasos de los términos del modelo (Agresti, 2002).

En la **formulación** de los modelos de regresión logística binaria, si tenemos una variable dependiente Y, que toma valores $Y=\{0,1\}$ (presencia ó ausencia respectivamente de la característica de la variable), la ecuación [81] de partida del modelo viene dada por:

$$P[Y = 1|X] = \frac{\exp(b_0 + \sum_{s=1}^n b_s x_s)}{1 + \exp(b_0 + \sum_{s=1}^n b_s x_s)} \quad [81]$$

Dónde:

$[Y=1|X]$ es la probabilidad de que Y tome el valor 1, en presencia de las covariables X, que lo denotaremos por $p(X)$.

X es un conjunto de n covariables $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ que forman parte del modelo; b_0 es la constante del modelo o término independiente y los b_s son los coeficientes de las covariables.

Puede realizarse la transformación logarítmica (logit) desde la ecuación exponencial inicial [82], permitiendo su uso como una función lineal de fácil interpretación:

$$\ln \left[\frac{p(X)}{1 - p(X)} \right] = b_0 + \sum_{s=1}^n b_s x_s \quad [82]$$

Dado que en la regresión logística multinomial, se presentan más de dos categorías en la variable dependiente, procede hacer la modelización con varios logits simultáneamente, uno para cada una de las restantes categorías respecto a la categoría de referencia que se haya considerado de la variable dependiente.

Consideremos una variable de respuesta politómica Y con más de dos categorías de respuesta que denotaremos por Y_1, Y_2, \dots, Y_k .

Se pretende explicar la probabilidad de cada categoría de respuesta en función de un conjunto de covariables $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ observadas, mediante un modelo para cada vector x de valores observados de las variables explicativas X, de la forma [83]:

$$p_j(x) = P[Y = Y_j | X = x] = f_j(x) \quad \forall j = 1, \dots, k \quad [83]$$

En el caso de una variable de respuesta binaria, condicionada a cada combinación de valores observados de las covariables, sigue una distribución del tipo Bernoulli.

Cuando la variable de respuesta es politómica, la distribución de Bernoulli se convierte en una distribución multinomial, cuyos parámetros son las probabilidades de cada una de las categorías de respuesta ($Y/X = x$) $\rightarrow M(1; p_1(x), \dots, p_k(x))$;

Siendo: $\sum_{j=1}^k p_j(x) = 1$

Así que para obtener un modelo lineal, obtendremos $\binom{K}{2}$ transformaciones logit para comparar cada par de categorías de la variable respuesta, que serían del tipo [84]:

$$\ln \left[\frac{\frac{p_i(x)}{p_i(x) + p_j(x)}}{\frac{p_j(x)}{p_i(x) + p_j(x)}} \right] = \ln \left[\frac{p_i(x)}{p_j(x)} \right], \quad \forall i, j = 1, \dots, k (i \neq j) \quad [84]$$

Éstas representan el logaritmo de la ventaja de respuesta Y_i frente a Y_j , condicionado a las observaciones de las variables independientes que caen en uno de ambos niveles.

Para construir el modelo logit de respuesta multinomial bastaría con considerar $(k - 1)$ transformaciones logit básicas, definidas con respecto a una categoría de referencia, tomando como categoría de referencia la última Y_k . Así las transformaciones logit generalizadas se definen como [85]:

$$L_j(x) = \ln \left[\frac{p_j(x)}{p_k(x)} \right] \quad \forall j = 1, \dots, k - 1 \quad [85]$$

Siendo (x) el logaritmo de la ventaja de respuesta Y_j , dado que las observaciones de las variables independientes caen en la categoría Y_j ó en la Y_k .

El modelo lineal para cada una de las transformaciones logit generalizadas, para n variables explicativas, es de la forma [86];

$$L_j(x) = \sum_{s=0}^n b_{sj} x_s = x' b_j \quad \forall j = 1, \dots, k - 1 \quad [86]$$

para cada vector de valores observados de las variables explicativas $x = [x_0, x_1, x_2, \dots, x_n]$ con $x_0 = 1$ y $b_j = [b_{0j}, b_{1j}, \dots, b_{nj}]$ el vector de parámetros asociado a la categoría Y_j

Para las probabilidades de respuesta, podemos escribir el modelo de la siguiente forma [87]:

$$\begin{cases} p_j(x) = \frac{\exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_s)}{1 + \sum_{j=1}^{k-1} \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_s)} \\ p_k(x) = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{k-1} \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_s)} \end{cases} \quad \forall j = 1, \dots, k - 1 \quad [87]$$

O equivalentemente, podemos obtener de ambas expresiones, una expresión reducida del modelo [88]:

$$p_j(x) = \frac{\exp\left(\sum_{s=0}^n b_{sj}x_s\right)}{\sum_{j=1}^k \exp\left(\sum_{s=0}^n b_{sj}x_s\right)} \quad \forall j = 1, \dots, k \quad [88]$$

Siendo $b_{sk} = 0 \quad \forall s = 0, 1, \dots, n$

Para la **interpretación de los parámetros del modelo** (Kleinbaum, 1994), si tenemos como es el caso, más de una variable predictora cuantitativa (Ordinales tratadas como cuantitativas), para el modelo logit generalizado múltiple (ecuación [89]), los cocientes de ventajas se definen incrementando una de las variables y fijando las demás.

$$\begin{aligned} \theta_j(\Delta X_r = 1 / X_s = x_s, s \neq r) &= \frac{P[Y = Y_j / X_r = x_r + 1, X_s = x_s, s \neq r]}{P[Y = Y_k / X_r = x_r + 1, X_s = x_s, s \neq r]} = \\ &= \frac{P[Y = Y_j / X_r = x_r, X_s = x_s, s \neq r]}{P[Y = Y_k / X_r = x_r, X_s = x_s, s \neq r]} = \\ &= \exp(b_{rj}) \quad \forall j = 1, \dots, k - 1 \end{aligned} \quad [89]$$

Siendo $\theta_j(\Delta X_r = 1 / X_s = x_s, s \neq r)$ el cociente de ventajas de respuesta Y_j frente a la última categoría Y_k , cuando aumenta en una unidad la variable X_r y las demás se controlan fijas.

ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES REGRESORES

Para la **estimación de los coeficientes** del modelo y de sus errores estándar se utiliza la estimación por máxima verosimilitud; Estimaciones que hagan máxima la probabilidad de obtener los valores de la variable dependiente y proporcionados por los datos de la muestra.

Al contrario de lo que ocurre con la estimación de los coeficientes de regresión lineal múltiple para los que se utiliza el método de los mínimos cuadrados, la obtención de las estimaciones de los coeficientes de la regresión logística multinomial no son directos, resultando necesario la utilización de métodos

iterativos, como el método de Newton–Raphson, que permiten además de obtener las estimaciones de los coeficientes de regresión, obtener sus errores estándar y las covarianzas entre las covariables del modelo.

La formulación del método de **estimación por máxima verosimilitud** (Silva Ayçaguer & Barroso Ultra, 2004), parte de la suposición de una muestra aleatoria de tamaño N con Q combinaciones diferentes de valores de las variables explicativas X_1, \dots, X_n .

Si denotamos a cada una de las combinaciones de valores de las variables explicativas por $x_q = (x_{q0}, x_{q1}, \dots, x_{qn})'$ con $x_{q0} = 1 \quad \forall q = 1, \dots, Q$, en cada una de estas combinaciones se tiene una muestra aleatoria de d_q observaciones independientes de la variable de respuesta politémica Y , de entre las cuales denotamos por $y_{j/k}$ al número de observaciones que caen en la categoría de respuesta $Y_j \quad \forall j = 1, \dots, k$.

Verificándose que: $\sum_{j=1}^k y_{j/q} = d_q$ y $\sum_{q=1}^Q d_q = N$

Los vectores $(y_{1/q}, \dots, y_{k/q})' \quad \forall q = 1, \dots, Q$ siguen una distribución de probabilidad multinomiales independientes, $M(d_q; p_{1/q}, \dots, p_{k/q})$ siendo $p_{j/q} = P[Y = Y_j/X = x_q]$

Y verificando que: $\sum_{j=1}^k p_{j/q} = 1$

Por tanto, la función de verosimilitud [90] viene dada por:

$$V = \prod_{q=1}^Q \left(\frac{d_q!}{\prod_{j=1}^k (y_{j/q})!} \prod_{j=1}^k p_{j/q}^{y_{j/q}} \right) \quad [90]$$

Y el núcleo de la log-verosimilitud [91]:

$$K = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k y_{j/q} \ln(p_{j/q}) \quad [91]$$

El problema de maximizar la verosimilitud se sustituye minimizando la siguiente función auxiliar [92] (Aguilera del Pino, 2002):

$$\Lambda = -2\ln(V) \quad [92]$$

Sustituyendo en la expresión anterior, obtenemos la siguiente expresión del núcleo de la log-verosimilitud [93]:

$$\begin{aligned}
 K &= \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k y_{j/q} \left(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs} \right) - \sum_{q=1}^Q \left(\sum_{j=1}^k y_{j/q} \right) \ln \left(\sum_{j=1}^k \exp \left(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs} \right) \right) \\
 &= \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k y_{j/q} \left(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs} \right) - \sum_{q=1}^Q n_q \ln \left(\sum_{j=1}^k \exp \left(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{93}$$

Y derivando respecto de los parámetros [94]:

$$\frac{\Delta K}{b_{sj}} = \sum_{q=1}^Q y_{jq} x_{qs} - \sum_{q=1}^Q n_q x_{qs} \frac{\exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs})}{\sum_{j=1}^k \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs})} \tag{94}$$

Obtenemos las ecuaciones de verosimilitud con forma matricial [95]:

$$X'_{((n+1) \cdot Q)} Y_{j(Q \cdot 1)} = X'_{((n+1) \cdot Q)} \hat{m}_{j(Q \cdot 1)} \quad \forall j = 1, \dots, k - 1 \tag{95}$$

Siendo $y_j = (y_{j/1}, \dots, y_{j/Q})'$ y $\hat{m}_j = (\hat{m}_{j/1}, \dots, \hat{m}_{j/Q})'$ con $\hat{m}_{j/q}$ la frecuencia esperada de respuesta Y_j en la combinación x_q de valores observados de las variables predictoras, estimada bajo el modelo y definida como $\hat{m}_{j/q} = d_q \hat{p}_{j/q}$

Se obtienen los estimadores de máxima verosimilitud resolviendo $k - 1$ sistemas de $n + 1$ ecuaciones no lineales, utilizando el **método iterativo de Newton-Raphson**, con el que obtenemos el estimador de los parámetros \hat{b} , que es una matriz de dimensión $(n + 1) \cdot (k - 1)$ formado por las columnas:

$\hat{b} = (\hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_{k-1})$ siendo \hat{b}_j el estimador de máxima verosimilitud del vector de parámetros asociado a la categoría de la variable respuesta Y_j .

Obtenemos la matriz de covarianzas de \hat{b} como inversa de la matriz de información de Fisher, calculando primero la matriz de covarianzas de cada vector de parámetros \hat{b}_j .

Calculando las derivadas segundas de K con $r \neq s$ [96]:

$$\frac{\Delta^2 K}{\Delta b_{rj} \Delta b_{sj}} = \tag{96}$$

$$-\sum_{q=0}^Q n_q x_{qs} x_{qr} \frac{\exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs}) [\sum_{j=1}^k \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs}) - \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs})]}{[\sum_{j=1}^k \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs})]^2}$$

La matriz de covarianzas [97] viene dada por:

$$\text{Cov}(\hat{b}_j) = \left[-E \left(\frac{\Delta^2 K}{\Delta b_{rj} \Delta b_{sj}} \right) \right]^{-1} = [X' \text{Diag}[d_q p_{j/q} (1 - p_{j/q})] X]^{-1} \tag{97}$$

Calculando las derivadas segundas de K con $r \neq s$ y $j \neq i$, obtenemos las matrices de covarianzas cruzadas entre cada par de estimadores \hat{b}_j y \hat{b}_i ($i \neq j$) [98]:

$$\frac{\Delta^2 K}{\Delta b_{ri} \Delta b_{sj}} = -\sum_{q=0}^Q n_q x_{qs} x_{qr} \frac{-\exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs}) \exp(\sum_{s=0}^n b_{si} x_{qs})}{[\sum_{j=1}^k \exp(\sum_{s=0}^n b_{sj} x_{qs})]^2} \tag{98}$$

Dando lugar a la siguiente expresión de la matriz de covarianzas [99]:

$$\text{Cov}(\hat{b}_j, \hat{b}_i) = \left[-E \left(\frac{\Delta^2 K}{\Delta b_{ri} \Delta b_{sj}} \right) \right]^{-1} = [-X' \text{Diag}[d_q p_{j/q} p_{i/q}] X]^{-1} \tag{99}$$

Finalmente, tenemos que la matriz de covarianzas del estimador \hat{b} [100] es:

$$\text{Cov}(\hat{b}) = \begin{pmatrix} \text{Cov}(\hat{b}_1) & \text{Cov}(\hat{b}_1, \hat{b}_2) & \cdots & \text{Cov}(\hat{b}_1, \hat{b}_{k-1}) \\ \text{Cov}(\hat{b}_1, \hat{b}_2) & \text{Cov}(\hat{b}_2) & \cdots & \text{Cov}(\hat{b}_2, \hat{b}_{k-1}) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \text{Cov}(\hat{b}_1, \hat{b}_{k-1}) & \text{Cov}(\hat{b}_2, \hat{b}_{k-1}) & \cdots & \text{Cov}(\hat{b}_{k-1}) \end{pmatrix} \tag{100}$$

El contraste de la **bondad de ajuste** del modelo en el logit multinomial, requiere de la comprobación de un estadístico que sigue una distribución similar a X^2 denominado Likelihood, que corresponde con el doble logaritmo del estadístico

de verosimilitud (*Fagerland, Hosmer, & Bofin, 2008*); Para contrastar la bondad del ajuste global del modelo, cuando el número de observaciones en cada combinación de valores de las variables explicativas es grande, se utiliza el estadístico Chi-cuadrado de Pearson y el estadístico de Wilks de razón de verosimilitudes.

El estadístico **Chi-cuadrado de Pearson** de bondad de ajuste a un modelo de regresión logística multinomial M, de la forma anterior viene dado por [101]:

$$X^2(M) = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k \frac{(y_{j/q} - d_q \hat{p}_{j/q})^2}{d_q \hat{p}_{j/q}} \quad [101]$$

Siendo $\hat{p}_{j/q}$ la estimación por máxima verosimilitud de $p_{j/q}$.

Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación α cuando $X^2(M)_{Obs} \geq X^2_{Q-(n+1) \cdot (k-1); \alpha}$

Es también posible definir el p-valor del contraste (ecuación [102]) como la probabilidad acumulada a la derecha del valor observado:

$$p\text{-valor} = P[X^2(M) \geq X^2(M)_{Obs}] \quad [102]$$

y en este caso, se rechaza la hipótesis nula cuando $p\text{-valor} \leq \alpha$.

El estadístico de **Wilks** ($G^2(M)$, también denominado devianza), de razón de verosimilitudes para el contraste de bondad de ajuste del modelo de regresión logística multinomial M, se obtiene como menos dos veces el logaritmo del cociente entre el supremo de la verosimilitud bajo la hipótesis nula y el supremo de la verosimilitud en la población. A partir de esta expresión, operando se obtiene la expresión del estadístico [103]:

$$G^2(M) = 2 \left[\sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k y_{j/q} \ln \left(\frac{y_{j/q}}{\hat{m}_{j/q}} \right) \right] \quad [103]$$

Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación α , cuando: $G^2(M)_{Obs} \geq X^2_{Q-(n+1) \cdot (k-1); \alpha}$

O cuando: $p\text{-valor} = P[G^2(M) \geq G^2(M)_{Obs}] \leq \alpha$

Al igual que en la regresión logística binaria, es posible realizar la comprobación de la **calidad del ajuste** de la regresión logística multinomial mediante el contraste de coeficientes de determinación conocidos como **Pseudo-R²**. Entre estos

coeficientes, el de mayor utilización es el de **Mc-Fadden** (Pando Fernández & San Martín Fernández, 2004) (Aguilera del Pino, 2002):

Si tenemos $\Lambda = -2 \ln(V)$, identificamos por Λ_0 el valor inicial de esta función, que corresponde al mínimo Λ bajo el modelo nulo dado sólo por un término constante y por Λ_f el mínimo de Λ bajo el modelo ajustado con todos los parámetros, se obtiene la siguiente expresión del pseudo - R^2 [104]:

$$R_{MF}^2 = 1 - \frac{\Lambda_f}{\Lambda_0} \quad [104]$$

Siendo su rango teórico de valores $0 \leq R_{MF}^2 \leq 1$; Se considera que existe una buena calidad del ajuste cuando $0,2 \leq R_{MF}^2 \leq 0,4$

El segundo coeficiente utilizable para la comprobación de la bondad de ajuste, es el pseudo- R^2 de **Nagelkerke**, formulado por la siguiente expresión [105]:

$$R_N^2 = \frac{R_{CS}^2}{1 - V_0^{\frac{2}{N}}} = \frac{1 - \exp\left(\frac{\Lambda_f - \Lambda_0}{N}\right)}{1 - \exp\left(\frac{-\Lambda_0}{N}\right)} \quad [105]$$

Su rango de valores es $0 \leq R_N^2 \leq 1$, pudiendo interpretarse del mismo modo que el coeficiente de determinación de la regresión lineal clásica.

La tercera posibilidad es utilizar el coeficiente pseudo- R^2 de **Cox-Snell**, en cuyo caso se utiliza directamente la función de verosimilitud V , y no la función auxiliar Λ . Por lo que si denotamos por $V_0 = \exp(-\Lambda_0/2)$ el máximo de verosimilitud bajo el modelo nulo dado sólo por un término constante y por $V_f = \exp(-\Lambda_f/2)$ el máximo de verosimilitud bajo el modelo ajustado con todos los parámetros, definimos el coeficiente pseudo- R^2 de Cox-Snell [106] como:

$$R_{CS}^2 = 1 - \left(\frac{V_0}{V_f}\right)^{\frac{2}{N}} = 1 - \exp\left(\frac{\Lambda_f - \Lambda_0}{N}\right) \quad [106]$$

El rango teórico de valores para el coeficiente es $0 \leq R_{CS}^2 \leq 1 - V_0^{\frac{2}{N}}$, lo que hace que resulte más complicada su interpretación por depender de V_0 .

Además de la bondad de ajuste, resulta conveniente además, cuantificar la **Calidad en la predicción**, para lo que procede comprobar la tasa de clasificaciones correctas; A partir del modelo ajustado, clasificamos cada observación en la categoría más probable, de manera, que un individuo es

clasificado correctamente por el modelo cuando su valor observado de la variable respuesta Y (Y_1, Y_2, \dots, Y_k) coincide con su valor estimado por el modelo. Podemos construir una matriz de clasificación observados-predichos y utilizar el porcentaje de clasificaciones correctas como una medida de la calidad de predicción, del mismo modo que se hace en el análisis discriminante (Pando Fernández & San Martín Fernández, 2004).

Se define como la proporción de individuos clasificados correctamente por el modelo y se calcula como el cociente entre el número de observaciones clasificadas correctamente y el tamaño muestral N .

Una vez construido y ajustado el modelo, y habiendo obtenido las estimaciones, procede comprobar la significación estadística de cada uno de los coeficientes de regresión, realizando el **Contraste sobre los parámetros del modelo**. Para ello se pueden emplear básicamente dos métodos: el estadístico de Wald y el estadístico condicional de razón de verosimilitud. Se plantea contrastar si un subconjunto de los parámetros del modelo de regresión logística multinomial, que denotaremos por $b = (b_1, \dots, b_r)'$, es nulo. Así que nos planteamos el contraste de hipótesis:

$$H_0: b = 0 \quad \text{y} \quad H_1: b \neq 0$$

Los **Contrastes de Wald** se basan en la normalidad asintótica de los estimadores de máxima verosimilitud.

El estimador de máxima verosimilitud de b , \hat{b} , tiene distribución normal asintótica de media b y matriz de covarianzas estimada $\widehat{Cov}(\hat{b})$ obtenida a partir de la matriz de covarianza $Cov(\hat{b})$. Así que el estadístico de Wald (ecuación [107]) presenta la forma cuadrática;

$$\hat{b}' [\widehat{Cov}(\hat{b})]^{-1} \hat{b} \quad [107]$$

que tiene distribución Chi-cuadrado asintótica con r grados de libertad (número de parámetros nulos bajo la hipótesis nula).

Se rechaza la hipótesis nula al nivel de significación α cuando el valor observado de este estadístico sea mayor o igual que el cuantil de orden $(1 - \alpha)$ de la distribución X_r^2 .

Su valor para un coeficiente concreto viene dado por el cociente entre el valor del coeficiente y su correspondiente error estándar. Es decir si se quiere contrastar:

$$H_0: b_{sj} = 0 \quad \text{y} \quad H_1: b_{sj} \neq 0$$

El estadístico que tiene distribución Chi-cuadrado asintótica con un grado de libertad es [108]:

$$W = \frac{\hat{b}_{sj}^2}{\hat{\sigma}^2(\hat{b}_{sj})} \quad [108]$$

Se rechaza la hipótesis nula con nivel de confianza $1 - \alpha$ si $W_{Obs} \geq X_{1;\alpha}^2$

Es decir, la obtención de significación indica que dicho coeficiente es diferente de 0 y merece la pena su conservación en el modelo.

El estadístico **condicional de razón de verosimilitud**, trata de ir contrastando cada modelo que surge de eliminar de forma aislada cada una de las covariables frente al modelo completo. La ausencia de significación implica que el modelo sin la covariable no empeora respecto al modelo completo, por lo que atendiendo al principio de parsimonia, dicha covariable puede ser eliminada.

Teniendo un modelo de regresión logística multinomial M_G ajustado, se desea contrastar si un subconjunto de parámetros, $b = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, son nulos. Sea M_p el modelo con ese subconjunto de parámetros ceros. Puesto que M_p está anidado en el modelo general M_G , podemos plantear el contraste:

$$\begin{aligned} H_0: b &= 0 \text{ (} M_p \text{ se verifica)} \\ H_1: b &\neq 0 \text{ (Asumiendo cierto } M_G) \end{aligned}$$

Si asumimos que M_G se verifica, el estadístico del test de razón de verosimilitudes (ecuación [109]) para contrastar si M_p se verifica es;

$$G^2(M_p|M_G) = -2(L_p - L_G) = G^2(M_p) - G^2(M_G) \quad [109]$$

siendo L_p y L_G los máximos de la log-verosimilitud bajo la suposición de que se verifican los modelos saturados, M_p y M_G , respectivamente; El test de razón de verosimilitud para contrastar dos modelos anidados, es la diferencia de los contrastes de razón de verosimilitudes de bondad de ajuste para cada modelo.

Se rechaza la hipótesis nula al nivel de significación α cuando:

$$G_{obs}^2(M_p|M_G) \geq X_{r;\alpha}^2$$

Con el modelo ajustado y comprobada la significación estadística de cada uno de los coeficientes de regresión (contrastado), deben ser seleccionadas las variables que mejor explican la variable de respuesta, procediendo a la **selección del modelo** que con menor número de parámetros (principio de parsimonia), se ajuste bien a los datos y permita una interpretación sencilla en términos de

cocientes de ventajas. Para ello se puede recurrir a métodos de selección paso a paso, bien mediante inclusión, hacia adelante, o por eliminación, hacia atrás, o a la selección de variables por mejores subconjuntos de covariables (*Andersen, 1990*).

Para su aplicación práctica, la mayoría de programas informáticos (SPSS, R, etc.), incluyen los siguientes métodos por pasos para llegar a ajustar un modelo.

El método más comúnmente utilizado de análisis multivariante es el método de selección paso a paso (*Norusis, 2005*). No obstante, los métodos siguientes se adoptan en la selección de las variables independientes en el análisis de regresión estadística:

- Entrada hacia adelante.
- Eliminación hacia atrás.
- Selección por pasos.
- Pasos sucesivos hacia adelante.
- Pasos sucesivos hacia atrás.

Entrada hacia delante: Este método se inicia con un modelo vacío al que se añade en cada paso el término más significativo, hasta que ninguno de los términos que quede fuera del modelo tenga una contribución estadísticamente significativa si es añadido. El procedimiento es como sigue;

- Se inicia con un modelo vacío en el que se incluye solo la constante.
- Se ajusta un modelo y se calcula el p-valor del contraste de razón de verosimilitud que resulta de incluir cada variable por separado.
- Se selecciona el modelo con el p-valor más significativo.
- Se ajusta de nuevo un modelo con las variables seleccionadas y se calcula el p-valor de añadir cada variable no seleccionada por separado.
- Se selecciona el modelo con el valor más significativo.
- Se repiten los pasos 4 y 5 hasta que no queden variables significativas para incluir.

Eliminación hacia atrás: Este método se inicia introduciendo en el modelo todos los términos especificados en la lista por pasos. En cada paso se elimina del modelo el término menos significativo, hasta que todos los términos por pasos restantes representen una contribución estadísticamente significativa para el modelo. El procedimiento es como sigue;

- Se inicia con un modelo con todas las variables candidatas.
- Se eliminan, una por una, cada variable y se calcula la pérdida de ajuste en cada eliminación.
- Se selecciona para su eliminación la menos significativa.
- Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que todas las variables incluidas sean significativas y no pueda eliminarse ninguna sin pérdida de ajuste.

Selección por pasos (Stepwise): Este método combina los dos enfoques anteriores; Después de cada etapa de inclusión, se lleva a cabo un proceso de eliminación, para eliminar las variables que no contribuyen a mejorar el modelo. Es necesaria precaución en este proceso ya que el procedimiento paso a paso resulta controvertido, ya que incluye variables independientes con base en criterios estadísticos y no teóricos (Bryman & Cramer, 1999).

Pasos sucesivos hacia adelante: Se inicia con el modelo que se seleccionaría mediante el método de entrada hacia adelante. Después, el algoritmo alterna entre la eliminación hacia atrás de los términos por pasos del modelo, y la entrada hacia adelante de los términos fuera del modelo. Se procede iterativamente hasta que no queden términos que cumplan con los criterios de entrada o eliminación.

Pasos sucesivos hacia atrás: Se inicia con el modelo que se seleccionaría mediante el método de eliminación hacia atrás. Después, el algoritmo alterna entre la entrada hacia adelante de los términos fuera del modelo, y la eliminación hacia atrás de los términos por pasos del modelo. Se procede iterativamente hasta que no queden términos que cumplan con los criterios de entrada o eliminación.

VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación de los modelos, se realiza a través de la comprobación de la bondad del ajuste de las observaciones. La técnica más común para abordar esta cuestión es el estudio de los residuos que comparan el número observado de éxitos, en cada combinación de valores de las variables predictoras, con su valor ajustado por el modelo.

Los tipos de residuos más habituales basándose en los estadísticos Test de Chi-cuadrado de Pearson (X^2), o el test de Chi-cuadrado de razón de verosimilitudes G^2 , se definen en cada combinación de valores x_q de las variables explicativas:

Los **residuos de Pearson o estandarizados**, vienen dados por la expresión [110];

$$r_{j/q} = \frac{y_{j/q} - d_q \hat{p}_{j/q}}{[d_q \hat{p}_{j/q}]^{\frac{1}{2}}} \quad [110]$$

Pudiéndose definir el estadístico Chi-cuadrado de Pearson (ecuación [111]) como:

$$X^2 = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k r_{j/q}^2 \quad [111]$$

Para contrastar la significación estadística de los residuos, planteamos el contraste:

$$H_0: r_{j/q} = 0 \quad \text{y} \quad H_1: r_{j/q} \neq 0$$

Bajo la hipótesis nula $r_{j/q}$ tiene una distribución asintótica normal con media cero y varianza estimada $\hat{\sigma}^2(r_{j/q}) < 1$, es decir, que los residuos tienen menor variabilidad que una variable aleatoria estándar, pero suelen ser tratados como normales estándar, considerándose significativos cuando sus valores absolutos son mayores que dos (falta de ajuste).

Para evitar este problema, se definen los residuos de Pearson ajustados (ecuación [112]), que presentan distribuciones asintóticas normales estándar y vienen dados por:

$$r_{j/q}^s = \frac{r_{j/q}}{\hat{\sigma}(r_{j/q})} \quad [112]$$

También se puede tomar el cuadrado de $r_{j/q}^s$ que tiene distribución Chi-cuadrado con un grado de libertad. Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación α cuando:

$$|r_{j/q}^s| \geq Z_{\alpha/2}$$

Los **residuos de la devianza o estudentizados** (convergen más rápido a la distribución normal que los Pearson) vienen dados por la expresión [113];

$$d_{j/q} = \left(2 \left[y_{j/q} \ln \left(\frac{y_{j/q}}{\hat{m}_{j/q}} \right) \right] \right)^{\frac{1}{2}} \quad [113]$$

Pudiéndose definir el estadístico de Chi-cuadrado de razón de verosimilitudes (ecuación [114]) como:

$$G^2 = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^k d_{j/q}^2 \quad [114]$$

Bajo la hipótesis nula $H_0: d_{j/q} = 0$ el residuo $d_{j/q}$ tiene distribución asintóticamente normal con media 0 y varianza estimada:

$$\hat{\sigma}^2(d_{j/q}) < 1$$

Se consideran significativos, y que por tanto la observación correspondiente es anormal, cuando el valor absoluto es mayor que 4.

Se definen los residuos de la devianza ajustados o estandarizados (ecuación [115]), que tienen distribución asintótica normal estándar:

$$d_{j/q}^s = \frac{d_{j/q}}{\hat{\sigma}(d_{j/q})} \quad [115]$$

Y se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significación α cuando:

$$|d_{j/q}^s| \geq Z_{\alpha/2}$$

SALIDA DEL MODELO

El análisis de regresión requiere la adopción de un **tamaño de muestra** (N) de datos adecuado para el análisis (*Tabachnick & Fidell, 2001*):

- Para la prueba de coeficientes b, el tamaño de la muestra adoptada es $N \geq 100 + m$; Siendo $m =$ número de variables independientes (16 Variables; $N=116$)
- Para la regresión paso a paso, se adopta $N \geq 40 \cdot f$, donde $f =$ número de factores ($40 \cdot 4=160$)
- Requiere una muestra de 10 a 20 veces superior al número de variables para que la regresión sea estable y replicable ($20 \cdot 4=80$)
- Para la prueba de significación, el tamaño mínimo de muestra adoptado es $N \geq 50 + 8 m$; ($50+128=178$)

El tamaño de muestra N incluido en la regresión (480 individuos), cumple con todos los mínimos referidos.

Como sea visto, debemos clasificar el modelo en función de la naturaleza de la variable discreta; En este caso, la variable dependiente cualitativa presenta diferentes modalidades en las que podemos establecer una relación de orden entre ellas, y por tanto, se plantea un modelo Logit Ordenado. En estos modelos se supone que las pendientes de todas las variables son iguales, por lo que se dice, que los modelos ordenados tienen pendientes paralelas. Las pruebas realizadas para contrastar que todas las pendientes son iguales, llevan a rechazar la hipótesis de igualdad de pendientes (Tabla 56), por lo que es conveniente realizar un modelo no ordenado para la variable dependiente.

Tipología proyecto	Modelo	-2 log de la verosimilitud. Devianza	Chi-cuadrado Pearson	Grados libertad	p-valor
Residencial	Hipótesis nula	895,628			
	General	871,313	24,315	8	,002
Dotacional	Hipótesis nula	691,331			
	General	615,177	76,154	8	,000
Terciaria	Hipótesis nula	664,833			
	General	590,579	74,253	8	,000

Función enlace: logística

Tabla 56: Prueba líneas paralelas

Para estudiar cómo influyen los factores en las desviaciones presupuestarias, se efectuaron sendos modelos de regresión logística multinomial. Para ello, la variable dependiente *desviación presupuestaria* se agrupó en cuatro grupos y los factores obtenidos por escala aditiva de las variables, se incluyeron como variables independientes.

Grupo	Desviación
0	0-2,5 %
1	5-7,5 %
2	10-12,5 %
3	15-20 %

Tabla 57: Grupos desviación presupuestaria

Para construir el modelo necesitamos estimar J+1 vectores de parámetros y para evitar problemas de singularidad en la estimación, se elimina una categoría, denominada categoría de referencia (al igual que sucede en los modelos con

variables independiente cualitativas), y el modelo constará de J parámetros a estimar, en nuestro caso (ecuación [116]):

$$\text{Desviación} = \alpha_j + \beta_1 F1 + \beta_2 F2 + \beta_3 F3 + \beta_4 F4 = e^{x_i' \beta_j} \quad j = 1,2,3,4 \quad [116]$$

Dónde:

Desviación= variable dependiente con cuatro niveles (Tabla 57).

α_j = constantes (ordenadas al origen).

β_i = coeficientes de regresión correspondientes a las variables explicativas intervinientes.

Las probabilidades en un modelo logit no ordenado se expresan de la siguiente forma [117]:

$$P_{ij} = P(Y_i = j) = \frac{e^{x_i' \beta_j}}{1 + \sum_{h=1}^J e^{x_i' \beta_h}} \quad j = 1,2,3,4$$

$$P_{ij} = P(Y_i = 0) = \frac{1}{1 + \sum_{h=1}^J e^{x_i' \beta_h}} \quad j = 1,2,3,4 \quad [117]$$

Donde debe cumplirse: $\sum_{j=0}^{J-1} P_j = 1$

Resultados y discusión

Desviación presupuestaria en proyectos residenciales.

En la Tabla 58 observamos la distribución de frecuencias de las variables cualitativas que intervienen en el modelo. Por lo que se refiere a la variable Desviación (variable dependiente del modelo), tenemos la siguiente distribución: el 15,7% de las obras residenciales tienen una desviación presupuestaria entre el 0-2,5%, el 31,8% una desviación del 5-7,5%, el 23,3% del 10-12,5% y el 29,2% del 15-20%.

Desviación	Porcentaje
0-2,5 %	15,7%
5-7,5 %	31,8%
10-12,5 %	23,3%
15-20 %	29,2%
Total	100,0%

Tabla 58: Distribución de frecuencias

Seguidamente, se investiga el ajuste del modelo. Un primer criterio es aportado por la Prueba de Ajuste Global del Modelo, considerando la hipótesis nula: (H_0). El modelo sin la inclusión de las variables explicativas es adecuado. Dicha hipótesis es rechazada ($p < 0,001$).

Modelo	-2 log de la verosimilitud	Chi-cuadrado Pearson	Grados libertad	p-valor
Sólo intersección	1115,99			
Final	843,85	272,13	12	<0,001

Tabla 59: Ajuste del modelo

En la Tabla 59, Tabla 60 y Tabla 61, se ilustran los diferentes coeficientes de determinación que calcula el programa. Como puede comprobarse, todos los valores calculados son más que aceptables para nuestro modelo. En cuanto a la bondad del ajuste, tanto el estadístico Chi-cuadrado de Pearson como la *Deviance*, conducen al no rechazo de la hipótesis nula de que el modelo se ajusta adecuadamente y los valores de R^2 son aceptables.

	Chi-cuadrado	Grados libertad	p-valor
Pearson	1021,09	1,185	1,000
Desviación	821,20	1,185	1,000

Tabla 60: Bondad de ajuste

Cox y Snell	,476
Nagelkerke	,510
McFadden	,239

Tabla 61: Pseudo R^2 . Calidad de ajuste

Respecto al contraste sobre los parámetros del modelo, la Tabla 62 ilustra el contraste de razón de verosimilitudes para cada una de las variables (efectos), siendo la hipótesis nula, que el efecto de la variable independiente no tiene efecto alguno sobre la variable dependiente. Observamos que todas las variables del modelo son significativas al 5%.

Efecto	Criterio de ajuste modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	Grados libertad	p- valor
Intersección	985,57	141,72	3	<0,001***
F1-Gerencia	858,56	14,70	3	0,002**
F2-D-Proyecto	855,18	11,33	3	0,010*
F3-E-Físico	885,08	41,23	3	<0,001***
F4-Ejecución	986,74	142,89	3	<0,001***

*p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

Tabla 62: Contraste de razón de verosimilitudes

Las estimaciones del modelo se muestran en la Tabla 63. Se puede verificar que el factor 1 -la gerencia- es significativo para cada categoría de la variable dependiente. Por el contrario el factor 2 -el diseño / proyecto técnico- es significativo para la categoría 10-12,5 y no para el resto. Por otra parte, el factor 3 -entorno físico ambiental- y el factor 4 -la ejecución- son significativos para las categorías 0 y 1. Para la interpretación de los coeficientes se debe tener presente que reflejan diferencias respecto a la categoría eliminada (15-20). Así por ejemplo, en el grupo de obras con desviaciones de 0%-2,5%, en la Tabla 63 podemos comprobar cómo mayores puntuaciones en los factores 1, 3 y 4 hacen disminuir la probabilidad de tener una desviación entre un 0%-2,5%.

Desviación	Variable	B	Error Típico	Wald	Odds ratio	IC _{95%} Odds
0-2,5 %	Intersección	8,122	1,02	63,39		
	F1- Gerencia	-0,362**	0,11	11,43	0,696	0,56-0,86
	F2-D-Proyecto	-0,031	0,06	0,23	0,970	0,86-1,10
	F3- E.Físico	-0,628***	0,12	28,84	0,533	0,42-0,67
	F4- Ejecución	-0,744***	0,09	63,75	0,475	0,40-0,57
5-7,5 %	Intersección	6,536	0,82	63,91		
	F1- Gerencia	-0,205**	0,07	7,94	0,815	0,71-0,94
	F2-D-Proyecto	-0,042	0,05	0,72	0,959	0,87-1,06
	F3- E.Físico	-0,459***	0,09	26,26	0,632	0,53-0,75
	F4- Ejecución	-0,484***	0,07	46,69	0,616	0,54-0,71
10-12,5 %	Intersección	0,207	0,76	0,07		
	F1- Gerencia	-0,128*	0,06	4,31	0,880	0,78-0,99
	F2-D-Proyecto	0,118*	0,05	6,51	1,125	1,03-1,23
	F3- E.Físico	-0,127	0,08	2,55	0,881	0,75-1,03
	F4- Ejecución	0,064	0,06	0,97	1,066	0,94-1,21

*p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

Tabla 63: Estimación de los parámetros. Residencial

La tabla de clasificación (Tabla 64) se obtiene realizando una tabla de doble entrada entre la variable dependiente observada y la estimada (Pronosticado). El porcentaje correcto de clasificación es elevado para todas las categorías, siendo la categoría 2 (desviaciones entre un 5% y un 7,5%) con un mayor porcentaje de clasificación correcta (64,9%). De forma global, el modelo ha clasificado correctamente al 50,1% de los casos.

Observado %	Pronosticado %				Porcentaje correcto
	0-2,5	5-7,5	10-12,5	15-20	
0-2,5	18	48	0	0	27,3%
5-7,5	16	87	10	21	64,9%
10-12,5	0	17	33	48	33,7%
15-20	0	26	24	73	59,3%
Porcentaje global	8,1%	42,3%	15,9%	33,7%	50,1%

Tabla 64: Tabla de clasificación. Calidad de predicción

La categorización en función de las puntuaciones obtenidas en los factores por escala aditiva, de un individuo perteneciente al grupo de *Proyectos de uso Residencial*, puede obtenerse mediante el cálculo de las probabilidades de ocurrencia según el modelo estimado:

Siendo F1, F2, F3 y F4 las puntuaciones obtenidas por escala aditiva.

El modelo estimado sería el siguiente [118]:

$$P_{0\%-2.5\%} = \frac{e_1}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

$$P_{5\%-7.5\%} = \frac{e_2}{1 + e_1 + e_2 + e_3} \quad [118]$$

$$P_{10\%-12.5\%} = \frac{e_3}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

Dónde:

$$e_1 = e^{8.122 - 0.362F1 - 0.031F2 - 0.628F3 - 0.744F4}$$

$$e_2 = e^{6.536 - 0.205F1 - 0.042F2 - 0.459F3 - 0.484F4}$$

$$e_3 = e^{0.207 - 0.128F1 + 0.118F2 - 0.127F3 + 0.064F4}$$

Desviación presupuestaria en proyectos dotacionales.

En la Tabla 65, observamos la distribución de frecuencias de las variables cualitativas que intervienen en el modelo. Por lo que se refiere a la variable Desviación (variable dependiente del modelo), tenemos la siguiente distribución: el 14,7% de las obras dotacionales tienen una desviación presupuestaria del 0-2,5%, el 26,3% una desviación del 5-7,5%, el 23,2% del 10-12,5% y el 35,8% del 15-20%.

Desviación	Porcentaje
0-2,5 %	14,7%
5-7,5 %	26,3%
10-12,5 %	23,2%
15-20 %	35,8%
Total	100%

Tabla 65: Distribución de frecuencias

La Tabla 66 muestra el contraste de la razón de verosimilitudes, cuya hipótesis nula indica que todos los coeficientes del modelo son cero. Se puede comprobar que en el modelo final rechazamos la hipótesis nula.

Modelo	-2 log de la verosimilitud	Chi-cuadrado	Grados libertad	P - valor
Sólo intersección	756,87			
Final	581,76	175,11	12	<0,001

Tabla 66: Ajuste del modelo

En la Tabla 67 y Tabla 68, se ilustran los diferentes coeficientes de determinación que calcula el programa. Recordemos que el modelo logit no es un modelo lineal y no podemos utilizar el coeficiente de determinación obtenido de una regresión clásica. Como puede comprobarse, todos los valores calculados son más que aceptables para nuestro modelo. Observamos, en el contraste sobre los parámetros del modelo, que las variables del modelo significativas al 5% son los factores 1, 2 y 4 (ver Tabla 69).

	Grados		
	Chi-cuadrado	libertad	p- valor
Pearson	722,18	816	,992
Desviación	574,83	816	1,000

Tabla 67: Bondad de ajuste

Cox y Snell	,459
Nagelkerke	,493
McFadden	,229

Tabla 68: Pseudo R². Calidad de ajuste

Efecto	Criterio de ajuste modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	Grados libertad	p- valor
Intersección	694,67	112,94	3	<0,001***
F1- Gerencia	608,24	26,48	3	<0,001***
F2- D-Proyecto	662,75	80,99	3	<0,001***
F3- E.Físico	582,15	,388	3	0,943
F4- Ejecución	611,15	29,39	3	<0,001***

*p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

Tabla 69: Contraste de razón de verosimilitudes

Las estimaciones del modelo se muestran en la Tabla 70. Se puede verificar que el factor 1 -la gerencia-, el factor 2 -el diseño del proyecto técnico- y el factor 4 -la ejecución- son significativos para cada categoría de la variable dependiente. Por otra parte el factor 3 -entorno físico ambiental- no resultó significativo. Para la interpretación de los coeficientes se debe de tener presente que reflejan diferencias respecto a la categoría eliminada (15-20). Así por ejemplo, en el grupo de obras con desviaciones de 0%-2,5%, en la Tabla 70 podemos comprobar cómo mayores puntuaciones en los factores 1, 2 y 4 hacen disminuir la probabilidad de tener una desviación entre un 0%-2,5%.

Desviación	Variable	B	ET	Wald	Odds ratio	IC _{95%} Odds
0-2,5 %	Intersección	5,657	1,03	29,65		
	F1- Gerencia	-,414***	,12	12,44	,661	0,52 -0,83
	F2- D-Proyecto	-,475***	,12	15,74	,622	0,49 -0,78
	F3- E.Físico	-,002	,06	,001	,998	0,88 -1,13
	F4- Ejecución	-,441***	,11	17,02	,643	0,52 -0,79
5-7,5 %	Intersección	4,088	,83	24,03		
	F1- Gerencia	-,325***	,08	14,52	,722	0,61 -0,85
	F2- D-Proyecto	-,321**	,09	12,04	,725	0,61 -0,87
	F3- E.Físico	,014	,05	,076	1,014	0,92 -1,12
	F4- Ejecución	-,192*	,07	5,88	,826	0,71 -0,96
10-12,5 %	Intersección	-5,406	1,13	22,85		
	F1- Gerencia	,071	,08	,734	1,074	0,91 -1,26
	F2- D-Proyecto	,542***	,10	27,75	1,719	1,41 -2,10
	F3- E.Físico	-,025	,05	,207	,975	0,88 -1,09
	F4- Ejecución	,181*	,09	3,89	1,199	1,01 -1,44

*p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

Tabla 70: Estimación de los parámetros. Dotacional

El porcentaje correcto de clasificación (Tabla 71) es elevado para todas las categorías, siendo la categoría 4 (desviaciones entre un 15% y un 20%) con un mayor porcentaje de clasificación correcta (60,8%). De forma global, el modelo ha clasificado correctamente al 49,5% de los casos.

Observado	Pronosticado				Porcentaje correcto
	0-2,5	5-7,5	10-12,5	15-20	
0-2,5	12	20	0	10	28,6%
5-7,5	12	31	5	27	41,3%
10-12,5	0	3	36	27	54,5%
15-20	1	18	21	62	60,8%
Porcentaje global	8,8%	25,3%	21,8%	44,2%	49,5%

Tabla 71: Tabla de clasificación. Calidad de predicción

La categorización en función de las puntuaciones obtenidas en los factores por escala aditiva, de un individuo perteneciente al grupo de *Proyectos de uso Dotacional*, puede obtenerse mediante el cálculo de las probabilidades de ocurrencia según el modelo estimado:

Siendo F1, F2, F3 y F4 las puntuaciones obtenidas por escala aditiva.

El modelo estimado sería el siguiente [119]:

$$\begin{aligned}
 P_{0\%-2.5\%} &= \frac{e_1}{1 + e_1 + e_2 + e_3} \\
 P_{5\%-7.5\%} &= \frac{e_2}{1 + e_1 + e_2 + e_3} \\
 P_{10\%-12.5\%} &= \frac{e_3}{1 + e_1 + e_2 + e_3}
 \end{aligned}
 \tag{119}$$

Dónde:

$$e_1 = e^{5.657 - 0.414F1 - 0.475F2 - 0.002F3 - 0.441F4}$$

$$e_2 = e^{4.088 - 0.325F1 - 0.321F2 + 0.014F3 - 0.192F4}$$

$$e_3 = e^{-5.406 - 0.071F1 + 0.542F2 - 0.025F3 + 0.181F4}$$

Desviación presupuestaria en proyectos de uso terciario.

En la Tabla 72, observamos la distribución de frecuencias de las variables cualitativas que intervienen en el modelo. Por lo que se refiere a la variable Desviación (variable dependiente del modelo), tenemos la siguiente distribución: el 13,2% de las obras terciarias tienen una desviación presupuestaria entre el 0-2,5%, el 33,1% una desviación del 5-7,5%, el 25,3% del 10-12,5% y el 28,5% del 15-20%.

Desviación	Porcentaje
0-2,5 %	13,2%
5-7,5 %	33,1%
10-12,5 %	25,3%
15-20 %	28,5%
Total	100,0%

Tabla 72: Distribución de frecuencias

La Tabla 73 muestra el contraste de la razón de verosimilitudes, cuya hipótesis nula indica que todos los coeficientes del modelo son cero. Se puede comprobar que en el modelo final rechazamos la hipótesis nula.

Modelo	-2 log de la verosimilitud	Chi-cuadrado	Grados libertad	p-valor
Sólo intersección	745,13			
Final	523,46	221,66	12	<0,001

Tabla 73: Ajuste del modelo

En la Tabla 74 y Tabla 75 se ilustran los diferentes coeficientes de determinación que calcula el programa. Como puede comprobarse, todos los valores calculados son más que aceptables para nuestro modelo. Observamos, en el contraste sobre los parámetros del modelo, que las variables del modelo significativas al 5% son los factores 2, 3 y 4 (ver Tabla 76).

	Chi-cuadrado	Grados libertad	p-valor
Pearson	612,09	804	1,000
Desviación	516,53	804	1,000

Tabla 74: Bondad de ajuste

Cox y Snell	,546
Nagelkerke	,586
McFadden	,295

Tabla 75: Pseudo R². Calidad de ajuste

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	Grados libertad	p-valor
Intersección	627,55	104,09	3	<0,001***
F1- Gerencia	526,69	3,23	3	,357
F2-D-Proyecto	530,97	7,50	3	0,048*
F3- E.Físico	604,37	80,91	3	<0,001***
F4- Ejecución	563,03	39,57	3	<0,001***

*p<0,05 **p<0,01 ***p<0,001

Tabla 76: Contraste de razón de verosimilitudes

Las estimaciones del modelo se muestran en la Tabla 77. Se puede verificar que para las categorías 0 y 1 de la variable dependiente, el factor 2 -el diseño del proyecto técnico-, el factor 3 -entorno físico ambiental- y el factor 4 -la ejecución- son significativos, y el factor 1 -la gerencia- no resultó significativo. Para la categoría 3, son significativos los factores 3 y 4 y no significativos el 1 y 2. Para la interpretación de los coeficientes se debe tener presente que reflejan diferencias respecto a la categoría eliminada (15-20). Así por ejemplo, para el grupo de proyectos con desviaciones de 0%-2,5%, en la Tabla 77 podemos comprobar que mayores puntuaciones en los factores 2, 3 y 4, hacen disminuir la probabilidad de tener una desviación entre un 0%-2,5%.

Desviación	Variable	B	Error Típico	Wald	Odds ratio	IC _{95%} Odds
0-2,5 %	Intersección	5,431	1,07	25,39		
	F1- Gerencia	-,008	,074	,01	,992	0,89 -1,15
	F2-D-Proyecto	-,331**	,14	5,88	,718	0,55 -0,94
	F3- E.Físico	-,662***	,15	18,67	,516	0,38 -0,69
	F4- Ejecución	-,417**	,12	11,71	,659	0,52 -0,84
5-7,5 %	Intersección	3,584	,77	21,56		
	F1- Gerencia	-,046	,05	,78	,955	0,86 -1,06
	F2-D-Proyecto	-,167*	,08	3,92	,846	0,72 -0,99
	F3- E.Físico	-,206*	,09	4,89	,814	0,68 -0,98
	F4- Ejecución	-,264**	,07	11,22	,768	0,66 -0,89
10-12,5 %	Intersección	-6,044	1,29	21,72		
	F1- Gerencia	-,103	,06	2,77	,902	0,80 -1,02
	F2-D-Proyecto	-,016	,09	,02	,984	0,82 -1,19
	F3- E.Físico	,670***	,12	27,64	1,954	1,52 -2,51
	F4- Ejecución	,343**	,10	10,24	1,410	1,14 -1,74

Tabla 77: Estimación de los parámetros

El porcentaje correcto de clasificación (Tabla 78) es elevado para las categorías 2 y 3, siendo la categoría 3 (desviaciones entre un 10% y un 12,5%) con un mayor porcentaje de clasificación correcta (76,1%). De forma global, el modelo ha clasificado correctamente al 52,7% de los casos.

Observado	Pronosticado %				Porcentaje correcto
	0-2,5	5-7,5	10-12,5	15-20	
0-2,5 %	11	24	0	2	29,7%
5-7,5 %	13	54	10	16	58,1%
10-12,5 %	0	2	54	15	76,1%
15-20 %	0	30	21	29	36,3%
Porcentaje global	8,5%	39,1%	30,2%	22,1%	52,7%

Tabla 78: Tabla de clasificación. Calidad de predicción

La categorización en función de las puntuaciones obtenidas en los factores por escala aditiva, de un individuo perteneciente al grupo de *Proyectos de uso Terciario*, puede obtenerse mediante el cálculo de las probabilidades de ocurrencia según el modelo estimado:

Siendo F1, F2, F3 y F4 las puntuaciones obtenidas por escala aditiva.

El modelo estimado sería el siguiente [120]:

$$P_{0\%-2.5\%} = \frac{e_1}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

$$P_{5\%-7.5\%} = \frac{e_2}{1 + e_1 + e_2 + e_3} \quad [120]$$

$$P_{10\%-12.5\%} = \frac{e_3}{1 + e_1 + e_2 + e_3}$$

Dónde:

$$e_1 = e^{5.431 - 0.008F1 - 0.331F2 - 0.662F3 - 0.417F4}$$

$$e_2 = e^{3.584 - 0.046F1 - 0.167F2 - 0.206F3 - 0.264F4}$$

$$e_3 = e^{-6.044 - 0.103F1 - 0.016F2 + 0.670F3 + 0.343F4}$$

4. CONCLUSIONES

LIMITACIONES A LA INVESTIGACIÓN

Han sido excluidos de la investigación, los factores endógenos que integran cada una de las variables propias de las características o atributos del proyecto arquitectónico. Quedan obviadas (aisladas), por tanto, las influencias de las circunstancias propias del proyecto, como la localización geográfica dentro del territorio español, el tamaño de proyecto, la tipología constructiva, el plazo de ejecución, o los niveles prestacionales.

Cada una de estas circunstancias, por sí mismas, condicionan definitivamente el rango de desviaciones presupuestarias en los que se moverá cada uno de los proyectos concretos, y esto justificaría per se, investigaciones específicas por categorizaciones.

Veamos algunas afecciones concretas de estos atributos:

Respecto de la localización, los resultados de las investigaciones reflejan factorizaciones causales radicalmente diferentes en función del ámbito geográfico donde se implante el proyecto, de manera que las variables de influencia obtenidas no tengan relación alguna en función, por ejemplo, de que el ámbito de la investigación sea una zona geográfica subdesarrollada, o un área desarrollada. Razonablemente, esta investigación debía quedar limitada a proyectos implantados en España.

El tamaño del proyecto, es sin duda el atributo-variable más contradictorio. En la literatura se hallan resultados de lo más encontrados entre autores de reconocido prestigio. Sirva solo como ejemplo de la confrontación entre los diversos estudios, los realizados por Jahren & Ashe (1990), Vidalis & Najafi (2002) y Odeck (2004), quienes consideran que los mayores excesos de presupuestos se dan en los proyectos más pequeños, sugiriendo que en los proyectos grandes, la mejor estructura de administración, ofrece la oportunidad de hacer un eficiente control de costes; Por el contrario, autores como Jørgensen et al. (2012) cuestionan los estudios observacionales anteriores, y plantean que no pueden ser considerados para proveer pruebas fiables de la existencia de correlación entre el tamaño del proyecto y la desviación presupuestaria. Discuten su solidez estadística y las limitaciones de sus evidencias, planteando la necesidad de otros tipos de estudios.

Este estado de discrepancia al respecto, pudiera ser producido, por la propia naturaleza de la variable “tamaño”; A pesar de ser una variable discreta, escalar y física, a efectos presupuestarios resulta confusa. Resulta disyuntiva incluso para la elección de la escala: ¿el monto del presupuesto o unidades métricas (superficie o volumen)?. La fuerte interacción entre la tipología constructiva y el tamaño del proyecto, contribuyen también a velar y nublar su observación. En esta cuestión, la solución adoptada en la presente investigación ha sido

considerar la variable “constructibilidad”, en cuyo concepto queda incluido inherentemente el atributo tamaño.

No obstante, no debe olvidarse la aspiración holista o "todista" de esta Tesis, que asumiendo que el todo es más que la suma de sus partes, persigue el conocimiento de la desviación de presupuestos como sistema complejo. Desde el punto de vista de la complejidad, el estudio de una desviación en el que subyace la comparación (entre la previsión y la realidad), puede considerarse como constantes los atributos que no sufran variación sustancial y realizar la discriminación escalar por categorías. En nuestro ámbito de estudio, estos atributos están claramente integrados en el presupuesto de proyecto en el momento cero de comparación, y pueden ser desconsiderados como variables o bien como constantes, si no se producen variaciones sustanciales en el alcance del proyecto.

Las conclusiones y hallazgos en relación del marco experimental que se reflejan en este apartado, lo son exclusivamente respecto de la muestra estudiada, no debiéndose generalizar a la totalidad de la población, puesto que no se realiza inferencia estadística.

LOGROS DE LA INVESTIGACIÓN

Respecto de los objetivos planteados en esta Tesis, se consideran alcanzados los siguientes logros:

En el **marco teórico**, y concretamente en el Estado del Arte, se ha profundizado en la aproximación teórica al fenómeno de la desviación presupuestaria. También, en la revisión de la literatura, se alcanza a evidenciar el panorama actual de la disciplina y el estado de la conversación científica al respecto. Como ha quedado evidenciado, en el ámbito internacional, el tratamiento de la cuestión es profuso, con un crecimiento exponencial en los últimos 10 años, tanto en análisis de la causalidad como en implementación de técnicas de modelización. No es así en el ámbito nacional español, en el que se da una verdadera escasez de publicaciones al respecto, seguramente resultado de la pobreza de registros de datos históricos que permitan los estudios correspondientes.

Se ha determinado desde la Literatura, la base del Constructo Teórico con la revisión tanto de la variables causales de mayor incidencia y frecuencia, como de las taxonomías que las estructura; Así mismo, se han revisado las técnicas más novedosas utilizadas para el control y modelización del fenómeno.

En el **marco experimental** se ha extractado, contrastado y validado empíricamente, el Constructo Teórico subyacente que sintetiza el fenómeno, determinando sus Factores Latentes y Variables Líderes. Además, se ha profundizado en el paradigma del sistema “Desviación de Presupuestos”, aplicando una metodología estadística que permite la comprensión de su comportamiento como sistema complejo; Se ha presentado una modelización que relaciona la medida del porcentaje de superación de los presupuestos en los proyectos de arquitectura y los riesgos de construcción expresados a través de sus variables y factores.

Respecto a la Industria, se ha profundizado en el conocimiento del paradigma, puesto que los logros suponen un pequeño paso para mejorar el procedimiento de determinación de la contingencia económica del proyecto, que amortigüe la influencia de la incertidumbre que implican las estimaciones. La mejora en la asignación realista de los factores identificados generadores de sobrecoste, prevaleciendo sobre los modelos arbitrarios utilizados en la mayoría de los proyectos, debiera permitir a los Gestores de proyectos, anticipar el resultado de la desviación de presupuestos en función de las circunstancias y atributos de los proyectos concretos.

De la búsqueda de **contestaciones a los objetivos** de investigación planteados, se concluye:

Desde la obtención de datos de expertos y profesionales de proyectos de arquitectura, se determina no solo la causalidad, sino también la naturaleza y extensión de los sobrecostos de proyectos. El Constructo Teórico desarrollado, sintetiza el fenómeno especificando los factores de influencia históricos en el sobrecoste del Proyecto en España, y clarifica las variables y parámetros asociados al proyecto concreto, que pueden ser determinantes en la desviación de presupuestos.

El análisis empírico realizado con los datos de expertos y profesionales, confirman la hipótesis de que existe una correlación estadística entre los excesos presupuestarios y las variables de Proyecto.

El desarrollo de la herramienta matemática de predicción obtenida, modela la relación entre la medida del porcentaje de superación de los presupuestos de los proyectos con las características y atributos asociados a sus riesgos de construcción.

Se constata la utilidad de la implementación estadística, comprobando que los resultados obtenidos, mejoran el procedimiento de determinación de la contingencia de amortiguación económica del proyecto; Desde la asignación realista de los factores identificados generadores de sobrecoste, es posible minimizar la influencia de la imprecisión de las estimaciones presupuestarias.

De la búsqueda de **contestaciones a las preguntas de investigación** planteadas, se concluye:

Que el fenómeno de la desviación de presupuestos en proyectos de arquitectura, es un **fenómeno generalizado y global**. No se dispone de ningún informe de ámbito mundial al estilo del “Chaos Report” realizado por el Standish Group, para los proyectos TI (Tecnologías de la Información), pero se dispone de la evidencia de la gran cantidad de Literatura existente; Estudios realizados en una gran diversidad de localizaciones, constatándose su presencia generalizada en los cinco continentes.

Del análisis empírico realizado, podemos afirmar que **también en España** los presupuestos de proyectos sufren desviaciones.

Hay que significar, que el intervalo en el que los proyectos se desvían presupuestariamente, según se comprueba en la comparación de medias realizada en el análisis empírico, se sitúa entre el 8,7% correspondiente a la tipología de proyectos residenciales de promoción pública, y el 13% correspondiente a la media de desviación de los proyectos dotacionales también de iniciativa pública.

Se puede afirmar desde el análisis de datos, que **existen diferencias significativas** entre la magnitud de las desviaciones presupuestarias en función de la tipología de uso del proyecto, entre las tipologías residencial y terciario respecto de los proyectos de uso dotacional, y no entre las dos primeras.

En cuanto al ámbito de que la iniciativa promotora sea de carácter público o privado, se comprueban diferencias significativas solo en la tipología de uso residencial, siendo las puntuaciones medias más altas cuando la iniciativa es privada que cuando la promoción es pública. Las tipologías de uso dotacional y terciario no muestran diferencias significativas.

Las pruebas estadísticas realizadas en el análisis factorial confirmatorio, también indican que no existen diferencias cualitativas sustanciales en cuanto a los factores latentes de influencia, resultando la misma estructuración de las dimensiones y variables, válida para las tres tipologías y los dos ámbitos estudiados. Si es cierto, que en las modelizaciones propuestas, los factores obtenidos por escala aditiva, toman pesos distintos en las tres tipologías de proyectos, influyendo exclusivamente en la categorización de las predicciones de los modelos.

La Literatura reporta una dominancia manifiesta de los sobrecostos respecto de los infracostos o empotramiento de presupuesto en los proyectos (Emhjellen, Emhjellen, & Osmundsen, 2003). La casuística obtenida de la revisión bibliográfica, asocia casi exclusivamente los infracostos a proyectos, cuyo presupuesto de referencia para la determinación de la desviación, resultó de un presupuesto estimativo elaborado en fase temprana por procedimiento paramétrico. Por otra parte, los datos obtenidos de los profesionales del sector en España, indican siempre valores positivos de la desviación presupuestaria.

En la investigación realizada, partiendo de una taxonomía extractada de la Literatura, compuesta por nueve categorías, y después de las extracciones de componentes principales realizadas en los análisis factorial exploratorio y el confirmatorio, se concluye un Constructo Teórico agregado en el que subyacen cuatro **Factores Latentes** o dimensiones; Un Factor Latente que habla del DISEÑO Y EL PROYECTO TÉCNICO, un Factor Latente que refiere la GERENCIA del proyecto en el más amplio sentido del término, un Factor Latente que integra las CONDICIONES DE EJECUCIÓN del proyecto en el que se incluyen materias propias de la construcción y de su programación y control, y un Factor Latente que considera las condiciones del ENTORNO FÍSICO en el que se desarrolla el proyecto, y que integra las causas fortuitas.

En la desviación de presupuestos, como sistema complejo, subyacen un número importante de variables causales interrelacionadas. De la revisión de la Literatura, se han extractado las 67 variables que con mayor frecuencia son reflejadas en las publicaciones como causas del fenómeno. Mediante el proceso de selección realizado gracias a la técnica de convergencia de juicios expertos Delphi, se seleccionaron las 24 variables causales de mayor influencia en el fenómeno. Finalmente, en el proceso del análisis factorial exploratorio, se alisaron los datos, obteniendo las 16 variables líderes, que “representando” la influencia de todas las restantes, son las candidatas idóneas para su utilización en cualquier modelo de predicción que pretenda anticipar el resultado de la desviación de un presupuesto.

La obtención de las variables líderes y de los factores latentes, ha permitido la modelización del sistema complejo. De las técnicas disponibles, la selección de la Regresión Logística Multinomial implementada, se ha adecuado satisfactoriamente a la tipología y características de los datos disponibles. Las pruebas realizadas con otras de las técnicas expuestas en esta Tesis, como la Regresión Lineal Multivariante, o las Redes Neuronales Artificiales, ofrecieron rendimientos relativamente pobres, demostrándose poco apropiadas para la calidad de los datos disponibles. La validación de los modelos propuestos y la comprobación de sus rendimientos de clasificación correcta (promediado en el entorno del 50% para todas las categorías), puede considerarse aceptable para apreciar la técnica Logit Multinomial como una herramienta prometedora en futuras investigaciones.

Respecto de la naturaleza del sistema de presupuestación utilizado en España, y su proclividad a producir desviaciones presupuestarias, hay que señalar que de los ítems mediante la técnica de diferencial semántico, utilizados en el estudio para la clarificación del asunto, no pueden desprenderse resultados que inclinen el interrogante en una dirección o la contraria. Bien es cierto que nuestro sistema de presupuestación, basado en la separación de

costes directos e indirectos y en la estructuración de estos últimos por capítulos y partidas de obra, reúne dos cualidades que propician la aparición del fenómeno; Frente a otros como el sistema paramétrico, es divisor y agregativo. La adversidad de este sistema, reside en que en sí mismo contiene de modo inherente un procedimiento aditivo en el que son posibles los olvidos u omisiones, pero en el que no cabe la invención. Esta característica, que implica la no compensación, justifica por sí misma el hecho de que las desviaciones presupuestarias (al menos en España) tengan siempre la misma dirección y que debamos asumirlas como parte consustancial del proceso. Se podría esperar que los infracostes se produjeran con la misma frecuencia que los sobrecostes, en tanto existe a priori la misma probabilidad de completar el proyecto por debajo de la estimación de costes. Sin embargo, las observaciones bien indican claramente una sobrerrepresentación de los excesos de presupuesto.

La modelización realizada, demuestra además que desde la disponibilidad de datos cualitativos, es posible generar una herramienta de predicción que permita el dimensionado en fases tempranas de los amortiguadores (buffers) de contingencia económica, que añadidos a la estimación detallada del presupuesto, mejorarán las opciones del cumplimiento del objetivo coste de los proyectos.

No se debe olvidar que los sobrecostes constituyen uno de los problemas habituales en la gestión de proyectos, que genera afecciones negativas a los promotores cuando la promoción es privada, y al contribuyente cuando la iniciativa es de la Administración. Valga como reflejo de su transcendencia social, la progresiva toma de conciencia al respecto que se ha manifestado en los últimos tiempos en la preocupación creciente que los medios de comunicación han puesto en el tema, y en los cambios legislativos recientes destinados a su contención. Existe pues, una necesidad real de poner en marcha estrategias para evitar que los factores que causan los excesos de presupuestos se produzcan.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La ampliación del conocimiento apareja siempre la aparición de nuevas curiosidades; La búsqueda de respuestas remite siempre a nuevas preguntas. No podía ser de otro modo, que del desarrollo del trabajo de investigación de la presente Tesis, hayan surgido diversas cuestiones susceptibles de abordarse en futuras líneas de investigación, en aras de ampliar el conocimiento del fenómeno.

A continuación se destacan algunas:

Del mayor abundamiento de la cuestión desde el **punto de vista cualitativo**, surgen nuevas cuestiones, que no perteneciendo estrictamente al cuerpo de factores latentes del fenómeno, en tanto que la intencionalidad (consciente o subconsciente) constituye el germen de su causalidad y que en consecuencia no son constitutivos de la “naturalidad” del fenómeno, si participan en los resultados; Obviar estos aspectos que hablan de factores psicológicos que intervienen en la fase de estimaciones del presupuesto, y que condicionan su redacción, es tanto como obviar la naturaleza de la condición humana. En esta línea se abren tres dominios de investigación de inmenso interés para abordarlos desde el campo de la psicología:

*El **optimismo interesado** como tendencia sistemática, que demuestra como las personas son excesivamente optimistas cuando existe un interés subyacente. Sobreestimamos la probabilidad de los eventos positivos y subestimamos la probabilidad de acontecimientos negativos, sobre el resultado de las acciones planificadas. Aún exenta de intencionalidad, esta actitud genera un sesgo en la estimación impulsada por la subconsciente voluntad, tanto de los promotores como de los estimadores, por lograr encajar el proyecto en el margen de recursos económicos disponibles; De tal suerte que la redacción del presupuesto es apoyada en las hipótesis más favorables de las probabilidades, lo que generará sin duda, que el resultado de la previsión económica, se encuentre siempre en el extremo de menor valor del intervalo de lo posible (Flyvbjerg, 2008).*

El segundo domino; *El **sesgo estratégico** (o tergiversación estratégica), cargado de intencionalidad y próximo al fraude, consistente en la distorsión sistemática o tergiversación de los hechos (esencialmente mintiendo), suele ser inducido por los promotores, principalmente de las Administraciones públicas, para infravalorar el montante económico del proyecto, y conseguir su aprobación gubernamental en los presupuestos públicos (Love, Wang, Sing, & Tiong, 2013).*

La fuerza de la costumbre como causa circular, constituye el tercer dominio. La realidad paradójica que se comprueba desde una posición ajena, es el curioso hecho de que estamos acostumbrados a que los presupuestos no se cumplan, puramente por convivencia. El acostumbramiento es una causa en sí, cuando algo se convierte en cotidiano, no se hace nada para cambiarlo. Es una causa retroactiva y circular (propia de los sistemas complejos) porque la propia causa retroalimenta al fenómeno. Estas desviaciones han llegado a formar parte de nuestra cotidianeidad, las tratamos con la normalidad de la costumbre, y con la fuerza de esta nos aferramos a su irremediabilidad, de manera que hacemos poco o nada por erradicarlas.

Con todo, es desde la **aproximación cuantitativa** donde ahora, con la consecución de un constructo teórico consolidado y validado, se abre un inmenso panorama de posibilidades. Todas ellas sin embargo, pasan por la obtención de un cuerpo de datos fiables, que deben atender a la especificación tanto de las desviaciones presupuestarias producidas en la conclusión de proyectos concretos, como a los atributos que los definieron; La generación de un registro histórico de datos posibilitaría la prospección del fenómeno con técnicas cuantitativas.

En esa línea de investigación, se propone la implementación de técnicas de modelado revisadas en el cuerpo teórico de la Tesis, como la regresión lineal multivariante, o las redes neuronales artificiales. Estos métodos, que si bien han sido sondeados en el presente trabajo sin la obtención de los rendimientos deseables, pueden ser aplicados con perspectivas esperanzadoras desde la utilización de las referidas bases de datos. Quede claro que el fin ulterior después del mero conocimiento, es la transferencia tecnológica a la industria, y en ese sentido resulta alentadora la posibilidad de lograr la inferencia estadística de modelos cuantitativos, que constituyan herramientas verdaderamente eficaces en la Dirección de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adamietz, M. (2003). Short Report on Risk Management.
- AACE International's Risk Management Dictionary. (2000). *Journal of Cost Engineering* (42(4)), 28.
- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*. IOS Press (7(1)), 39-59.
- Abbasi, G., & Al-Mharmah, H. (2000). Project management by the public sector in a developing country. *International Journal of Project Management* (18(2)), 105-109.
- Adler, M., & Ziglio, E. (1996). *Gazing into the oracle: The Delphi method and its application to social policy and public health*. London: Cromwell press.
- Agresti, A. (2002). *Categorical Data Analysis*. New York: Wiley.
- Aguilera del Pino, A. M. (2002). *Modelos de Respuesta Discreta*. Granada: Copias Coca, Dep. Legal GR-11554-02.
- Ahmad, I. (1992). Contingency allocation: a computer-aided approach. *AACE Transactions*, 1-7.
- Ahmed, S. M., Ahmad, R., & Saram, D. E. (1999). Risk management trends in the Hong Kong construction industry: a comparison of contractor and owners perceptions. *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management* (6(3)), 225-234.
- Aibinu, A., & Jagboro, G. (2002). The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry. *International Journal of Project Management* (20), 593-599.
- Akinci, B., & Fischer, M. (1998). Factors affecting contractors' risk of cost overburden. *Journal of Management in Engineering* (14(1)), 67-76.
- Akinsola, A. O., Potts, K. F., Ndekugri, I., & Harris, F. C. (1997). Identification and evaluation of factors influencing variations on building projects. *International Journal of Project Management* (15(4)), 263-267.
- Akpan, E. O., & Igwe, O. (2001). Methodology for determining price variation in project execution. *Journal of Construction Engineering and Management* (127(5)), 367-373.
- Al-Bahar, J. F., & Crandall, K. C. (1990). Systematic risk management approach for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (116(3)), 533-546.
- Al-Khalil, M., & Al-Ghafly, M. A. (1999). Delay in public utility projects in Saudi Arabia. *International Journal of Project Management* (17(2)), 101-106.
- Allen., Booz., Hamilton., & Incorporated. (1995). *The transit capital cost index study*. Federal Transit Administration.
- Al-Momani, A. H. (2000). Construction Delay: A Quantitative Analysis. *International Journal of Project Management* (18(1)), 51-59.
- Alreck, P., & Settle, R. (1985). *The survey research handbook*. Homewood: Irwin.
- Amat, J. M. (1992). *Control presupuestario*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.

- American Psychological Association (APA). (2009). *Publication manual of the American Psychological Association*. Washington, DC: American Psychological Association.
- An, S. H., & Kang, K. I. (2005). A study on predicting construction cost of apartment housing using experts' knowledge at the early stage of projects. *Journal of Architectural Institute of Korea* (21(6)), 81-88.
- Andersen, E. (1990). *The Statistical Analysis of Categorical Data*. New York: Springer-Verlag.
- Anderson, S. D., & Tucker, R. L. (1994). Improving project management of design. *Journal of Management Engineering* (10(4)), 35-44.
- Andi. (2005). Measures navigation defective waste management. *J Manage Eng* (21(1)), 10-16.
- Ang, A. H., & Tang, W. H. (1984). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. 2: Decision, Risk, and Reliability*. J.Wiley.
- Aplicaciones de la lógica borrosa*. (1992). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Arain, F. M., & Pheng, L. S. (2005). The potential effects of variation orders on institutional building projects. *Facilities* (23(11)), 496-510.
- Arditi, D., & Yasamis, F. (1998). Incentive/disincentive contracts: perceptions of owners and contractors. *Journal of Construction Engineering and Management* (124(5)), 361-373.
- Arditi, D., Tarim Akan, G., & Gurdamar, S. (1985). Cost overruns in public projects. *International Journal of Project Management* (3(4)), 218-224.
- Ashley, D. B. (1989). Project risk identification using inference subjective expert assessment and historical data. In *Transactions of Internet International Expert Seminar* (págs. 9-28). Atlanta: Atlanta Institute of Technology.
- Ashworth, A. (1983). *Building Economics and Cost Control*. London: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Ashworth, A. (1994). *Cost Studies of Building*. London: Longman Scientific and Technical.
- Ashworth, A., & Skitmore, M. (1983). Accuracy in estimating. *Chartered Institute of Building (Occasional Paper No. 27)*.
- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management* (24(4)), 349-357.
- Asworth, A. (1983). *Building economics and cost control: Worked solutions*. London: Butterworths.
- Attala, M., & Hegazy, T. (2003). Predicting cost deviation in reconstruction projects: Artificial neural networks versus regression. *Journal of Construction Engineering and Management* (129(4)), 405-411.
- Ayyub, B. M., & McCuen, R. H. (1997). *Probability, Statistics and Reliability for Engineers and Scientists*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Ayyub, B. M., & Wilcox, R. (2000). *A Risk-based Compliance Approval Process for Personal Flotation Devices*. Potomac, MD: BMA Engineering.
- Baccarini, D. (2004). Accuracy in estimating project cost construction contingency - a statistical analysis. *Cobra 2004: RICS International*

- Construction Conference, *Responding to Change*, 7-8. Headingly Stadium, U.K.
- Baccarini, D. (2005). Understanding Project Cost Contingency – A Survey. COBRA International Construction Conference. Brisbane .
- Bachelard, G. (1989). *Epistemología*. Madrid: Anagrama.
- Bacon, R., & Besant-Jones, .. (1998). Estimating construction costs and schedules: experience with power generation projects in developing countries. *Energy Policy* (26(4)), 317-333.
- Bagozzi, R. (1984). A prospectus for theory construction in marketing. *Journal of Marketing* (48), 11-29.
- Baker, S., Ponniah, D., & Smith, S. (1999). Survey of risk in management in U.K. companys. *Journal of Professional Issues in Engieneering Education and Practice* (125(3)), 94-102.
- Baloi, D., & Price, A. D. (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management* (21(4)), 261-269.
- Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. L. (1996). *Discrete-event system simulation*. (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Bannister, D., & Fransella, F. (1989). *Inquiring Man: The Psychology of Personal Constructs*. 3rd edition ed. London: Routledge.
- Barclay, D., Higgins, C., & Thompson, R. (1995). The partial least squares (PLS) approach to causal modeling: personal computer adoption and use as an illustration. *Technology studies* (2(2)), 285-309.
- Barletta, R. (1991). An introduction to case-based reasoning. *AI Expert* , 42–49.
- Barraza, G., Back, W., & Mata, F. (2004). Probabilistic Forecasting of Project Performance Using Stochastic S Curves. *Journal of Construction Engineering and Management* (130(1)), 25–32.
- Barrie, D. S., & Paulson, B. C. (1992). *Professional Construction Management*. New York: McGraw-Hill.
- Bartlett, M. (1947). Multivariate analysis. *Journal of Royal Statistics Society, Supplement* (9), 176-197.
- Bar-Yam, Y. (2003). *Unifying Principles in Complex Systems in Converging Technology (NBIC) for Improving Human Performance*. Kluwer.
- Bathurst, P. E., & Butler, D. A. (1980). *Building cost control techniques and economics*. London: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Beeston , D. T. (1983). *Statistical methods for building price data*. Lincoln: Spon.
- Beeston, D. (1978). *Cost models, chartered surveyor building and quantity surveyng quarterly*.
- Bennett, R. (1991). *How is management research carried out?* London: In The Management Research Handbook.
- Bent, J. A. (1988). *Project Control: An Introduction*. New York: In Project Management Handbook, 2nd ed.
- Bertelsen, S. (2003). Construction as a complex system. *Proceedings of International Group for Lean Construction Conference*,11.
- Bes Alepuz, F. (1987). *¿Full cost o direct costing? un análisis comparativo*.

- Birnie, J., & Yates, A. (1991). Cost prediction using decision/risk analysis methodologies. *Construction Management and Economics* (9(2)), 171-186.
- Blair, A. N. (1999). *Risk Analysis of Cost and Schedule of Complex Engineering Systems*.
- Blair, A. N., Lye, L. M., & Campbell, W. J. (1993). Forecasting construction cost escalation. *Canadian Journal of Civil Engineering* (20(4)), 602-612.
- Blok, F. G. (1982). Contingency: definition, classification and probability-Congress Paper B-3. In *7th International Cost Engineers Congress*. London.
- Botella, J., Leon, O., San Martín, R., & Barriopedro, M. I. (2004). *Análisis de datos en psicología I*. Madrid: Psicología Pirámide.
- Bramble, B. B., & Cipollini, M. D. (1998). *Resolutions of Disputes to Avoid Construction Claims*. Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council.
- Bresnen, M., Haslam, C., Beardsworth, A., Bryman, A., & Hell, T. (1988). *Performance on site and the building client*. Ascot, UK.: Chartered Institute of Building.
- Bromilow, F., Hinds, M., & Moody, N. (1988). *The Time and Cost Performance of Building Contracts 1976-1986*. Sydney: The Australian Institute of Quantity Surveyors.
- Brooks, F. (1995). *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Bryman, A., & Cramer, D. (1999). *Qualitative Data Analysis with SPSS Release 8 for Windows: A Guide for Social Scientists*. London: Routledge.
- BSI. (1999). *Guide to project management: in British Standard BS 6079. Vol.2*. London: British Standards Institution.
- Bubshait, A., Farooq, G., Jannadi, M., & Assaf, S. (1999). Quality practices in design firms. *Construction Management and Economics*, 19, 799-809.
- Bunge, M. (1961). *La causalidad: el principio de causalidad en la ciencia moderna*. Buenos Aires: Eudeba.
- Burger, R. (2003). Contingency, qualifying the uncertainty. *Journal of Cost Engineering* (45(8)), 12-17.
- Burroughs, S., & Juntima, G. (2004). Exploring techniques for contingency setting. *AACE International Transactions*, 1-6.
- Calisir, F., & Gumussoy, C. (2005). Determinants of budget overruns on IT projects. *Technovation* (25(6)), 631-636.
- Callahan, J. (1998). *Managing transit construction contract claims*. Washington: Transportation Research Board National Research Council.
- Carmichael, D. G. (2000). *Contracts and International Project Management*. Rotterdam: A.A.Balkema Publishers.
- Carron, A., Brawley, L., & Widmeyer, W. (2002). *The Group Environment Questionnaire: Test Manual*. Morgantown, WV: Fitness Information Technology.
- Carver, R. H., & Nash, J. G. (2005). *Doing Data Analysis with SPSS Version 12*. Ontario: Brooks/Cole Thomson Learning.
- Catalá Alís, J. (1999). *Control de costes en las construcción*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

- Chan, A. (2001). Time–cost relationship of public sector projects in Malaysia. *International Journal of Project Management* (19(4)), 223–229.
- Chan, A., Scott, D., & Chan, A. (2004). Factors Affecting the Success of a Construction Project. *Journal of Construction Engineering and Management* (130(1)), 153–155.
- Chan, D. (2000). *Privatization, the State and Healthcare Reforms: Global Influences & Local Contingencies in Malaysia*. New Delhi, India: 4th GASPP Seminar on Global Social Policies and Social Rights .
- Chan, D. W., & Kumaraswamy, M. M. (1997). A comparative study of causes of time overruns in Hong Kong construction projects. *International Journal of Project Management* (15(1)), 55-63.
- Chan, D. W., & Kumaraswamy, M. M. (1996). An evaluation of construction time performance in the building industry. *Building and Environment* (31(6)), 569-578.
- Chan, D., & Kumaraswamy, M. (1996). An evaluation of construction time performance in the building industry. *Building and Environment* (31(6)), 569–578.
- Chang, A. S.-T. (2002). Reasons for cost and schedule increase for engineering design projects. *Journal of Management in Engineering* (18(1)), 29-36.
- Chang, C.-Y. (2007). The determinants of the vertical boundaries of the construction firm: comment. *Construction Management and Economics* (24(3)), 229–232.
- Chang, P. Y. (2004). Evaluating the performance of VE study using factor analysis and AHP.
- Chapman, C. B., & Ward, S. (1997). *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. Chichester: Wiley N.Y.
- Chapman, R. J. (1998). The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques. *International Journal of Project Management* (16(6)), 333-343.
- Charles, T. J., & Andrew, M. A. (1990). Predictors of cost overrun rates. *Journal of Construction Engineering and Management* (116(3)), 548-552.
- Chau, K. (1995). Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data. *Construction Management and Economics* (13(5)), 369-383.
- Chen, D., & Hartman, F. (2000). A neural network approach to risk assessment and contingency allocation. *AACE International Transactions* .
- Cheung, F. (2005). *Development and Testing of a Method for Forecasting Prices of Multi-Storey Buildings during the Early Design Stage: the Storey Enclosure Method Revisited*. Brisbane: Queensland University of Technology.
- Cheung, S., Wong, P., Fung, A., & Coffey, W. (2006). Predicting project performance through neural networks. *International Journal of Project Management* (24(3)), 207–215.
- Chin, W. (1998). *The Partial Least Squares Approach to Structural Equation Modeling*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chou, J.-S. (2011). Cost simulation in an item-based project involving construction engineering and management. *International Journal of Project Management* (29(6)), 706–717.

- Chou, J.-S., Yang, I.-T., & Chong, W. (2009). Probabilistic simulation for developing likelihood distribution of engineering project cost. *Automation in Construction* (18(5)), 570–577.
- Chua, D., Li, D., & Chan, W. (2001). Case-Based Reasoning Approach in Bid Decision Making. *Journal of Construction Engineering and Management* (127(1)), 35–45.
- Chung, C. (2004). *Simulation Modeling Handbook: a Practical Approach*. New York: CRC PRESS.
- CII (Construction Industry Institute). (1989). *Management of project risks and uncertainty*. Austin, Texas: Construction Industry Institute.
- Clark, D. (2001). Monte Carlo Analysis: ten years of experience. *Cost Engineering* (43(6)), 40-45.
- Clark, F. D., & Lorenzoni, A. B. (1985). *Applied Cost Engineering; 2nd Edition*. New York: Marcel Dekker.
- Clemen, R. T., & Winkler, R. L. (1985). Limits in the precision and value of information from dependent sources. *Operations Research* (33(2)), 427-442.
- Clough, R. H. (1986). *Construction Contracting: A Practical Guide to Company Management*. New York: John Wiley & Sons.
- Collado López, M. (2003). *El proceso presupuestario en proyectos de construcción*. Valencia: UPV.
- Cornelius, T. L. (1999). *Fuzzy theory systems: techniques and applications*. San Diego: Academic Press.
- Corral, V. (1995). Modelos de variables latentes para la investigación conductual. *Acta Comportamental* (3(2)), 171-190.
- Corraliza, J. (1987). *La experiencia del ambiente. Percepción y significación del medio construido*. Madrid: Tecnos.
- Cowie, G. (1987). Enough scope yields better estimates. *Journal of Construction Engineering and Management* (113(2)), 315–320.
- Cox, I. M., Rogerson, J., & Jared, G. (1999). A quantitative study of post contract award design changes in construction. *Construction Management and Economics* (17(4)), 427-439.
- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* (16(3)), 297-334.
- Crowley, L. G., & Hancher, D. E. (1995). Evaluation of competitive bids. *Journal of Construction and Engineering Management* (121(2)), 238-245.
- Curran, M. (1989). Range estimating: Contingencies with confidence. *Cost Engineering* (31(3)), 18-26.
- Dake, K. (1992). Myths of nature and the public. *Journal of Social Issues* (48(4)), 21-38.
- Dalcher, D. (1993). The new project management mindset for the 21st century. In *Proceedings of 1st British Project Management Colloquium* (págs. 25-33). Henley-on-Thames, UK: J Rodney Turner.
- Dalkey, N. C. (1969). *The Delphi Method: An experimental study of group opinion*. Santa Monica, California: The Rand Corporation.

- de Cano, A. (1992). Continuous project feasibility study and continuous project risk assessment. *International Journal of Project Management* (10(3)), 165-170.
- de Cano, A., & de le Cruz, M. (2002). Integrated Methodology for Project Risk Management. *Journal of Construction and Engineering Management* (128(6)), 473-485.
- De Neufville, R., & King, D. (1991). Risk and Need-for-Work Premiums in Contractor Bidding. *Journal of Construction Engineering and Management* (117(4)), 659-673.
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. (1975). *Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*. Glenview, IL: Scott, Foresman and Company.
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. (1986). *Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*. Wis: Green Briar Press.
- Deltell Armenta, J. C., Truyols MATEu, S., & Arizcun Pérez-Sala, J. (2010). *Estudios económicos y financieros de la edificación*. Madrid: Delta.
- Dey, P. K., Tabucanon, M. T., & Ogunlana, S. O. (1996). Petroleum pipeline construction planning: a conceptual framework. *International Journal of Project Management* (14(4)), 231-240.
- Dey, P., Tabucanon, M., & Ogunlana, S. (1994). Planning for project control through risk analysis; a petroleum pipelaying project. *International Journal of Project Management* (12(1)), 23-33.
- Diekmann, J., & Featherman, W. (1998). Assessing cost uncertainty: lessons from environmental restoration projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (124(6)), 445-451.
- Dikmen, I., Birgonul, M., & Han, S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management* (25(5)), 494-505.
- Dissanayaka, S., & Kumaraswamy, M. (1999). Evaluation of factors affecting time and cost performance in Hong Kong building projects. *Engineering, Construction and Architectural Management* (6(3)), 287-298.
- Doğan, S. Z., Arditi, D., & Günaydin, H. M. (2006). Determining attribute weights in a cbr model for early cost prediction of structural systems. *Journal of Construction Engineering and Management* (132(10)), 1092-1098.
- Doğan, S. Z., Arditi, D., & Günaydin, H. M. (2008). Using decision trees for determining attribute weights in a case-based model of early cost prediction. *Journal of Construction Engineering and Management* (134(2)), 146-152.
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K., & Rentala, S. (2012). Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management* (30(4)), 479-489.
- Dumont, P. R., Gibson, G. E., & Fish, J. R. (1997). Scope Management Using Project Definition Rating Index. *Journal of Management in Engineering* (13(5)), 54-60.

- Dysert, L. R. (1997). Scope Development Problems in Estimating. *AACE International Transactions*, 128-131.
- E. Brandao, L., Dyer, J. S., & Hahn, W. J. (2012). Volatility estimation for stochastic project value models. *European Journal of Operational Research* (220(3)), 642-648.
- Eden, C., Ackermann, F., & Williams, T. M. (2005). The amoebic growth of project costs. *Project Management Journal* (36), 15-27.
- Edwards, L. (1995). *Practical Risk Management in the Construction Industry*. London: Thomas Telford Publications.
- Efron, B., & Tibshirani, R. (1986). Bootstrap measures for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. *Statistical Science* (1), 54-77.
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. New York: Chapman and Hall.
- El-Choum, M. K. (1994). *Identification and modelling of construction cost overruns parameters for public infrastructure projects using multivariate statistical methods*. Castle Point, Hoboken, New Jersey: Phd, Stevens Institute of Technology.
- Elhag, T. M., & Boussebaine, A. H. (1998). *Statistical analysis and cost models development*. Liverpool, U.K.: University of Liverpool.
- Elkjaer, M. (2000). Stochastic Budget Simulation. *International Journal of Project Management* (18(2)), 139-147.
- El-Rayes, K., & Moselhi, O. (2001). Impact of Rainfall on the Productivity of Highway Construction. *Journal of Construction Engineering and Management* (127(2)), 125-131.
- Emhjellen, M., Emhjellen, K., & Osmundsen, P. (2003). Cost estimation overruns in the North Sea. *Project Management Journal* (34(1)), 23-31.
- Enrique, C. S. (1992). *El predimensionado de coste en arquitectura: Modelos P2CT y P2CR*. Sevilla: Conserjería de Obras Públicas y Transportes.
- Entani, T., & Sugihara, K. (2012). Uncertainty index based interval assignment by interval AHP. *European Journal of Operational research* (219(2)), 379-385.
- Fagerland, M., Hosmer, D., & Bofin, A. (2008). Multinomial goodness-of-fit tests for logistic regression models. *Statistics in medicine* (27(21)), 4238-4253.
- FDOT. (2003). *Chapter 3: General management principles for transit capital projects*. New York: US Department of Transportation.
- Fellows, R., Langford, D., Newcombe, R., & Urry, S. (2002). *Construction Management in Practice*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Ferrando, P. J. (1996). Evaluación de la unidimensionalidad de los items mediante análisis factorial. *Psicothema* (8(2)), 397-410.
- Ferry, D. J., & Brandon, P. S. (1999). *Cost planning of building*. Wiley: Blackwell Science Ltd.
- Fishburn, P. C. (1984). Foundations of risk measurement: Risk as probable loss. *Management Science Journal* (30(4)), 396-406.
- Fisk, E. R. (1997). *Construction Project Administration*. 5th Edition ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Flanagan, R., & Norman, G. (1993). *Risk Management and Construction*. Oxford: Blackwell Scientific Press.
- Flanagan, R., & Tate, B. (1997). *Cost control in building design: an interactive learning text*. Oxford; Malden: Blackwell Sciencie.
- Fleming, Q. W. (2000). *Earned value: proyect management*. Pennsylvania: Proyect Management Institute.
- Floyd, F., & Widaman, K. (1995). Factor analysis in the development and refinement of clinical assessment instruments. *Psychological Assessment* (7(3)), 286-299.
- Flyvbjerg, B. (2007). Cost overruns and demand shortfalls in urban rail and other infrastructure. *Transportation Planning and Technology* (30(1)), 9–30.
- Flyvbjerg, B. (2008). Curbing optimism bias and strategic misrepresentation in planning: Reference class forecasting in practice. *European Planning Studies* (16(1)), 3-21.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & Rothengatter, W. (2003). *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2002). Underestimating Costs in Public Works Proyects: Error or Lie? *Journal of the American Planning Association* (68(3)), 279-295.
- Fornell, C., & Bookstein, F. (1982). Two Structural Equation Models: LISREL and PLS Applied to Consumer Exit-Voice Theory. *Journal of Marketind Research* (19(4)), 440-452.
- Fornell, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research* (18(1)), 39–50.
- Forrest, E. (1996). *Activity-based management: a comprehensive implementation guide*. Boston: McGraw-Hill.
- Freudenburg, W. R. (1988). Perceived risk, real risk: social science and the art of probabilistic risk assessment. *Science* (242(4875)), 44-49.
- Freudenburg, W. R., & Pastor, S. K. (1992). NIMBY's and LULU's: stalking the syndromes. *Journal of Social Issues* (48(4)), 39-61.
- Friedman, L. (1956). A competitive bidding strategy. *Journal of Operations Research* , 104.
- 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.
- GAO. (2003). *Federal-aid highways cost and oversight of major highway and bridge project—Issues and options*. Washington, D.C.: United States General Accounting Office .
- GAO. (1999). *Mass transit: Status of new starts transit projects with full funding grant agreements*. Washington: United States General Accounting Office.
- GAO. (1997). *Transportation infrastructure managing the costs of large-dollar Highway projects*. Washington, D.C.: United States General Accounting Office.

- George, D., & Mallery, P. (1995). *A simple guide and reference*. Belmont, CA.: Wadsworth Publishing Company.
- Gkritza, K., & Labi, S. (2008). Estimating Cost Discrepancies in Highway Contracts: Multistep Econometric Approach. *Journal of Construction Engineering and Management* (134(12)), 953-962.
- Glavinich, T. (1995). Improving constructability during design phase. *Journal of Architectural Engineering*, 1(2), 73-76.
- Gödel, K. (1929). *Über die Vollständigkeit des Logikkalküls*. Viena: University Of Vienna.
- Godet, M. (1996). *Manuel de prospective stratégique*. Paris: Dunod.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Goldratt, E. (1990). *What Is This Thing Called the Theory of Constraints and How Should It Be Implemented?* Croton on Hudson: North River Press.
- González Redondo, M. (2013). *La Lógica Fuzzy y su Aplicación en la Limitación de Recursos*. Valencia: Universidad Politécnica de València.
- Goodman, I., & Nguyen, H. (1985). *Uncertainty models for knowledge-based systems: a unified approach to the measurement of uncertainty*. Nueva York: North-Holland.
- Gransberg, D., & Ellicott, M. (1997). Best-value contracting criteria. *Journal of Cost Engineering* (39(6)), 31-34.
- Gregory, R., & Mendelsohn, R. (1993). Perceived risk, dread, and benefits. *Risk Analysis* (13(3)), 259-264.
- Guadagnoli, E., & Velicer, W. F. (1988). Relation of sample size to the stability of component patterns. *Psychological Bulletin* (103(2)), 265-275.
- Günaydin, H., & Doğan, S. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. *International Journal of Project Management* (22(7)), 595-602.
- Günhan, S., & Arditi, D. (2007). Budgeting Owner's Construction Contingency. *Journal of Construction Engineering and Management* (133(7)), 492-497.
- Gustafson, D. H., Shukla, R. M., Delbecq, A. L., & Walster, G. W. (1973). A comparative study of differences in subjective likelihood estimates made by individuals, interacting groups, Delphi groups, and nominal groups. *Organisational Behavior and Human Performance* (9(2)), 280-291.
- Hackney, J. (1985). Applied contingency analysis. *AACE Transactions*, 1-4.
- Hackney, J. W. (1986). Contingency allowances and overrun probabilities: Paper B3. In *Proceedings of the 9th International Cost Engineering Congress*. Oslo, Norway.
- Haenlein, M., & Kaplan, A. (2004). A beginner's Guide to Partial Least Squares Analysis. *Understanding Statistics* (3(4)), 283-297.
- Hair, E. A. (1999). *Análisis Multivariante de Datos 5Ed*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate Data Analysis*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education Inc.

- Hair, J. F., Jr, Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1998). *Multivariate Data Analysis*. 5th edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & W.C., B. (1999). *Analisis Multivariante De Datos (5Ed)*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Halligan, D. W., Hester, W. T., & Thomas, H. R. (1987). Managing unforeseen ground conditions. *Journal of Construction Engineering and Management* (113(2)), 273-287.
- Halpin, D. W. (1985). *Financial and Cost Concepts for Construction Management*. New York: John Wiley and Sons.
- Halpin, M. G. (1998). *Risk Management and Client Satisfaction*. Brisbane: School of Construction Management and Property, Queensland University of Technology.
- Hampton, J., Moore, P., & Thomas, H. (1973). Subjective Probability and Its Measurement. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* (136(1)), 21-42.
- Harbuck, R. (2004). *Competitive Bidding for Highway Construction Projects*. Morgantown, W.Va.: Association for the Advancement of Cost Engineering International Transactions.
- Harman, H. H. (1967). *Modern Factor Analysis*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago.
- Hartgen, D. T., & Talvitie, A. P. (1995). Comparative performance of transportation systems: pitfalls and prospects. In *Word Conference on Transit Research*. Sydney, Australia.
- Hartgen, D. T., Bowman, V. B., & Horner, M. W. (1997). *Baseline market forecasts for state highway construction, engineering, maintenance and administration programs 1997-2001*. Charlotte, N.C: Center for Interdisciplinary Transportation Studies, University of North Carolina.
- Hartman, F. T. (2000). *Don't Park Your Brain Outside: A Practical Guide to Improving Shareholder Value with S.M.A.R.T. Management*. NC: PMI Publications.
- Hartman, F., Snelgrove, P., & Ashrafi, R. (1997). Effective wording to improve risk allocation in lump sum contracts. *Journal of Construction Engineering and Management* (123(4)), 379-387.
- Hattie, J. (1984). An empirical study of various indices for determining unidimensionality. *Multivariate behavioral research* (19(1)), 49-78.
- Hatush, Z., & Skitmore, M. (1998). Contractor selection using multicriteria utility theory: an additive model. *Building and Environment Journal* (33(2-3)), 105-115.
- Hatush, Z., & Skitmore, M. (1997). Evaluating contractor prequalification data: selection criteria and project success factors. *Construction Management and Economics* (15(2)), 129-147.
- Hegazy, T. (2002). *Computer-based construction project management*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.
- Hegazy, T., & Ayed, A. (1998). Neural network model for parametric cost estimation of highway projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (124(3)), 210-218.

- Hendrickson, C., & Au, T. (1989). *Project Management For Construction*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. (2009). The use of Partial Least Squares Path Modeling in International Marketing. *Advances in International Marketing* (20), 277-319.
- Herbsman, Z. J. (1986). Model for forecasting highway construction cost. In *Transportation Research Record* 1056 .
- Hernández Negrín, I., & I., L. C. (1997). "Lógica Fuzzy para Principiantes: cuando la máquina se acerca al pensamiento humano". Madrid: Omrom Electronics.
- Hertz, D. B. (1964). Risk analysis in capital investment. *Harvard Business review* (42(1)), 95-106.
- Hester, W. T., Kuprenas, J. A., & Chang, T. C. (1991). *Construction Changes and Change Orders: Their Magnitude and Impacts*. Berkeley: University of California.
- Hetland, P. W. (1994). *Towards ultimate control of megaprojects in the North Sea*. New York: McGraw-Hill .
- Hillson, D. (1999). Developing effective risk responses. In *PMI Annual Seminar and Symposium* .
- Hinze, J., & Walsh, K. (1997). Managing Engineered Construction in Expanding Global Markets. *ASCE Construction Congress Proceedings*, (págs. 226-232). Minneapolis.
- Hinze, J., Selstead, G., & Mahoney, J. P. (1992). Cost overruns on State of Washington construction contracts. *Transportation Research Record* (1351), 87-93.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Press.
- Holt, G. D., Olomolaiye, P. O., & Harris, F. C. (1993). A conceptual alternative to current tendering practice. *Building Research and Information* (21(3)), 167-172.
- Holt, G. D., Olomolaiye, P. O., & Harris, F. C. (1994). Factors influencing UK construction clients' choice of contractor. *Building and Environment Journal* (29(2)), 241-248.
- Hosmer, D., & Lemeshow, S. (1989). *Applied Logistic Regression*. New York: Wiley Interscience.
- Hosmer, D., & Lemeshow, S. (2000). *Applied logistic regression*. New York: Wiley.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* (24(6)), 417-441.
- Hsieh, T., Lu, S., & Wu, C. (2004). Statistical analysis of causes for change orders in metropolitan public works. *Int J Project Management* (22(8)), 679-686.
- Huchzermeier, A., & Loch, C. (2001). Project management under risk: using the real option approach to evaluate flexibility in R&D. *Management Science* (47(1)), 85-101.
- Hufschmidt, M. M., & Gerin, J. (1970). *Systematic errors in cost estimates for public investment projects*. New York: J. Margolis, Ed.

- Hutcheson, G., & Sofroniou, N. (1999). *The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalised linear models*. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Hutchings, D. M., & Christofferson, J. P. (2000). A study of management practices in small-volume home building companies. In *ASC Proceeding of the 36th Annual Conference*. Purdue University, Indiana.
- Ibbs, C. W., & Allen, W. E. (1995). *Quantitative Impacts of Project Changes*. Berkeley: University of California.
- Idrus, A., Nuruddin, M., & Rohman, M. (2011). Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications* (38(3)), 1501–1508.
- Institution of Civil Engineers (ICE). (1998). *RAMP: Risk analysis and management for projects*. London: Thomas Telford.
- Ireland, V. (1983). *The Role of Managerial Actions in the Cost, Time and Quality Performance of High Rise Commercial Building Projects*. Sydney: PhD thesis, University of Sydney.
- Iseley, T., & Gokhale, S. (2003). *Equipment Productivity*. South Carolina: CRC Press LLC.
- Ive, G., & Chang, C.-Y. (2007). The principle of inconsistent trinity in the selection of procurement systems. *Construction Management and Economics* (25(7)), 677-690.
- Jaafari, A., & Schub, A. (1990). Surviving failure: Lessons from field study. *Journal of Construction and Engineering Management* (116(1)), 68-86.
- Jahren, C., & Ashe, A. (1990). Predictors of Cost-Overrun Rates. *Journal of Construction Engineering and Management* (116(3)), 548–552.
- Jergeas, J. F., & Hartman, F. T. (1994). Contactors' Construction-Claims Avoidance. *Journal of Construction Engineering and Management* (120(3)), 553-561.
- Jöreskog, K., & Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: Structural equation modeling with the SIMPLIS command language*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jöreskog, K., & Sörbom, D. (1982). Recent developments in structural equation modeling. *Journal of Marketing Research* (19), 404–416.
- Josephson, P., Larsson, B., & Li, H. (2002). Illustrative benchmarking of rework and rework costs in Swedish construction industry. *J. Manage Eng* (18(2)), 76-83.
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.
- Kalliath, T., O'Driscoll, M., & Brough, P. (2004). A confirmatory factor analysis of the General Health Questionnaire-12. *Stress and Health* (20(1)), 11–20.
- Kaming, P. F., Olomolaiye, P. O., Holt, G. D., & Harris, F. C. (1997). Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia. *Construction Management and Economics* (15(1)), 83-94.
- Kangari, R., & Riggs, L. S. (1989). Construction risk assessment by linguistics. *IEEE Transactions in Engineering Management* (36(2)), 126-131.

- Kaplan, S. (1990). On inclusion of precursor and near miss events in quantitative risk assessments: A Bayesian point of view and a space shuttle example. *Journal of Reliability Engineering and System Safety* (27), 103–115.
- kaplan, S. (1991). The General Theory of Quantitative Risk Assessment. In *Proceeding of the Fifth Conference- Risk Based Decision Making in Water Resources* (págs. 11-39). Reston: ASCE.
- Karshenas, S., & Tse, J. (2002). A case-based reasoning approach to construction cost estimating. *Conference Proceeding Paper, Computing in Civil Engineering, ASCE*, (págs. 113–123).
- Kayode, M. O. (1979). *The Art of Project Evaluation*. Ibadan, Nigeria: University Press.
- Keeney, R. L., & von Winterfeldt, D. (1991). Eliciting probabilities from experts in complex technical problems. *IEEE Transactions in Engineering Management* (38(3)), 191-201.
- Kerlinger, F. (1986). *Foundations of Behavioral Research*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Khan, Z. (1998). *Risk premiums associated with exculpatory clauses*. Canada, Alberta: University of Calgary.
- Khayani, P. (2011). *A Bayesian model for controlling cost overrun in a portfolio of construction projects*. Boston: Northeastern University.
- Khosrowshahi, F. (1999). Neural network model for contractors' prequalification for local authority projects. *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management* (6(3)), 315-328.
- Kim, E., Wells, W. G., & Duffey, M. R. (2003). A model for effective implementation of Earned Value Management methodology. *International Journal of Project Management* (21(5)), 375-382.
- Kim, G., & Kang, K. (2004). A study on predicting construction cost of apartment housing projects based on case based reasoning technique at the early project stage. *Journal of Architectural Institute of Korea* (20(5)), 83–92.
- Kim, G., Seo, D., & Kang, K. (2005). Hybrid models of neural networks and genetic algorithms for predicting preliminary cost estimates. *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE* (19(2)), 208–211.
- Kim, G.-H., An, S.-H., & Kang, K.-I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and Environment* (39), 1235 – 1242.
- Kim, G.-H., Yoon, J.-E., An, S.-H., Cho, H.-H., & Kang, K.-I. (2004). Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs. *Building and Environment* (39(11)), 1333–1340.
- Kim, S., & Bajaj, D. (2000). Risk Management in Construction: An Approach for Contractors in South Korea. *Cost Engineering, Association for the Advancement of Cost Engineering* (42(1)), 38-44.
- Klastorin, T. (2010). *Project Management: Tools and Trade-Offs*. Prentice Hall.
- Kleinbaum, D. (1994). *Logistic Regression. A Self-Learning Text*. New York: Springer-Verlag.
- Kline, P. (1986). *A Handbook of Test Construction: Introduction to Psychometric Design*. London: Methuen.

- Kline, R. B. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.
- Klir, G., & Folger, T. (1988). *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.).
- Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Knight, K., & Robinson Fayek, A. (2002). Use of Fuzzy Logic for Predicting Design Cost Overruns on Building Projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (128(6)), 503-512.
- Kohrs , R. H., & Welngarten, G. C. (1986). Measuring successful technical performance- A cost/schedule/technical control system. *Proceedings of the 18th Annual Seminar/Symposium of the Project Management Institute* , 158-164.
- Kometa, S. T., Olomolaiye, P. O., & Harris, F. C. (1996). A review of client-generated risks to project consultants. *International Journal of Project Management* (14(5)), 273-279.
- Koo, C., Hong, T., Hyun, C., & Koo, K. (2010). A CBR-based hybrid model for predicting a construction duration and cost based on project characteristics in multi-family housing projects. *Canadian Journal of Civil Engineering* (37(5)), 739-752.
- Koppula, S. D. (1981). Forecasting engineering costs: two case studies. *Journal of the Construction Division, ASCE* (107(4)), 733-743.
- Koskinen, K. U., Pihlanto, P., & Vanharanta, H. (2002). Tacit Knowledge acquisition and sharing in a project work context. *International Journal of Project Management* (21(4)), 281-290.
- kumamoto, H., & Henley, E. J. (1996). *Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers ans Scientists*. 2nd Edition ed. New York: IEEE Press.
- Kumaraswamy, M. M. (1997). Common Categories and Causes of Construction Claims. *Construction Law Journal* (13(1)), 21-34.
- Kumaraswamy, M. M., & Walker, D. H. (1999). *Multiple performance criteria for evaluating construction contractors*. London: International Council for Building Research Studies and Documentation.
- Lam, E., Chan, A., & Chan, D. (2008). Determinants of Successful Design-Build Projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (134(5)), 333-341.
- Landeta, J. (2002). *El método Delphi. Una técnica de previsión del futuro*. Barcelona: Ariel.
- Landeta, J. (1994). Previsión basada en información subjetiva; Su utilidad y carácter científico. *Cuadernos de Gestion* (15), 87-106.
- Langford, D. A., Kennedy, P., Conlin, J., & McKenzie, N. (2003). Comparison of construction costs on motorway projects using measure and value and alternative tendering initiative contractual arrangements. *Journal of Construction Management and Economics* (21(8)), 831-840.

- Lau, H., Lau, A., & Ho, C. (1998). Improved moment-estimation formulas using more than three subjective fractiles. *Management Science* (44(3)), 346-350.
- Laufer, A. (1996). *Simultaneous Management: Managing Projects in a Dynamic Environment*. New York: American Management Association.
- Laufer, A., & Cohenca, D. (1990). Factors affecting construction planning outcomes. *Journal of Construction Engineering and Management* (116(1)), 135-156.
- Le Moigne, J. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris: Dunod.
- Leach, L. (2003). Schedule and cost buffer sizing: how to account for the bias between project performance and your model. *Project Management Journal* (34(2)), 34-47.
- Lee, S., Jin, Y., Woo, S., & Shin, D. (2013). Approximate Cost Estimating Model of Eco-type Trade for River Facility Construction Using Case-Based Reasoning and Genetic Algorithms. *Journal of Civil Engineering* (17(2)), 292-300.
- Leu, S. S., Chen, A. T., & Yang, C. H. (2001). A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade-off. *International Journal of Project Management* (19(1)), 47-58.
- Leu, S.-S., & Yang, C.-H. (1999). GA-Based Multicriteria Optimal Model for Construction Scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management* (125(6)), 420-427.
- Levine, H. (1995). Risk management for dummies: managing schedule cost and technical risks and contingencies. *PM Network*, 30-32.
- Lévy, J. P., González, N., & Muñoz, M. F. (2006). *Modelos Estructurales según el Método de Optimización de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS)*. La Coruña.
- Lewis-Beck, M. (1993). *Regression Analysis*. Singapore: Toppan Company and Sage Publications.
- Li, J., Moselhi, O., & Alkass, S. (2006). Forecasting Project Status by Using Fuzzy Logic. *Journal of Construction Engineering and Management* (132(11)), 1193-1202.
- Lifson, M. (1972). *Decision and Risk Analysis for Practicing Engineers*. Boston: Cahners Books.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Loftus, J. (1999). *Project Management of Multiple Projects and Contracts*. London: Thomas Telford Ltd.
- Long, J. S. (1984). *Confirmatory Factor Analysis. A preface to Lisrel*. California: Sage Publications.
- Long, J. S. (1987). *Covarianza Structure Models. A preface to Lisrel*. California: Sage Publications.
- Looney, C. G. (1997). *Pattern recognition using neuronal networks: theory and algorithms for engineers and scientists*. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Lorance, R., & Wendling, R. (2001). Basic techniques for analysing and presenting cost risk analysis. *Cost Engineering* (43(6)), 25-31.

- Love, P. E., Edwards, D. J., & Irani, Z. (2012). Moving beyond optimism bias and strategic misrepresentation: An explanation for social infrastructure project cost overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management* (59(4)), 560–571.
- Love, P. E., Wang, X., Sing, C., & Tiong, R. L. (2013). Determining the Probability of Project Cost Overruns. *Journal of Construction Engineering and Management* (139(3)), 321-330.
- Love, P. (2002). Influence of project type and procurement method on rework costs in building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (128(1)), 18-29.
- Love, P. (2011). Plugging the Gaps' Between Optimum Bias and Strategic Misrepresentation and Infrastructure Cost Overruns. *Procedia Engineering* , 14, 1197–1204.
- Love, P., Edwards, D. J., Smith, J., & Walker, D. H. (2009). Divergence or Congruence? A Path Model of Rework for Building and Civil Engineering Projects. *Journal of Performance of Constructed Facilities* (23(6)), 480-488.
- Love, P., Mandal, P., Smith, J., & Li, H. (2000). Modelling the dynamics of design error induced rework in construction. *Construction Management and Economics* (18(5)), 575-586.
- Lowe, D. J., Emsley, M. W., & Harding, A. (2006). Predicting Construction Cost Using Multiple Regression Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management* (132(7)), 750-758.
- Lukács, G. (1954). *El asalto a la razón*. Barcelona: Grijalbo.
- Luu, D., Ng, S., & Chen, S. (2003). A case-based procurement advisory system for construction. *Advances in Engineering Software* (34(7)), 429–438.
- Mackie, P., & Preston, J. (1998). Twenty-one sources of error and bias in transportation project appraisal. *Transport Policy* (5(1)), 1-7.
- Mahdi, I. M., Riley, M. J., Fereig, S. M., & Alex, A. P. (2002). A multi-criteria approach to contractor selection. *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management* (9(1)), 29-37.
- Mak, S., & Picken, D. (2000). Using risk analysis to determine construction project contingencies. *Journal of Construction Engineering and Management* (126(2)), 130-136.
- Mak, S., Wong, J., & Picken, D. (1998). The effect of contingency allowances of using risk analysis in capital cost estimating: a Hong Kong case study. *Journal of Construction Management and Economics* (16), 615-619.
- Malcolm, D., Roseboom, J., Clark, C., & Fazar, W. (1959). Application of a technique for a research and development program evaluation. *Operations Research* , 646-669.
- Manly, B. (1986). *Multivariate Statistical Methods*. London: Chapman & Hall.
- Marir, F., & Watson, I. (1995). CBR refurb: Case-based cost estimation. *IEE, Stevenage, Engl.*, (págs. 1-3). London, UK.
- Mason, R. L., Gunst, R. F., & Hess, J. L. (1989). *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

- McCaffer, R. (1975). Some examples of the use of regression analysis as an estimating tool. *Quant. Surveyor* (32), 81–86.
- McCaffer, R., & Baldwin, A. (1984). *Estimating and tendering for civil engineering works*. London: Granada Technical Books.
- McCarthy, J. (1959). *Programs with Common Sense*. Stanford, CA: Computer Science Department .
- McCuen, R. H. (1996). *The Elements of Academic Research*. New York: ASCE Press.
- McGowan, P. H., Malcom, R., Horner, W., Jones, D., & Thompson, P. A. (1992). *Allocation and Evaluation of Risk in Construction Contracts, Occasional Paper No. 52*. Ascot: Chartered Institute of Building.
- McKim, R., Hegazy, T., & Attalla, M. (2000). Project performance control in reconstruction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* (126(2)), 137-141.
- McLennan, A., & Jorss, P. (2006). Getting it right the first time: A plan to reserve the declining standards in project design documentation within the building and construction industry. In *Clients Driving Innovation: Moving Ideas into Practice: Second International Conference 2006*. Gold Coast, Queensland, Australia.
- Menard, S. (2000). Coefficients of Determination for Multiple Logistic Regression Analysis. *The American Statistician* (54(1)), 17-24.
- Merrow, E. W. (1988). *Understanding the outcomes of mega projects: A quantitative analysis of very large civilian projects*. Santa Monica, California.: Rand.
- Merrow, E. W., & Tarossi, M. (1990). Assessing project cost and schedule risk . *AACE Transactions* , 2-7.
- Merrow, E., & Schroeder, B. (1991). Understanding the costs and schedule of hydroelectric projects. *Transactions of the American Association of Cost Engineers* (23(15)), 1-7.
- Merrow, E., Phillips, K., & Myers, C. (1981). *Understanding Cost Growth and Performance Shortfalls in Pioneer Process Plants*. Santa Mónica: Rand Corporation.
- Minato, T., & Ashley, D. B. (1998). Data-Driven Analysis of “Corporate Risk” Using Historical Cost-Control Data. *Journal of Construction Engineering and Management* (124(1)), 42-47.
- Moder, J., & Rodgers, E. (1968). Judgment Estimates of the Moments of Pert Type Distributions. *Management Science* (15(2)), 76-83.
- Mohan, S. (1997). Parameter Estimation of Nonlinear Muskingum Models Using Genetic Algorithm. *Journal of Hydraulic Engineering* (123(2)), 137–142.
- Moles, A. (1990). *Les sciences de l'imprecis. Du Seuil*.
- Moore, R. (1979). *Methods and Applications Of Interval Analysis*. Philadelphia: SIAM, Studies in Applied Mathematics.
- Moore, R. (1985). Semantical considerations on nonmonotonic logic. *Artificial Intelligence* (25(1)), 75 - 94.
- Morin, E. (1977). *El método*. Cátedra.
- Morin, E. (1995). *Introducción al Pensamiento Complejo*. Madrid: Gedisa.

- Morris, P. W. (1988). *Managing project interfaces: Key points for project success*. New York: In Project Management Handbook.
- Morris, P. W., & Hough, G. (1987). *The anatomy of major projects: A study of the reality of project management*. New York: John Wiley.
- Moselhi, O. (1997). Risk assessment and contingency estimating. In *AACE Transactions 13-16 July Conference*. Dallas: AACE.
- Mulaik, S. (1986). Factor analysis and psychometrika: major developments. *Psychometrika* (51(1)), 23-33.
- Nassar, K., Gunnarsson, H., & Hegab, M. (2005). Using Weibull Analysis for Evaluation of Cost and Schedule Performance. *Journal of Construction Engineering and Management* (131(12)), 1257-1262.
- Nebendahl, D. (1988). *Sistemas expertos: Introducción a la técnica y aplicación*. Barcelona: Marcombo.
- Neil, J. M. (1982). *Construction Cost Estimating for Project Control*. Prentice Hall.
- Neter, J., Wasserman, W., & Kutner, M. (1990). *Applied Linear Statistical Models. Third Ed.* Homewood, Boston: Richard Irwin Inc.
- Neumaier, A. (1990). *Interval Methods for System of Equations*. Cambridge: Cambirdge University Press.
- Newton, S. (1984). *An interactive computer-based cost simulation model*.
- Ng, S. (2001). EQUAL: A case-based contractor prequalifier. *Automation in Construction* (19(2)), 443-457.
- Ngo, L. V., & O' Cass, A. (2010). Value creation architecture and engineering: A business model encompassing the firm-customer dyad. *European Business Review* (22(5)), 496-514.
- Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management* (29(2)), 220-231.
- Nijkamp, P., & Ubbels, B. (1999). How reliable are estimates of infrastructure costs? A comparative analysis. *International Journal of Transport Economics* (26(1)), 23-53.
- Nilsen, T., & Aven, T. (2003). Models and model uncertainty in the context of risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety* (79(3)), 309-317.
- Norusis, M. J. (2005). *SPSS 13.0: Statistical Procedures Companion*. Chicago: Prentice Hall PTR.
- Nunnally, J. (1978). *Psychometric Theory*. New York: McGraw-Hill.
- Oberlender, G. D., & Trost, S. M. (2001). Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Based on Estimate Quality. *Journal of Construction Engineering and Management* (127(3)), 173-182.
- Odeck, J. (2004). Cost overruns in road construction—what are their sizes and determinants? *Transport Policy* (11(1)), 43-53.
- Odeh, A. M., & Battaineh, H. T. (2002). Causes of construction delay: traditional contracts. *International Journal of Project Management* (20(1)), 67-73.
- Office of Government Commerce (OGC). (2002). *Managing Successful Projects with PRINCE 2. 3rd ed.* London: The Stationary Office.

- Ogunlana, S. O., Promkuntong, K., & Jearkijrm, V. (1996). Construction delays in a fast-growing economy: comparing Thailand with other economies. *International Journal of Project Management* (14(1)), 37-45.
- Okoli, C., & Pawlowski, S. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management* (42(1)), 15-29.
- Oppenheim, A. (1992). *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude Measurement*. London: Pinter.
- Orji, H. O. (1988). Construction Financing in Nigeria: A banking perspective. *Financial review* (1(4)), 12-13.
- Paek, J., Lee, Y., & Ock, J. (1993). Pricing Construction Risk: Fuzzy Set Application. *Journal of Construction Engineering and Management* (119(4)), 743-756.
- Pakkala, P. (2002). *Innovative Project Delivery Methods for Infrastructure. An International Perspective*. Helsinki: Finnish Road Enterprise.
- Palaneeswaran, E., & Kumaraswamy, M. M. (2000). Benchmarking contractor selection practices in public-sector construction—a proposed model. *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management* (7(3)), 285-299.
- Palaneeswaran, E., Kumaraswamy, M. M., & Tam, P. W. (1999). Identifying best practices in contractor selection for enhanced harmony and profit. In *Proceedings of CIB W92 Construction Procurement Symposium* (págs. 637-647). Chiang Mai: CIB.
- Pando Fernández, V., & San Martín Fernández, R. (2004). Regresión logística multinomial. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* (18), 323-327.
- Park, Y.-I., & Papadopoulou, T. (2012). Causes of cost overruns in transport infrastructure projects in Asia: their significance and relationship with project size. *Built Environment Project and Asset Management* (2(2)), 195-216.
- Patrascu, A. (1988). *Construction Cost Engineering Handbook*. USA: Marcel Dekker.
- Pearson, E., & Tukey, J. (1965). Approximate means and standard deviations based on distances between percentage points of frequency curves. *Biometrika* (52 (3-4)), 533-546.
- Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine* (2(6)), 559-572.
- Pere, J. F. (1996). Evaluación de la unidimensionalidad de los items mediante análisis factorial. *Psicothema* (8(2)), 397-410.
- Perera, S., & Watson, I. (1998). Collaborative case-based estimating and design. *Advances in Engineering Software* (29(10)), 801-808.
- Pérez López, C. (2008). *Técnicas de análisis multivariante de datos: aplicaciones con SPSS*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Perry, C., & Greig, I. (1975). Estimating the mean and variance of subjective distributions in PERT and decision. *Management Science* (21(12)), 1477-1480.

- Perry, J. G., & Hayes, R. W. (1985). Risk and its management in construction projects. *Proceedings of the Institute of Civil Engineering* (78(1)), 499-521.
- Peurifoy, R., & Oberlender, G. (1989). *Estimating Construction Costs*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc.
- Phaobunjong, K. (2002). *Parametric cost estimating model for conceptual cost estimating of building construction projects*. Austin, Texas: The University of Texas at Austin .
- Planche, R. (1992). *Data driven systems modeling*. Exeter: Prentice Hall/Masson.
- Ponz Tienda, J. L. (2010). "GRCPSP Robusto basado en Producción para Proyectos de Edificación y Construcción". Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones.
- Ponz Tienda, J. L., Pellicer Armiñana, E., & Yepes Piqueras, V. (2012). Complete fuzzy scheduling and fuzzy earned value management in construction projects. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A* , 13 (1), 56-58.
- Ponz Tienda, J. (2009). *Project management con redes pert*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Powell, C. G. (1980). *An Economic History of the British Building History*. London: Architectural Press.
- Powell, C. (2002). *Methodological issues in research. The Delphi technique*. London: Adv Nurs.
- Project Management Institute, S.C. (2000). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. North Carolina, USA: PMI Communications Publishing.
- Quiros Leiva, D. (2006). *Diferencial semántico*. Lima: Universidad San Marcos.
- Raftery, J. (1994). *Risk Analysis in Project Management*. London: E & FN Spon.
- Raftery, J., & Ng, S. T. (1993). Knowledge Based Approaches to Construction Risk Analysis. *In International Symposium on Electronic Evaluation and the Built Environment* , 152-165.
- Ramírez de Arellano, A. (1998). *Seguimiento de la planificación y control de costes en obras de construcción: modelo CEMS-CONTROL*. Sevilla: Fundación Cultural del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.
- Rankin, J., Champion, S., & Waugh, L. (1996). Contractor selection: qualification and bid evaluation. *Canadian Journal of Civil Engineering* (23(1)), 117-123.
- Reeves, G., Lawrence, K., Lawrence, S., & Guerard, J. (1988). Combining earnings forecasts using multiple objective linear programming. *Computers & Operations Research* (15(6)), 551-559.
- Reich, Y. (1994). Layered models of research methodologies: artificial intelligence for engineering design. *Analysis and Manufacturing* (8(4)), 263-274.
- Reiss, G. (1992). *Project management demystified*. Spon.
- Reutlinger, S. (1970). Techniques for project appraisal under uncertainty. *Occasional Papers* .
- Revay, S. G. (1992). *Can Construction claims be avoided?* London: P.F.R. Gameson.
- Reyes, F., Cerpa, N., Candia-Véjar, A., & Bardeen, M. (2011). The optimization of success probability for software projects using genetic algorithms. *The Journal of Systems and Software* (84(5)), 775-785.

- Riggs, J. (1973). *Modelos de decision económica para ingenieros y gerentes de empresa*. Madrid: Alianza Editorial.
- Rodriguez Gonzalez, M. S., Real, J. E., & Garcia Mira, R. A. (1991). Evaluación ambiental percibida en ambientes a media escala. *Qurrículum* (1-2), 283-286.
- Rosenberg, A., & Retrepo, V. (1994). Uncertainty and Risk Evaluation in Stock Assessment Advice for U.S. Marine Fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (51(12)), 2715-2720.
- Rosenberg, L. H., Hammer, T., & Gallo, A. (1999). Continuous Risk Management at NASA. *Applied Software Measurement conference*.
- Rowland, M. (1981). *The causes and effects of change orders on the construction process*. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Rusell, J. S., Hancher, D. E., & Skibniewski, M. J. (1992). Contractor pre-qualification data for construction owners. *Construction Management Economics* (10), 117-135.
- Russell, J. S. (1996). *Constructor prequalification: Choosing the best constructor and avoiding constructor failure*. New York: ASCE Press.
- Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- Sackman, H. (1974). *Delphi Critique: Expert Opinion, Forecasting and Group Process*. Lexington, MA: Lexington Books.
- Salguero, A. (2002). *Factores personales que inciden en la práctica*. León: Universidad de León.
- Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Schaffin, W. W., & Talley, W. K. (1980). Individual stability in Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change* (16(1)), 70-73.
- Scheibe, M., Skutsch, M., & Schofer, J. (1975). *Experiments in Delphi methodology*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Schexnayder, C., & Ohrn, L. G. (1997). Highway specifications quality versus pay. *Journal of Construction Engineering and Management* (123(4)), 437-443.
- Schumacker, R., & Lomax, R. (1996). *A beginner's guide to structural equation modeling*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Semple, C., Hartman, F. T., & Jergeas, G. (1994). Construction Claims and Disputes: Causes and Cost/Time Overruns. *Journal of Construction Engineering and Management* (120(4)), 785-795.
- Setyawati, B., Sahirman, S., & Creese, R. (2002). Neural networks for cost estimation. *AACE Transactions*, 1-9.
- Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton, NY: Princeton University Press.
- Shane, J. S., Anderson, S., & Schexnayder, C. (2009). Construction Project Cost Escalation Factors. *Journal of Management in Engineering* (25(4)), 221-229.
- Shannon, R., & Johannes, J. (1976). Systems simulation: the art and science. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* (6(10)), 723-724.
- Sierra Bravo, R. (1988). *Técnicas de investigación social*. Madrid: Paraninfo.

- Silva Ayçaguer, L., & Barroso Ultra, I. (2004). *Regresión logística*. Madrid: La muralla.
- Silverman, S. (1991). Research on teaching in physical education. *Research Quarterly for Exercise and Sport* (62(4)), 352-364.
- Simon, P., Hillson, D., & Newland, K. (1997). *PRAM-Project risk analysis and management guide*. High Wycombe, UK: Association for Project Management.
- Skitmore, R. M. (1996). The Raftery Curve. In *Proceedings: International Council for Building Research Studies and Documentation CIB W-55*, (págs. 241-252). Kaciceva, Croatia.
- Skitmore, R. M., & Patchell, B. R. (1990). *Developments in contract price forecasting and bidding techniques*. Oxford, U.K.: BSP Professional Books.
- Skitmore, R., & Ng, S. (2003). Forecast models for actual construction time and cost. *Building and Environment* (38(8)), 1075-1083.
- Slovic, P., Fischhoff, B., & Lichtenstein, S. (1980). *Facts and fears: understanding perceived risk*. New York: In Society Risk Assessment: How safe is enough?
- Smith, G. R., & Bohn, C. M. (1999). Small to medium contractor contingency and assumption of risk. *Journal of Construction Engineering and Management* (125(2)), 101-108.
- Smith, M. A. (1996). *Construction Insurance, Bonding, and Risk Management*. New York: McGraw-Hill.
- Sonmez, R. (2004). Conceptual cost estimation of building projects with regression analysis and neural networks. *Canadian Journal of Civil Engineering* (31(4)), 677-683.
- Soutos, M., & Lowe, D. J. (2005). ProCost – Towards a powerful early stage cost estimating tool. In *Conference Proceeding Paper, Computing in Civil Engineering*, (págs. 1-12).
- Spector, P. (2008). *Data Manipulation with R*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Statman, M., & Tyebjee, T. T. (1984). The risk of investment in technological innovation. *IEEE Transactions on Engineering Management* (31(4)), 165-171.
- Stevens, J. (1996). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Stevens, J. D. (1995). *Cost estimating and forecasting for highway work in Kentucky: Research Report KTC 95-12*. Lexington, KY.: Kentucky Transportation Center, Univ. of Kentucky.
- Steward , V., & Steward , A. (1981). *Business Applications of Repertory Grid*. London: McGraw-Hill.
- Stone, E. F. (1978). *Research Methods in Organisational Behaviour*. Santa Monica, California: Goodyear Publishing Company.
- Sugeno, M., & Tanaka, K. (1991). Successive identification of a fuzzy model and its applications to prediction of a complex system. *Fuzzy Sets and Systems* (42(3)), 315-334.
- Sun, M., Fleming, A., Senaratne, S., Motawa, I., & Yeoh, M. L. (2006). A change management toolkit for construction projects. *Architectural Engineering and Design Management* (2(4)), 261-271.

- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2001). *Using Multivariate Statistics, Fourth Edition*. Boston: Allyn and Bacon.
- Tabachnick, L. S., & Fidell, L. S. (1996). *Using multivariate statistics*. New York: Harper Collings.
- Tagliaventi, M. R. (1991). *Civil Engineering Contracts: Organisational and Managerial Aspects and Economic Effects*. Rome: Gangemi Editor.
- Tang, Y., Gao, H., Zou, W., & Kurths, J. Identifying Controlling Nodes in Neuronal Networks in Different Scales (Controlling Nodes in Neuronal Networks). (7(7)), 41375.
- Tarski, A. (1985). *Introducción a la lógica y a las ciencias deductivas*. Madrid: Espasa-Calpe.
- Tatari, O., & Kucukvar, M. (2011). Cost premium prediction of certified green buildings: A neural network approach. *Building and Environment* (46(5)), 1081–1086.
- Teicholz, P. (1987). Current needs for cost control systems. *Project controls: Needs and solutions*, 47-57.
- Teicholz, P. (1993). Forecasting final cost and budget of construction projects. *Journal of Computing in Civil Engineering* (7(4)), 511–529.
- Tenenhaus, M., Esposito, V., Y-M., C., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational Statistics & Data Analysis* (48(1)), 159–205.
- The R Project for Statistical Computing. (2011). Obtenido de <http://www.r-project.org/>
- Thompson, L. (2007). *S-PLUS (and R) manual to accompany Agresti's categorical data analysis*. John Wiley and Sons.
- Thompson, P. A., & Perry, J. G. (1992). *Engineering Construction Risks: A Guide to Project Risk Analysis and Risk Management*. London: Thomas Telford Ltd.
- Tilley, P. A., McFallen, S. L., & Tucker, S. N. (2000). *Design and documentation quality and its impact on the contract process*. Brisbane: CSIRO.
- Toakley, A. R. (1995). Risk management applications - a review. *Australia Institute of Building Papers* (6), 77-85.
- Tolmos Rodríguez-Piñero, P. (2003). *Introducción a los algoritmos genéticos y sus aplicaciones*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos, Servicio de Publicaciones.
- Touran, A. (2003). Calculation of Contingency in Construction Projects. *IEEE Transactions on engineering management* (50(2)), 135-140.
- Touran, A. (2003). Probabilistic model for cost contingency. *Journal of Construction Engineering and Management* (129), 280-284.
- Touran, A., & Wiser, E. (1992). Monte Carlo Technique with Correlated Random Variables. *Journal of Construction Engineering and Management* (118(2)), 258–272.
- Touran, A., Bolster, P. J., & Thayer, S. W. (1994). *Risk assessment in fixed guideway transit system construction*. Washington, D.C.: U.S. Federal Transit Administration, University Research and Training Program.
- Tran, V. H. (2002). *Practical frontier in construction pre-qualification using data envelope analysis*. Toronto: Department of Civil Engineering, University of Toronto.

- Trillas, E., Delgado, M., Vila, M., Castro, J. L., Verdegay, J., Moraga, C., y otros. (1994). *"Fundamentos e Introducción a la Lógica Fuzzy"*. Madrid: Omrom Electronics.
- Trost, S. M., & Oberlender, G. D. (2003). Predicting Accuracy of Early Cost Estimates using Factor Analysis and Multivariate Regression. *Journal of Construction Engineering and Management* (129(2)), 198-204.
- Turner, J. R. (1999). *The Handbook of Project-based Management*. New York: McGraw-Hill.
- Uff, J., & Odams, A. (1995). *Contract Documents and the Division of Risk*. London: Kings College.
- Universidad Politécnica de Valencia. (2003). *El proceso presupuestario en proyectos de construcción*. Valencia: Editorial UPV.
- Velicer, W. F., & Jackson, D. N. (1990). Component analysis versus common factor analysis: Some issues in selecting an appropriate procedure. *Multivariate Behavioral Research* (25(1)), 1-28.
- Vidalis, S., & Najafi, F. (2002). *COST AND TIME OVERRUNS IN CONSTRUCTION*. Montreal: Canadian Society for Civil Engineering.
- Villanueva, J., Sanchez, A., Carlos, S., & Martorell, S. (2008). Genetic algorithm-based optimization of testing and maintenance under uncertain unavailability and cost estimation: A survey of strategies for harmonizing evolution and accuracy. *Reliability Engineering & System Safety* (93(12)), 1830-1841.
- Vitoriano Villanueva, B. (septiembre de 2009). *Apuntes sobre Modelos Operativos de Gestión*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Wadia-Fascetti, S., & Gunes, B. (2000). Earthquake Response Spectra Models Incorporating Fuzzy Logic with Statistics. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* (15(2)), 134-146.
- Wall, D. (1997). Distributions and correlations in Monte-Carlo simulation. *Construction Management and Economics* (15(3)), 241-258.
- Wang, C.-H., & Huang, Y.-H. (2000). A new approach to calculating project cost variance. *International Journal of Project Management* (18(2)), 131-138.
- Wang, W. -C. (2002). SIM-UTILITY: Model for project ceiling price determination. *Journal of Construction and Engineering Management* (128(1)), 76-84.
- Wang, Y.-R., Yu, C.-Y., & Chan, H. (2012). Predicting construction cost and schedule success using artificial neural networks ensemble and support vector machines classification models. *International Journal of Project Management* (30(4)), 470-478.
- Watson, I. (1997). *Applying case-based reasoning: Techniques for enterprise systems*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Weverbergh, M. (2002). A comment of 'predicting the probability of winning sealed bid auctions: a comparison of models'. *Journal of the Operational Research Society* (53(10)), 1156-1158.
- White, D., & Fortune, J. (2002). Current practice in project management: An imperial study. *International Journal of Project Management* (25(4)).

- Whittle, P. (1963). *Prediction and regulation by linear least-square methods*. London: English Universities Press.
- Wiest, J. D., & Levy, F. K. (1974). *A Management Guide to PERT/CPM*. New Delhi: Prentice-Hall of India.
- Williams, T. M. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management* (17(5)), 269-273.
- Williams, T. P. (2003). Predicting final cost for competitively bid construction projects using regression models. *International Journal of Project Management* (21), 593-599.
- Williams, T. P., Miles, J. C., & Moore, C. J. (1999). Predicted cost escalations in competitively bid highway projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (135(4)), 195-199.
- Wilmot, C. G., & Cheng, G. (2003). Estimating future highway construction costs. *Journal of Construction Engineering and Management* (129(3)), 272-279.
- Wu, C., Hsieh, T., & Cheng, W. (2005). Statistical analysis of causes for design change in highway construction on Taiwan. *International Journal of Project Management* (23(7)), 554-563.
- Wu, C., Hsieh, T., Lu, S., & Cheng, W. (2004). Grey relation analysis of causes of change orders in highway construction. *Construction Manage Econ* (22(5)),
- Yau, N. J., & Yang, J. B. (1998). Case-based reasoning in construction management. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* (13(2)).
- Yeo, K. T. (1990). Risks, classification of estimates, and contingency management. *Journal of Management in Engineering* (6(4)), 458-470.
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods*, 3rd Ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Yogeswaran, K., Kumaraswamy, M. M., & Miller, D. R. (1998). Claims for extensions of time in civil engineering projects. *Construction Management and Economics* (16(3)), 283-293.
- Yoshinari, Y., Pedrycz, W., & Hirota, K. (1993). Construction of fuzzy models through clustering techniques. *Fuzzy Sets and Systems* (54(2)), 157-165.
- Young, T. L. (1996). *The Handbook of Project Management: A Practical Guide to Effective Policies and Procedures*. London: Kogan Page.
- Zack, J. G. (1997). Claims prevention: Offense versus defense. *AACE International Transactions of the Annual Meeting* (39(7)), 23.
- Zadeh, L. (1996a). "Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers by Lofti A. Zadeh". Singapore: World Scientific.
- Zadeh, L. (1979). Fuzzy Sets versus Probability. *Proceedings of the IEEE* , 68 (3),
- Zaghloul, R., & Hartman, F. (2003). Construction contracts: the cost of mistrust. *International Journal of Project Management* (21(6)), 419-424.
- Zeitoun, A. A., & Oberlender, D. O. (1993). *Early Warning Signs of Project Changes: Document 91*. Texas: C.I. Institute. Austin, Texas: Construction Industry Institute.
- Zhao, X., Hwang, B. G., & Low, S. P. (2011). Enterprise risk management of Chinese construction firms based in Singapore: A research proposal. *Proc., Int. Construction Business & Management Symp* .

ANEXOS

Cuestionario Delphi ronda 1



CUESTIONARIO A EXPERTOS. Método Delphi

Estimado entrevistado:

El objetivo de este cuestionario es obtener información de expertos en Proyectos de arquitectura, para el desarrollo de técnicas de investigación que permitan la predicción de desviaciones presupuestarias en fases tempranas.

El método Delphi posibilita la consecución de un consenso de juicio basado en la discusión entre expertos. Su funcionamiento se basa en la elaboración de un cuestionario repetitivo, de modo que una vez recibida y procesada la información, se realiza otro cuestionario basado en el anterior para ser contestado de nuevo. Finalmente el responsable del estudio elabora las conclusiones a partir de la exploración estadística de los datos obtenidos.

Los juicios sobre los que te pedimos que te pronuncies, están referidos exclusivamente a tu experiencia en los proyectos concretos en los que has participado, y pretenden obtener la valiosa información de tus conocimientos adquiridos.

La información facilitada en este cuestionario será utilizada exclusivamente para los fines de investigación que se citan, y se mantendrá la absoluta confidencialidad sobre la autoría.

Mi más cordial agradecimiento por tu colaboración, recibe un saludo.

Fdo. Oscar Bustos Chocomeli

[PÁGINA SIGUIENTE](#)

2

CUESTIONARIO A EXPERTOS. Método Delphi

Sección 1. CATEGORIZACIÓN

Nombre del encuestado (opcional)

Actividad predominante

Promotor	<input type="checkbox"/>
Proyectista	<input type="checkbox"/>
Dirección de obra	<input type="checkbox"/>
Contratista	<input type="checkbox"/>
Project Management	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>

Tipología de Proyectos experimentados

Residencial	<input type="checkbox"/>
Terciario (comercial-administrativo)	<input type="checkbox"/>
Dotacional	<input type="checkbox"/>
Otros (indicar):	<input type="checkbox"/>

Ámbito de los Proyectos

Sector público	<input type="checkbox"/>
Sector privado	<input type="checkbox"/>

Experiencia en años

[PÁGINA ANTERIOR](#) [PÁGINA SIGUIENTE](#)

Sección 2. DESVIACIONES DE COSTES/PRESUPUESTO

Desde su experiencia, indique por orden de importancia los 4 factores que influyen en la desviación de costes/presupuestos en proyectos de arquitectura.

- 1
- 2
- 3
- 4

En relación solo a los proyectos con los que ha tenido participación profesional, indique su estimación del porcentaje promedio de desviación presupuestaria a la finalización de los mismos.

% Residencial % Terciario % Dotacional % Otros

1. En relación al papel del PROYECTO TÉCNICO

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria.

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

NINGUNA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 MUCHA

← PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE →

Sección 2. DESVIACIONES DE COSTES/PRESUPUESTO

2. En relación al papel de la CONTRATA - CONSTRUCCIÓN

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

NINGUNA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 MUCHA

3. En relación al papel de la GESTIÓN – PROJECT MANAGEMENT

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

NINGUNA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 MUCHA

← PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE →

Sección 2. DESVIACIONES DE COSTES/PRESUPUESTO
4. En relación al papel de la PROGRAMACIÓN - CONTROL

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
NINGUNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MUCHA

5. En relación al papel del PROMOTOR – ALCANCE DE PROYECTO

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
NINGUNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MUCHA

< PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE >

Sección 2. DESVIACIONES DE COSTES/PRESUPUESTO
6. En relación al papel del ENTORNO FÍSICO - AMBIENTE

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
NINGUNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MUCHA

7. En relación al papel del FACTOR HUMANO

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
NINGUNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	MUCHA

< PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE >

Sección 2. DESVIACIONES DE COSTES/PRESUPUESTO

8. En relación al papel del ENTORNO ECONOMICO SOCIAL

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

NINGUNA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 MUCHA

9. En relación al papel del FACTORES FORTUITOS

Indique en su opinión, que causas asociadas al mismo, influyen de manera decisiva en la desviación presupuestaria

- 1
- 2
- 3

Indique del 1 al 9, el grado de afectación a la desviación presupuestaria.

NINGUNA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 MUCHA

← PÁGINA ANTERIOR

PÁGINA SIGUIENTE →

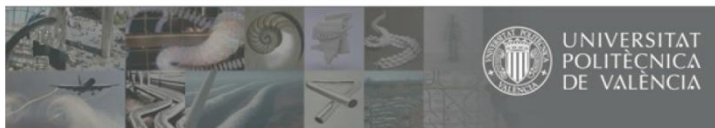
¿Tiene algún comentario adicional sobre las causas que generan desviaciones de presupuestos en proyectos de arquitectura?

Cualquier otro comentario que desee facilitar:

← PÁGINA ANTERIOR

ENVIAR CUESTIONARIO

DESVIACION PRESUPUESTARIA DE PROYECTOS



CUESTIONARIO A EXPERTOS. Método Delphi. 2ª Ronda

Estimado entrevistado:

El objetivo de este SEGUNDO cuestionario es obtener la CONVERGENCIA DE JUICIOS de los expertos que habéis participado en este estudio para la determinación de las causas de desviaciones presupuestarias de Proyectos de arquitectura,

Después del análisis y exploración estadística de los datos recibidos en la primera vuelta de encuestas, en esta segunda ronda, mucho más sencilla de cumplimentar, se solicita tu valoración concreta de los Constructos y Variables deducidos analíticamente del primer cuestionario,

Tras el envío de tus respuestas, te aparecerá un enlace a los resultados estadísticos del estudio por si pudiera resultar de tu interés

La información facilitada en este cuestionario será utilizada exclusivamente para los fines de investigación que se citan, y se mantendrá la absoluta confidencialidad sobre la autoría.

De nuevo, Mi más sincero agradecimiento por tu colaboración, recibe un saludo.

Fdo. Oscar Bustos Chocomeli

1. NOMBRE DEL ENCUESTADO

Opcional

.....

CUESTIONARIO A EXPERTOS. Método Delphi

SECCION 1. Variables de desviación de costes/presupuestos

MARQUE DEL 1 AL 10, EL GRADO DE AFECCIÓN QUE LAS SIGUIENTES VARIABLES TIENEN EN LA DESVIACION PRESUPUESTARIA DE LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA

2. La ausencia de motivación, compromiso y liderazgo de los agentes

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

3. La gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

4. La constructibilidad del proyecto

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

5. La infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

6. la deficiente gestión de proyecto (Project Management)

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

7. Un deficiente análisis realizado por el constructor en la etapa preconstrucción

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

8. Las condiciones imprevistas del terreno (geología, arqueología etc.)

Marca solo un óvalo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

9. La falta de definición o modificación del alcance del objeto del proyecto por el Promotor

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

10. Las circunstancias de la contratación de la obra (ofertas, bajas, tipología de contrato, etc.)

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

11. Una deficiente Dirección de obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

12. Los aprovisionamientos y contrataciones realizados por el gestor de Proyecto

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

13. La capacidad del promotor / cliente para la toma de decisiones adecuadas

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

14. Las reejecuciones por defectos de calidad

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

15. La deficiente comunicación y gestión de información de los participantes

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

16. La situación del mercado (oferta, demanda, movilidad de precios etc.)

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

17. La falta de experiencia y capacitación de los agentes

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

18. La falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

19. Las restricciones del sitio y condiciones de parcela

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

20. La deficiente planificación, programación y organización de la obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

21. El deficiente seguimiento y control económico de la obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

22. La financiación del proyecto y los pagos de obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

23. Los deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto de proyecto

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

24. La climatología y las causas de fuerza mayor

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

25. La coordinación de intervinientes realizada por el gestor de Proyecto

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha

SECCION 2. COMENTARIOS

26. Cualquier comentario que desee realizar

.....

.....

.....

SECCION 3 Factores

21. DESDE SU EXPERIENCIA, SEÑALE LA INFLUENCIA QUE TIENEN LOS SIGUIENTES FACTORES EN LA DESVIACION PRESUPUESTARIA DE LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA

0: Ninguna - 10: Mucha

Marca solo un óvalo por fila.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EL PROYECTO TECNICO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LA EJECUCION	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LA GERENCIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
FACTORES SOCIOECONOMICO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
FACTORES CLIMATICOS Y FORTUITOS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Gracias por tu colaboración; Recibirás un enlace con los resultados estadísticos de este estudio.



DESVIACION PRESUPUESTARIA DE PROYECTOS



CUESTIONARIO A PROFESIONALES DEL SECTOR

Estimado entrevistado:

El objetivo de este cuestionario es obtener información de expertos en arquitectura y edificación, para un proyecto de investigación que acomete el desarrollo de técnicas para la predicción de desviaciones presupuestarias en fases tempranas.

Los juicios sobre los que te pedimos que te pronuncies, están referidos exclusivamente a tu experiencia en los proyectos concretos en los que has participado, y pretenden obtener la valiosa información de tus conocimientos adquiridos.

La información facilitada en este cuestionario será utilizada exclusivamente para los fines de investigación que se citan, y se mantendrá la absoluta confidencialidad sobre la autoría.

Nuestro mas sincero agradecimiento por tu colaboración.

Tras el envío de tus respuestas podrás descargarte una aplicación Excel para el predimensionado de presupuestos de urbanización de vales en fases tempranas. Además, te aparecerá un enlace a los resultados estadísticos del estudio por si pudieran resultar de tu interés.



SECCION 1 Categorización

1. ACTIVIDAD PROFESIONAL

Elegir la mas representativa de las ejercidas a lo largo de su carrera profesional

Marca solo un óvalo.

- Promotor
- Projectista
- Dirección de obra
- Contratista
- Project Management
- Otro

2. TIPOLOGIA DE LOS PROYECTOS EXPERIMENTADOS

Elegir la mas predominante

Marca solo un óvalo.

- Residencial
- Terciario
- Dotacional
- Otro

3. AMBITO DE LOS PROYECTOS PARTICIPADOS

Elegir el sector predominante

Selecciona todos los que correspondan.

- Administración Pública
- Sector privado

CUESTIONARIO A PROFESIONALES DEL SECTOR

SECCION 2. Cuantificación de las desviaciones de presupuestos

4. DESVIACION PRESUPUESTARIA MEDIA DE LOS PROYECTOS

En relación a los proyectos de su ámbito de experiencia, indique el % de desviación media a la finalización de los mismos

Marca solo un óvalo por fila.

	0%	2,5%	5%	7,5%	10%	12,5%	15%	17,5%	20%	25%	30%	40%	50%	>50%
Residencial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Terciario	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dotacional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

CUESTIONARIO A PROFESIONALES DEL SECTOR

SECCION 3. Variables de desviación de presupuestos / costes

MARQUE (DEL 1 AL 10) EL GRADO DE INFLUENCIA QUE TIENEN LAS SIGUIENTES VARIABLES, EN QUE LA DESVIACIÓN PRESUPUESTARIA DE LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA SE PRODUZCA

5. La infradefinición o los defectos de diseño del proyecto técnico

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha influencia

6. La climatología y las causas de fuerza mayor

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

7. La capacidad del promotor / cliente para la toma de decisiones adecuadas

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

8. Los deficiencias en el estado de mediciones y presupuesto de proyecto

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

9. La constructibilidad del proyecto

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

10. La falta de capacidad y experiencia de la empresa constructora

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

11. El deficiente seguimiento y control económico de la obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

12. Las condiciones imprevistas del terreno (geología, arqueología etc.)

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

13. La falta de definición o modificación del alcance del objeto del proyecto por el Promotor

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

14. Una deficiente Dirección de obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

15. La financiación del proyecto y los pagos de obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

16. La deficiente planificación, programación y organización de la obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

17. Las circunstancias de la contratación de la obra (ofertas, bajas, tipología de contrato, etc.)

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

18. La gestión inadecuada de la constructora a lo largo de la obra

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

19. Las restricciones del sitio y condiciones de parcela

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

20. **la deficiente gestión, coordinación y aprovisionamiento de proyecto (Project Management)**

Marca solo un óvalo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna Influencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucha Influencia

SECCION 3 Factores

21. **DESDE SU EXPERIENCIA, SEÑALE LA INFLUENCIA QUE TIENEN LOS SIGUIENTES FACTORES EN LA DESVIACION PRESUPUESTARIA DE LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA**

0: Ninguna - 10: Mucha

Marca solo un óvalo por fila.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EL PROYECTO TECNICO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LA EJECUCION	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LA GERENCIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
FACTORES SOCIOECONOMICO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
FACTORES CLIMATICOS Y FORTUITOS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SECCION 4. COMENTARIOS

22. **DIFERENCIAL SEMANTICO**

El sistema de presupuestación de proyectos de arquitectura le sugiere las palabras:

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Exacto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Impreciso

23. **Marca solo un óvalo.**

	1	2	3	4	5	6	7	
Previsión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Improvisación

24. **Cualquier comentario que desee realizar**

.....

.....

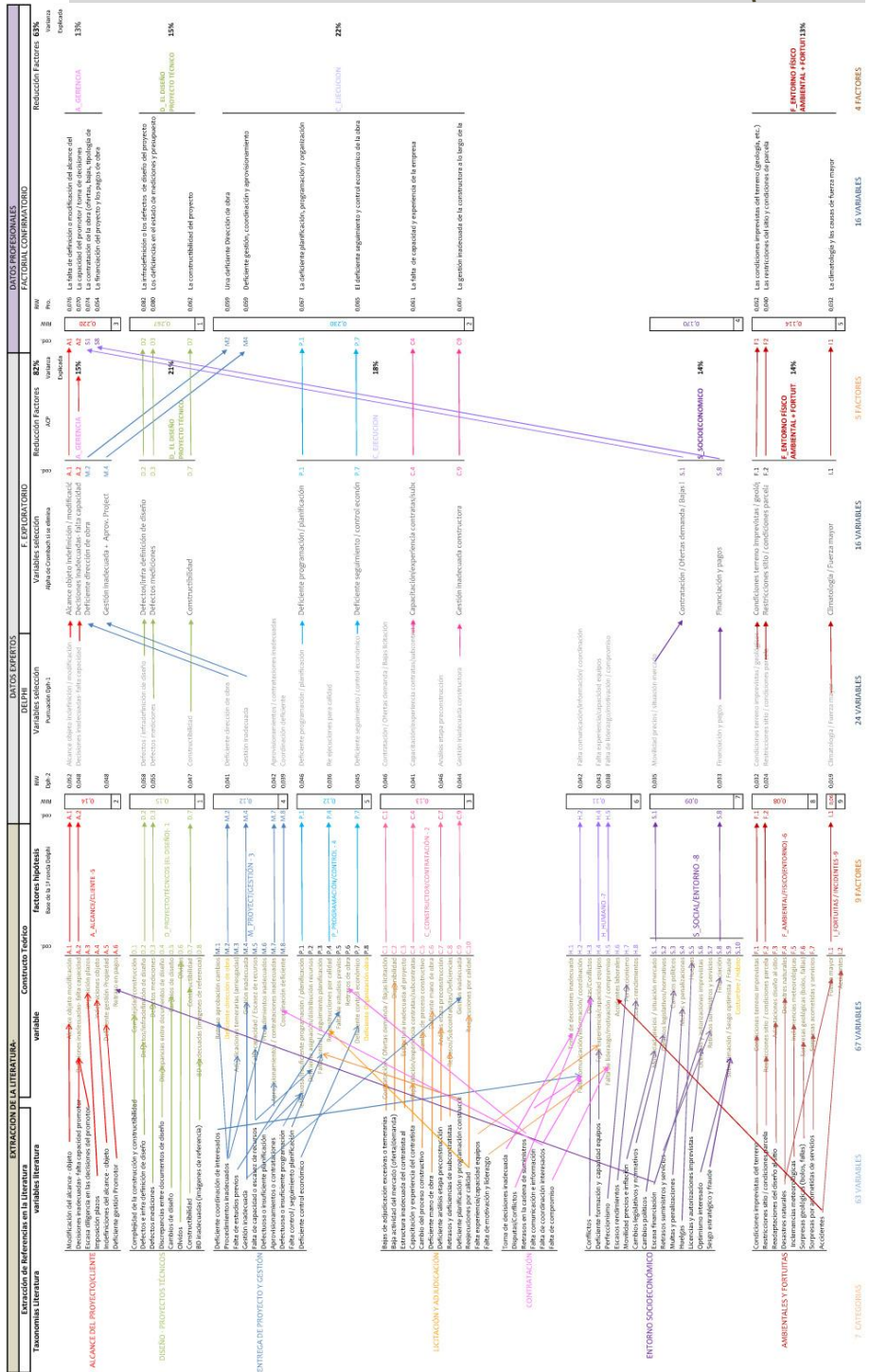
.....

.....

.....

Gracias por tu colaboración; Te informaremos de los resultados de este estudio.

CONSTRUCTO TEÓRICO. ESQUEMA



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Gráfico de densidad de distribución Beta	35
Ilustración 2:	Triángulo de relación de variables objetivo	38
Ilustración 3:	Funciones TIEMPO - COSTE DIRECTO	39
Ilustración 4:	Función Costes Indirectos	40
Ilustración 5:	Función de Costes Totales	41
Ilustración 6:	Función lineal Costes - Tiempos	42
Ilustración 7:	Modelo de Teicholz (Porcentaje de asignación)	44
Ilustración 8:	Matriz trabajo EDT y cuentas de costes CBS	45
Ilustración 9:	Ejemplo de Diagrama de tornado	49
Ilustración 10:	Desarrollo de procesos de proyecto: Determinación de sobrecostes	58
Ilustración 11:	Determinación de la desviación de presupuesto	58
Ilustración 12:	Presupuesto y coste final.	63
Ilustración 13:	Entrega de proyectos DBB (diseño – licitación – construcción)	91
Ilustración 14:	Entrega de proyectos DB (diseño – construcción)	91
Ilustración 15:	Hiperplano de regresión	110
Ilustración 16:	Distribución Fréchet	119
Ilustración 17:	Proceso para la determinación paramétrica	120
Ilustración 18:	Proceso de simulación MCS	125
Ilustración 19:	Distribución lognormal	127
Ilustración 20:	Número Difuso Triangular y Alfa-corte del número difuso.	131
Ilustración 21:	Número Difuso Trapezoidal	132
Ilustración 22.	Ejemplo de Arquitectura de modelo ANN	137
Ilustración 23:	Ciclo de un sistema CBR	140
Ilustración 24:	Pseudocódigo de Algoritmo Genético Canónico	145
Ilustración 25:	Esquema de Fases de la investigación	161
Ilustración 26:	Etapas de la investigación.	163
Ilustración 27:	Esquema de procesos técnica Delphi	173
Ilustración 28:	Indicador Formativo de Medida	192
Ilustración 29:	Indicador Reflectivo de Medida	193
Ilustración 30:	Análisis Factorial Exploratorio	197
Ilustración 31:	Gráfico Eigenvalores	216
Ilustración 32:	Composición estratificada de la muestra: Cuestionario a profesionales.	232
Ilustración 33:	Análisis Factorial Confirmatorio	234
Ilustración 34:	Gráfico de sedimentación.	241
Ilustración 35:	Comparación desviación presupuestaria	258
Ilustración 36:	Comparación desviación presupuestaria medias por tipología	259

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Etapas de la investigación	161
Tabla 2: Composición Panel Expertos	174
Tabla 3: Descriptivos Estadísticos Delphi ronda 1	175
Tabla 4: Descriptivos Estadísticos Factores Delphi ronda 2	182
Tabla 5: RIW Variables Delphi 2	183
Tabla 6: Variación del Rango Cuartílico Relativo	187
Tabla 7: Variación Relativa de la Mediana	188
Tabla 8: Coeficientes de Variación y Variación de coeficientes de variación	189
Tabla 9: Descriptivos estadísticos EFA	201
Tabla 10: Correlaciones de Pearson entre ítems I	203
Tabla 11: Correlaciones de Pearson entre ítems II	204
Tabla 12: Correlaciones de Pearson entre ítems III	205
Tabla 13: Correlaciones de Pearson entre ítems IV	206
Tabla 14: Correlaciones de Pearson entre ítems V	206
Tabla 15: Correlaciones de Spearman entre ítems I	207
Tabla 16: Correlaciones de Spearman entre ítems II	208
Tabla 17: Correlaciones de Spearman entre ítems III	209
Tabla 18: Correlaciones de Spearman entre ítems IV	210
Tabla 19: Correlaciones de Spearman entre ítems V	210
Tabla 20: KMO and Bartlett's Test	215
Tabla 21: Eigenvalores (Valores Propios): Porcentaje de varianza explicada por cada componente	216
Tabla 22: Total Variance Explained	217
Tabla 23: Matriz de Componente	218
Tabla 24: Matriz de componentes rotados	219
Tabla 25: Variables con Comunalidades > 0,5	220
Tabla 26: Fiabilidad; Items-variables $\alpha > 0,70$	222
Tabla 27: Índices de correlación Pearson – Spearman variables Factor 1	224
Tabla 28: Índices de correlación Pearson – Spearman variables Factor 2	225
Tabla 29: Índices de correlación Pearson – Spearman variables Factor 3	226
Tabla 30: Índices de correlación Pearson – Spearman variables Factor 4	226
Tabla 31: Índices de correlación Pearson – Spearman variables Factor 5	227
Tabla 32: Constructo del Análisis Factorial Exploratorio	228
Tabla 33: Descriptivos estadísticos variables CFA	238
Tabla 34: Correlaciones entre variables.	239
Tabla 35: Matriz de correlaciones anti-imagen.	240
Tabla 36: Pruebas de esfericidad y KMO	240
Tabla 37: Autovalores CFA	241
Tabla 38: Comunalidades con tres y cuatro factores.	242
Tabla 39: Matriz de componentes.	243
Tabla 40: Varianza total explicada	244
Tabla 41: Cargas factoriales rotadas.	245
Tabla 42: Matriz de componentes rotados de las variables.	247

Tabla 43: Constructo resultado del CFA	248
Tabla 44: Alpha de Crombach CFA	249
Tabla 45: Validación del análisis de componentes por estimación: División de la muestra Varimax	251
Tabla 46: Comparación medias entre ámbitos de ejecución	252
Tabla 47: Descriptivos: Pruebas de normalidad y homogeneidad de escalas por tipologías	254
Tabla 48: Comparación puntuación media en las escalas entre tipologías	255
Tabla 49: Descriptivos desviación presupuestaria por tipología y ámbito	257
Tabla 50: Comparación desviaciones presupuestarias por ámbito	257
Tabla 51: Descriptivos desviación presupuestaria por tipología	258
Tabla 52: Comparación desviaciones presupuestarias por tipología	259
Tabla 53: RIW Factores profesionales	260
Tabla 54: RIW Variables profesionales	260
Tabla 55: Diferencial semántico exactitud sistema presupuestario en España	261
Tabla 56: Prueba líneas paralelas	280
Tabla 57: Grupos desviación presupuestaria	280
Tabla 58: Distribución de frecuencias	281
Tabla 59: Ajuste del modelo	282
Tabla 60: Bondad de ajuste	282
Tabla 61: Pseudo R ² . Calidad de ajuste	282
Tabla 62: Contraste de razón de verosimilitudes	283
Tabla 63: Estimación de los parámetros. Residencial	283
Tabla 64: Tabla de clasificación. Calidad de predicción	284
Tabla 65: Distribución de frecuencias	285
Tabla 66: Ajuste del modelo	285
Tabla 67: Bondad de ajuste	286
Tabla 68: Pseudo R ² . Calidad de ajuste	286
Tabla 69: Contraste de razón de verosimilitudes	286
Tabla 70: Estimación de los parámetros. Dotacional	287
Tabla 71: Tabla de clasificación. Calidad de predicción	287
Tabla 72: Distribución de frecuencias	288
Tabla 73: Ajuste del modelo	289
Tabla 74: Bondad de ajuste	289
Tabla 75: Pseudo R ² . Calidad de ajuste	289
Tabla 76: Contraste de razón de verosimilitudes	289
Tabla 77: Estimación de los parámetros	290
Tabla 78: Tabla de clasificación. Calidad de predicción	291

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ABC	Activity-Based Costing
ACP	Análisis de Componentes Principales
AFE	Análisis Factorial Exploratorio
AGs	Algoritmos Genéticos
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANN	Artificial Neural Network
ANOVA	ANalysis Of VAriance
APA	American Psychological Association
ARM	Análisis de Regresión Múltiple
AVE	Average Variance Extracted
BD	Bases de Datos
BOOT	Build-Own-Operate and Transfer
CBR	Case Based Reasoning
CBS	Case Based Systems
CFA	Confirmatory Factor Analysis
CII	Instituto de Industria de la Construcción
CIOB	Chartered Institute of Building
CM	Construction Management
CPI	Contingency Project Index
DB	Design-Build
DBB	Design-Build-Bid
DBFO	Design-Build-Finance-Operate
DBOM	Design-Build-Operate-Maintain
DT	Desviación Típica
EDT	Estructura Desagregada de Trabajos
EFA	Exploratory Factor Analysis
ET	Error Típico
FC	Function Counting
GA	Genetic Algorithm
GDM	Gradient Descent Method
GI	Grados de Libertad
IT	Information Technology
KMO	Kaiser Meyer Olkins
KS	Kolmogórov Smirnov
MCS	Monte Carlo Simulation
MEE	Modelos de Ecuaciones Estructurales

MSA	Measure of Sampling Adequacy
NGT	Nominal Group Technique
O & M	Operations & Maintenance
PCA	Principal Component Analysis
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
Q-Q	Cuantil- Cuantil
RIR	Rango Intercuartílico Relativo
RIW	Relative Importance Weight
RNA	Redes Neuronales Artificiales
SBS	Stochastic Budget Simulation
SEM	Structural Equation Models
TDABC	Driven Activity- Based Costing
TGN	Técnica de Grupo Nominal
VRIR	Variación del Rango Intercuartílico Relativo
VRM	Variación Relativa de la Mediana